

APLICACIONES DE SOFTWARE EN EL DISEÑO Y EVALUACION DE SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADO

Miguel Cañamero K., Tanya Laguna Y., Salomón Helfgott L.

I. INTRODUCCION

El crecimiento notable en áreas bajo riego a presión, ha incrementado el interés en la tecnología de riego por goteo principalmente, en este contexto, el desarrollo de herramientas informáticas, software de riego, permiten minimizar los tiempos de cálculo, ofreciéndonos un mayor tiempo de análisis y evaluación de los resultados, que van a contribuir al éxito del proyecto de riego.

El software KGOTEO, desarrollado en 1996 en el Central Azucarero Carora, Venezuela inicialmente para el diseño de sus campos de caña de azúcar, ya ha pasado por varias actualizaciones al 2014, mejoras que han permitido ofrecer al usuario, mayores herramientas que intervienen no solo en el diseño sino también en la operación y posterior evaluación del sistema de riego por goteo.

El software presenta un menú de opciones formado por Diseño Agronómico, Diseño Hidráulico, Diseño de Cabezal, Mantenimiento y Evaluación. El software permite diseñar sistemas de riego por goteo por tres métodos y para diferentes cultivos, define los parámetros de diseño, se puede realizar el diseño agronómico, diseño hidráulico, permite seleccionar los tratamientos de operación y mantenimiento en el sistema, definir las dosificaciones y tiempos de aplicación de fertilizantes, diseño del sistema de filtrado, evaluar los sistemas de riego en funcionamiento, así como facilita la evaluación del proyecto del sistema de riego. Tiene incorporado una base de datos sobre tuberías, mangueras, goteros y parámetros de cultivos como respuesta a la salinidad. Los resultados obtenidos son la lámina, intervalo y tiempo de riego, diámetro y longitud de la tubería lateral, diámetro y longitud de las tuberías de distribución, potencia de la bomba, parámetros de los equipos de filtrado, dosis y tiempo de aplicación para mantenimiento biológico y químico del sistema, tiempos de aplicación de productos en el fertirriego, y coeficiente de uniformidad de diseño y en campo.



SOFTWARE DE DISEÑO

KGOTEO



MIGUEL CAÑAMERO KERLA
miguel_kerla@lamolina.edu.pe

TANYA LAGUNA YANAVILCA
tlaguna@lamolina.edu.pe

SALOMÓN HELFGOTT LERNER
shelfgott@lamolina.edu.pe

SALIR

CONTINUAR

PROHIBIDA SU REPRODUCCION SIN AUTORIZACION EXPRESA DEL AUTOR

II. DESARROLLO DEL SOFTWARE

2.1 DISEÑO AGRONÓMICO

En todo proyecto de riego, el diseño agronómico es el componente fundamental, al extremo que los errores que se cometan en esta fase hacen que no sirvan los detallados cálculos hidráulicos o la elección de automatismos. Podremos salinizar el suelo por falta de agua para lavado, provocar una disminución de la producción por insuficiente volumen de suelo humedecido o encarecer el sistema por un sobre dimensionamiento del mismo. Este diseño se desarrolla principalmente a través del cálculo de las necesidades de agua y la determinación de parámetros de riego como dosis, intervalo y tiempo de riego, caudal del emisor y uniformidad.

Existe una amplia gama de métodos empíricos pero los más recomendados son los seleccionados por Doorembos y Pruitt (1976) y Fereres, E. (1987).

Hay que distinguir entre la evapotranspiración real (ETR) que se produce en un momento determinado y la máxima que ese mismo cultivo tendría si no tuviera falta de agua o estrés hídrico (ETc) siendo $ETR = K_s * ETM$, donde K_s es el coeficiente de sequía o evapotranspiración relativa. El método habitual de cálculo de ETc consiste en calcular la evapotranspiración de referencia ET_o en función de datos meteorológicos (radiación, temperatura, humedad y velocidad del viento) y aplicar un coeficiente de cultivo K_c variable con el estado de desarrollo del cultivo ($ET_c = K_c ET_o$).

Sin embargo se tiene también numerosos procedimientos que corrigen la evapotranspiración en relación a la localización y espacio en donde se requiere ser hallado.

Estos métodos suponen que a efectos de evapotranspiración el área sombreada se comporta casi igual que la superficie de suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada elimina agua con una intensidad mucho menor.

Así mismo, las condiciones locales influyen sobre la ET, la cual debe incrementarse multiplicándola por un coeficiente, pues de otra forma las necesidades calculadas serían también un valor medio, lo que quiere decir que aproximadamente la mitad de los años el valor calculado sería insuficiente. En los riegos convencionales el coeficiente de mayoración depende de varios factores, entre ellos la cantidad de humedad del suelo en el momento del riego: cuanto mayor es esta menor el coeficiente de mayoración. En los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) el volumen de suelo mojado es reducido y por tanto los coeficientes son siempre elevados. Es conveniente adoptar el criterio de Hernández Abreu, de aplicar siempre un coeficiente comprendido entre 1,15 y 1,20.

El efecto de advección, también debe ser corregido y esta depende del tamaño de la zona de riego, determinado en forma gráfica de acuerdo a la FAO.

Para el cálculo de las necesidades totales se tiene en cuenta pérdida de agua por percolación, necesidades de lavado y falta de uniformidad de riego. Las pérdidas de agua en sistemas de RLAF son prácticamente las debidas a la percolación; las pérdidas por escorrentía solo se pueden presentar en casos extremos de manejo muy deficiente.

El cálculo de las necesidades totales se reduce en:

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - K) * CU}$$

El valor de K, es determinado según:

$$K = (1 - E_a) \quad \text{en el caso de pérdidas}$$

$$K = LR$$

en el caso de lavado

Varios autores informan acerca de los valores de E_a . Entre ellos los seleccionamos los proporcionados por Keller (1978) según el cual, para la estimación de E_a se distinguen dos casos, en climas calidos y en climas húmedos, resultados que no han tenido en cuenta la precipitación efectiva.

La opción diseño agronómico, presenta sub opciones: necesidades de agua y parámetros de riego, caudal de diseño y unidades de riego, coeficiente de Uniformidad - Método Keller, y evaluación de la uniformidad de riego.

La sub opción Necesidades de agua y parámetros de riego, solicita información de la evapotranspiración potencial o de referencia, características del cultivo, suelo, clima y calidad de agua, para así determinar las necesidades totales, modulo ficticio de riego, y la cantidad requerida por planta. Así mismo muestra los valores de los coeficientes empleados para el cálculo de las necesidades totales.

La sub opción caudal de diseño y unidades de riego, solicita información sobre el cultivo a instalar, si en línea continua, las necesidades totales calculadas en la opción anterior, intervalo de riego, espaciamiento entre goteros y entre laterales, caudal del gotero, horas diarias disponibles en el sistema y área del campo a diseñar; para obtener el numero de unidades de riego, el área estimada de cada unidad de riego y el caudal de diseño.

La sub opción coeficiente de uniformidad, solicita como información las características hidráulicas del gotero, como es el caudal medio, el coeficiente y exponente de la ecuación de descarga, los coeficientes de variabilidad y uniformidad asumidos. Dando como resultados caudal mínimo, caudal medio, tolerancia del caudal en porcentaje, presión mínima de

operación, presión media, variación de la tolerancia de la presión, y la presión máxima en la tubería terciaria y en el lateral de riego. Esta sub opción por defecto grafica la ecuación de la descarga del gotero, de esta manera se puede visualizar para el caudal medio estimado a aplicar,

TOLERANCIA DE CAUDALES EN FUNCION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE ACUERDO A LA ECUACION DEL GOTERO

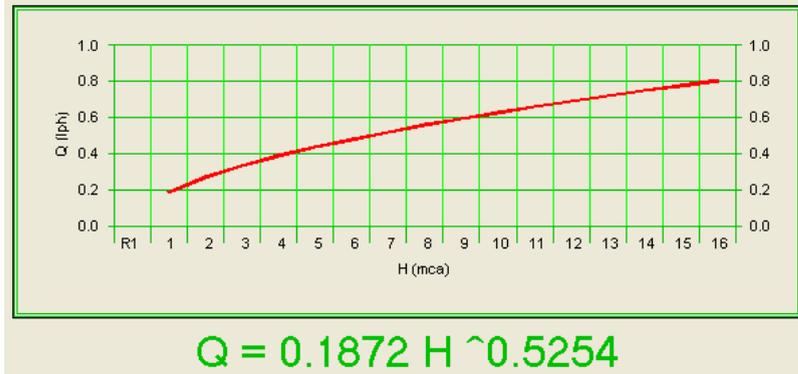
Caudal medio del gotero (lph)	0.56	Coeficiente de variabilidad (%)	5
Exponente de descarga	0.5254	Coeficiente de uniformidad en %	85
Coeficiente de descarga	0.1872	Número de emisores	1

Ejecutar Salir Nuevo cálculo Imprimir Calculadora Borrador CC

Caudal mínimo (lph)	0.51	Presión mínima (m)	6.74	Delta presión (m)	2.62
Caudal medio (lph)	0.56	Presión media (m)	8.05	Terciaria (m)	1.31
Tolerancia caudal (%)	8.93	Tolerancia presión (%)	16.27	Lateral (mts)	1.31

la presión interna del gotero. Asimismo se puede observa la ecuación de descarga y sus valores extremos caudal presión.

Resistencia y sensibilidad de plantas a la salinidad.- En muchos cultivos como trigo, arroz, cebada, hortalizas, remolacha azucarera, etc., durante la etapa de germinación y primer estado fenológico del cultivo la resistencia a la salinidad es menor que en las etapas siguientes del cultivo. La formula de Mass-Hoffman permite una nueva definición de la característica "resistencia a la salinidad" que viene a ser el umbral de salinidad que tiene cada cultivo en el cual su producción no se resiente y "sensibilidad a la salinidad" definida como la variación de la producción ocasionada por una variación de la conductividad eléctrica de 1 mmhos/cm.



Requerimientos de lavado.- El manejo adecuado del riego incluye el uso periódico de excesos de agua para desplazar las sales al perímetro del bulbo húmedo o frente húmedo. Existe la necesidad de remover las sales remanentes en el perfil radicular después que se han sucedido

Rendimientos y tolerancia de los cultivos a la salinidad

SALINIDAD Y RENDIMIENTOS (SEGUN MAAS Y HOFFMAN)

REQUERIMIENTO LAVADO DEL BULBO HUMEDO

CAÑA DE AZÚCAR	CE AGUA (mmhos/cm)	FLUJO DE LAVADO	MAX CE Ext. Sat
	1.1	0.06	10

RENDIMIENTOS EN FUNCION CONTENIDO SALES DEL SUELO

CE SUELO	RENDIMIENTO (%)
1.6	100

RESISTENCIA Y SENSIBILIDAD DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD

UMBRAL DE SALINIDAD	DISMINUCION DEL RENDIMIENTO
1.7	6.02

OPERACIONES: IMPRIMIR, NUEVO CALCULO, SALIR

REND. 100% 0%
 umbral: 1.7
 6.02
 ce (mmhos/cm)

los procesos de evapotranspiración, haciendo que las sales se muevan hacia abajo para mantener una adecuada profundidad efectiva para el crecimiento normal de los cultivos. La cantidad de agua necesaria depende de la concentración de sales en agua de riego y del nivel de salinidad permisible en la zona de raíces. En la medida que la fracción de lavado que atraviesa la zona radicular se incrementa, aumenta

la profundidad de suelo que tiene esencialmente la misma concentración de sales que el agua de riego. El laboratorio de salinidad de USDA sugirió para el cálculo de la fracción de lavado la relación entre el volumen de agua de riego y volumen de agua de drenaje. Posteriormente dada las dificultades para aforar los volúmenes de drenaje, se sugiere la relación entre la conductividad eléctrica del agua de riego y conductividad eléctrica del agua de drenaje. Pero cuando se analiza la fracción de lavado para un cultivo específico, que requiere el flujo de una determinada cantidad de agua a través del perfil radicular para prevenir la acumulación de sales a un nivel que pueda afectar las plantas, se tiene que el requerimiento de lavado es la relación entre la conductividad eléctrica del agua de riego entre la conductividad eléctrica del nivel crítico de salinidad específica para un cultivo dado. A esta relación han surgido numerosas modificaciones tendientes a mejorar su precisión y al ahorro del agua. Una de las últimas modificaciones ha sido la Fracción Mínima de Lavado, cuya propuesta mas usada es la relación entre la conductividad eléctrica del agua de riego entre la conductividad eléctrica del extracto de saturación necesaria para producir una reducción del 50% en el rendimiento de un cultivo específico. La sub opción Rendimiento y Salinidad permite seleccionar el cultivo, ingresar la conductividad eléctrica del

agua de riego, del suelo y nos calcula la fracción de lavado, la tolerancia a la salinidad del cultivo y su sensibilidad

2.2 DISEÑO HIDRAULICO

En el cálculo hidráulico de sistemas de riego presurizado se analiza con mucha frecuencia las relaciones entre las magnitudes: caudal(q), diámetro interno (d), velocidad del agua (v), longitud de tubería (L), pérdida de carga por fricción (H), y la pérdida de carga unitaria (J), donde J es igual al cociente de H entre L .

Una forma de clasificar los regímenes hidráulicos es a través del Número de Reynolds (Re). Cuando estamos frente a los valores de Re menores de 2,000 podemos decir que el régimen es laminar, por lo tanto la pérdida de carga a lo largo de una tubería no es función de la rugosidad, sino de la viscosidad cinemática, que es inversamente proporcional a la temperatura. Asimismo bajo este régimen la relación caudal – presión es del tipo lineal. Valores de Re comprendidos entre 2,000 y 4,000 el régimen es considerado como inestable ó crítico, para valores del Número de Reynolds (Re) mayores que 4,000 el régimen es turbulento. En este régimen se dan tres categorías que están en función del material del cual esta construido el ducto ó tubería. Se puede hablar del régimen turbulento liso, intermedio y rugoso.

En riego presurizado es común usar la expresión simplificada del Número de Reynolds siguiente:

$$Re = \frac{q}{d} * 352.64$$

El diseño hidráulico de las tuberías consistirá en aplicar las ecuaciones según el tipo de régimen, de acuerdo con la índole del problema.

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (de 5°C a 25°C). Para otros líquidos o gases, el método de Darcy-Weisbach debe ser utilizado. El método de Hazen-Williams es muy popular puesto que su coeficiente de fricción (C) no es una función de la velocidad o del diámetro de la tubería. Hazen-Williams es más simple que Darcy-Weisbach para los cálculos donde se está resolviendo para el caudal, la velocidad, o el diámetro.

Sin embargo también se cuentan con las ecuaciones de Hagen-Poiseuille.- Régimen laminar, cuando el régimen hidráulico es laminar cuando $Re < 2,000$ y bajo este régimen el valor del coeficiente de fricción (f) es función de Re e independiente de la rugosidad de la tubería.

La Fórmula de Blasius.- Régimen Crítico, al igual que los casos anteriores para valores de Re comprendidos entre 2,00 y 4,00, el valor del coeficiente de fricción (f) depende del Numero de Reynolds (Re) y para tuberías PVC o Polietileno, se cumple con error menor del 2% la aproximación de Blasius.

Fórmula de Veronese – Datei.- Régimen Turbulento, a mayor numero de Reynolds (Re), el régimen se hace turbulento y el coeficiente de fricción (f) se ve afectado mayor a 4,000 y menor que 105 y menor que 106, se aplica la formula de Veronese – Datei.

La Fórmula de Scimeni.-Régimen Turbulento Intermedio, es poco usada en riego presurizados de alta frecuencia aplicable generalmente para tuberías de fibrocemento.

En cuanto al efecto emisor-lateral de riego, las perdidas de carga ocasionadas por las conexiones de los goteros o emisores, ya sea sobre o dentro del lateral de riego, se acostumbra a calcular como una longitud equivalente.

Hay que considerar así mismo el efecto de disminución progresiva de caudal en el lateral de riego, la pérdida de carga unitaria, va disminuyendo en la medida que el caudal que conduce el lateral de riego disminuye, como consecuencia que los emisores o goteros van liberando agua. Va depender más del régimen hidráulico y del número de goteros (n). Esta pérdida se calcula con la formula de Cristiansen que tiene en cuenta los dos factores anteriores. Cuando estamos frente a emisores puntuales y espaciados una determinada distancia (Se), el coeficiente de Cristiansen se aproxima con las siguientes formulas:

- a) cuando el primer emisor, gotero, esta a una distancia constante Se de la tubería distribuidora, el factor F es igual a:

$$F = \frac{1}{1+B} + \frac{1}{2*n} + \frac{\sqrt{B-1}}{6*n^2} \dots$$

- b) Cuando el primer emisor, esta ubicado a una distancia Se/2 de la tubería distribuidora el Factor F es igual a:

$$F = \frac{1}{B+1} * \frac{2*n}{(2*n-1)} + \frac{\sqrt{B-1}}{6*n^2}$$

Así mismo, en cuando a la distribución ya sea en laterales o en tuberías terciarias, se presentaran los siguientes casos:

- Alimentados por un extremo
- Alimentados por un punto intermedio

Estas a su vez, dependiendo de la topografía de la tubería presentaran sub casos:

- Terreno con pendiente cero
- Terreno con pendiente adversa
- Terreno con pendiente a favor o bajando
- Terreno Bajando muy fuerte

En el software se puede identificar cada uno de estos casos, que permitirá un mejor análisis para una selección adecuada de los resultados obtenidos. Los resultados serán mostrados en una tabla.

CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA EN LATERAL PORTAGOTERO ALIMENTADO POR UN PUNTO INTERMEDIO

Pendiente del terreno (°) : -0.008 Descarga del gotero (lph) : 0.56
 Diametro interno (mm) : 16 Presion de trabajo del gotero (psi) : 11
 Separacion emisores (m) : 0.15 Gotero : Sobre Linea(1) Interlinea (2) : 1
 Longitud del lateral en metros : 199.95 Temperatura Agua en el riego (°C) : 20
 Numero de emisores : 1333

****CASO : 4.0 hm1 = hm2 ; hn1 = hn2****

Perdida Permissible	1.55	Nº de Reynold	16,452.5	J(Perdida carga en L-total)	0.09
Longitud equivalente (m)	106	Caudal (lph)	746.48	J'(Perdida carga en L-total)	0.149
Presion al inicio - hm (m)	8.97	Perdida Calculada (m)	1.65		
Presion minima - hn (m)	7.31	Friccion en L - total (m)	10.67	Distancia del final a hn (m)	37.72
Longitud aguas abajo (m)	116	Relacion x / L	0.58	Longitud aguas arriba (m)	84

Variación máxima de presión en el Lateral de riego = 18.40

CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA EN TUBERIA TERCIARIA ALIMENTADA POR UN PUNTO INTERMEDIO

Discharge en decimal : -0.05 Descarga del lateral (lph) : 747
 Longitud (m) : 46.2 Presion al inicio del lateral (psi) : 12.7
 Distancia al lateral (m) : 1.5 Con Elevador(1) Sin Elevador(2) : 1
 Distancia en mts : 40.5 Temperatura Agua en el riego (°C) : 20
 Numero de emisores : 27

****CASO : 4.0 hm1 = hm2 ; hn1 = hn2****

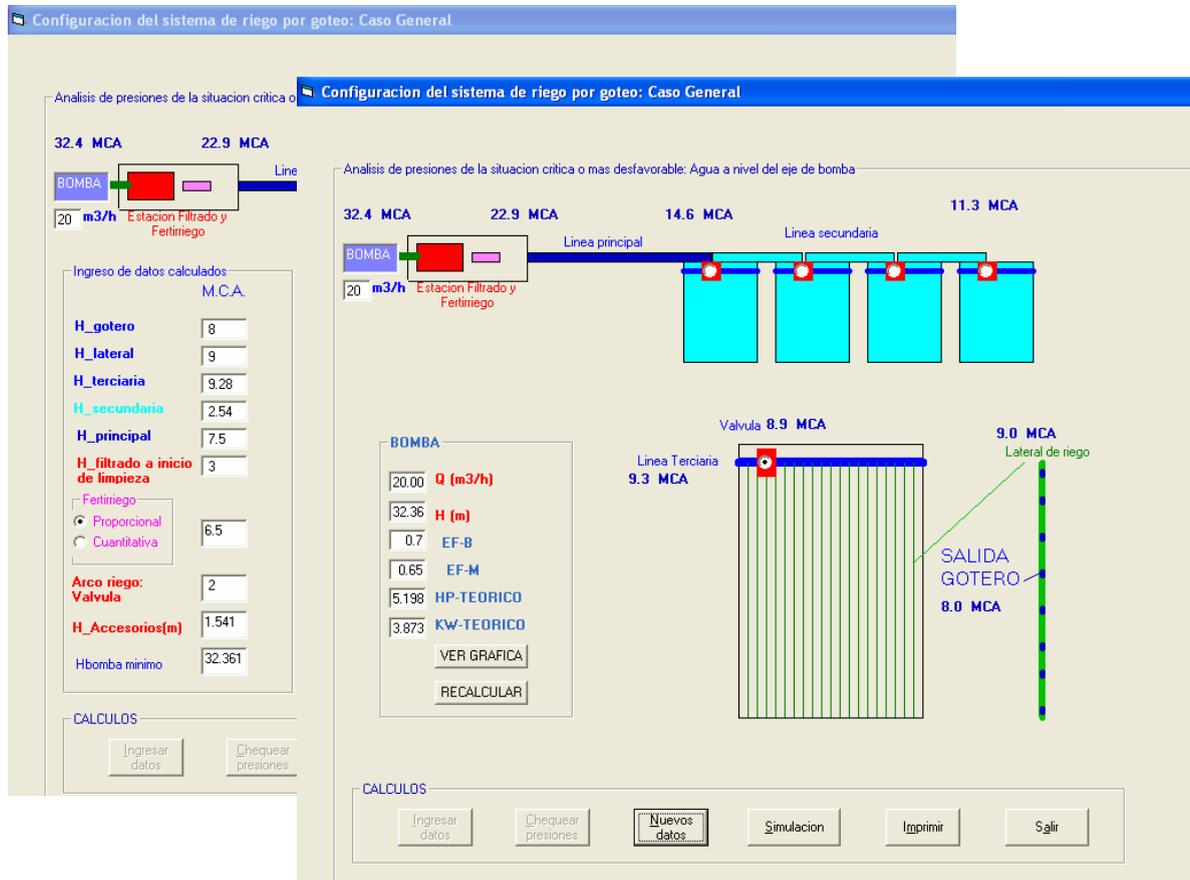
Nº de Reynold	153,948.9	J(Perdida carga en L-total)	0.20
Caudal (lph)	20,169.00	J'(Perdida carga en L-total)	0.205
Perdida Calculada (m)	0.52		
Perdida por friccion (m)	3.13	Distancia del final a hn (m)	18.1
Relacion x/L	0.77	Longitud aguas arriba (m)	9

Tolerancia de presión dentro de la Tubería Terciaria = 5.6 %

CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA TOTAL SEGUN FUENTE WILLIAMS

ID	TRAMO	METROS	Hf (m)	M3/H	V(m/s)	D(mm)	S (D)	J(m/m)	DES(m)	CARGA(m)	REYNOLDS	CASO
	1	295.0	7.5	20.17	1.41	71	0	0.025	0.00	7.5	94,722	Flujo Critico-Chequear con fórmula de Bla
	TOTAL	295.0	7.5							7.5		

Así mismo se puede visualizar a través de un esquema general del sistema de riego, el análisis de presiones, y finalmente determinar los requerimientos de presión y caudal del equipo de bombeo.



2.3 DISEÑO CABEZAL

El cabezal de riego, es la unidad compuesta por el sistema de filtrado y el sistema de fertilización básicamente, adicionalmente va acompañado por los accesorios de control y medición.

El objetivo del sistema de filtrado es garantizar suficiente agua limpia del riego para impedir la obturación de los emisores.

Las principales causas de la obturación de los goteros es la presencia de partículas minerales (arena, limo, arcilla), orgánicas (algas, bacterias, restos vegetales y de animales) o químicas (sales de agua, depósitos de Fe, azufre, manganeso o fertilizantes) en el agua.

Se dispone de diversos tipos de filtros: filtros de malla, filtros de disco y filtros de arena o grava. Los elementos filtrantes a instalar dependen de la naturaleza de las partículas a eliminar.

Las cargas excesivas de arena pueden eliminarse mediante separadores de arena, es decir, filtros, hidrociclón, o estanques de depósito, estos son conocidos como pre filtros.

Dependiendo de las características del material filtrante es que se puede elegir el elemento filtrante. Los filtros de malla son el elemento mas simple de limpieza de agua, sin embargo su mayor uso es como un filtro de seguridad o secundario. No obstante, grandes cantidades de algas y otras materias orgánicas pueden hacer que los filtros de malla se obturen rápidamente, Las mallas deben limpiarse cuando se produce en ellos una caída de presión superior a 3 a 5 metros.

Los filtros de medio contienen grava o arena fina, con granos de la medida apropiada, dispuestos en un tanque presurizado. Los filtros de medio se utilizan principalmente para filtrar pesadas cargas de limo y materia orgánica. Se utilizan extensamente tanto para aguas superficiales como subterráneas. Los filtros de medio a menudo vienen provistos de un sistema automático de retrolavado. La secuencia de limpieza debe darse cuando se ha producido una caída de presión entre 4 y 6 metros de presión.

En el software se analizan las características de los materiales obturizantes, para definir el tipo de elemento filtrante, y el tamaño de este, el cual podrá ser utilizado como una referencia de los elementos filtrantes que se puede elegir para el sistema de riego.

RIESGOS DE OBSTRUCCION EN GOTEROS
(Bucks y Nakayama, 1980)

FACTORES DE OBSTRUCCION	ELEMENTO	RIESGO DE OBSTRUCCION		
		MENOR	MODERADO	SEVERO
Físicos	Sólidos Suspendedos (1)	< 50	50 - 100	>100
Químicos	pH	<7.0	7.0-8.0	>8.0
	Sólidos Disueltos (1)	<500	500-2,000	>2,000
	Manganeso (1)	<0.1	0.1-1.5	>1.5
	Hierro Total (1)	<0.2	0.2-1.5	>1.5
Biológicos	Sulfuro de Hidrogeno (1)			
	Población Bacterial (2)			

(1).- Máxima concentración medida de un número r
(2).- Máximo número de bacterias por 1 metro line

DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA DE FILTRADO

Primera selección del tipo de filtro

Contaminante del agua de riego
Algas

Alto

TIPO FILTRO SELECCIONAR

Grava **SELECCION RECOMENDADA**

Disco/Anilla **SEGUNDA SELECCION**

Malla Automático **TERCERA SELECCION**

Filtro de Control **DISCO**

Grado de filtración: Filtro de malla

Grado de filtración (Mesh) 120

Diámetro del alambre (micrones) 120

CALCULAR

Diámetro de una abertura (mm) 0.09167

Diámetro gotero-criterio 1/7 (mm) 0.64167

Flujo y diámetros de filtros recomendados

Caudal (m³/hora) 20 **Diámetros**

Nuevo Calculo

> diámetro en pulgadas 36

> diámetro en pulgadas 3

> diámetro en pulgadas 3

IMPRIMIR

El sistema de fertilización, nos permite inyectar al sistema de riego un conjunto de productos agroquímicos y químicos, con el propósito de distribuirlos en forma homogénea, en el suelo, junto con el agua de riego. Los productos químicos comúnmente aplicados son la inyección de cloro, ácidos, y otras sustancias que cumplen la función de tratar el sistema de riego cuando se requiere de su mantenimiento.

La fertirrigación, permite la mayor flexibilidad en la aplicación de los fertilizantes, comparados con los métodos tradicionales, debido a que permite que el fertilizante sea aplicado durante el riego además se adapta a todos los sistemas presurizados conocidos, tales como: aspersión, goteo, micro aspersión y pivote central. Este método se adapta a los requerimientos del productor, tanto del punto de vista económico, como desde el de ingeniería, con muchas ventajas comparadas con los métodos tradicionales.

Los beneficios de aplicar fertilizantes y otras sustancias químicas a través del sistema de riego, son ampliamente reconocidos. Entre las ventajas tenemos, mayor eficiencia, control y dosificación,

control de profundidad y momento de aplicación, ahorro de mano de obra, no se compactan los suelos, es posible de hacer otras aplicaciones de sustancias químicas a través del sistema de riego.

Entre las limitaciones tenemos: toxicidad, contaminación de agua subterránea, adaptabilidad del fertilizante, interacciones entre las sustancias inyectadas y el agua de riego, peligro de corrosión, requerimiento de seguridad, costo de inversión inicial elevada, se requiere un funcionamiento correcto de todos los componentes del sistema.

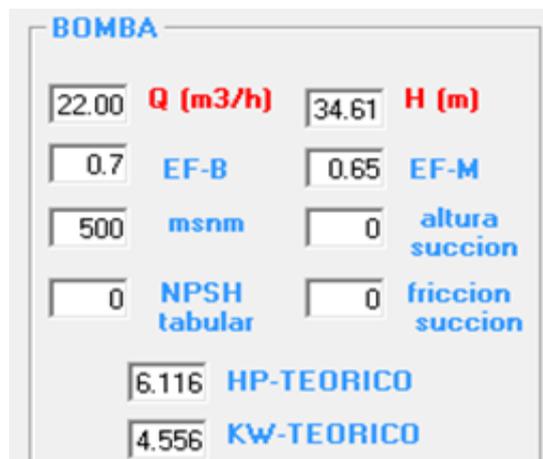
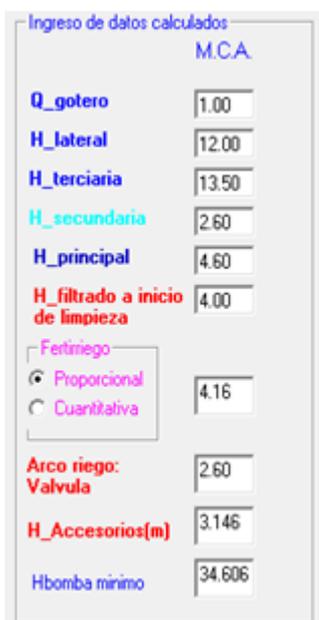


El equipo usado para el fertirriego es producido en diferentes tipos y modelos, difiriendo en sus propiedades, con ventajas, limitaciones y precios diversos.

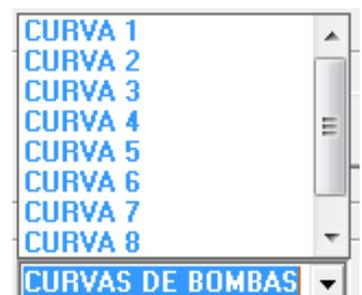
Los factores a tomar en cuenta para la selección del inyector son la descarga del mismo, capacidad del tanque, confiabilidad del equipo y tasa de dilución o concentración de la solución del fertilizante.



La selección del tipo de bomba a utilizar en una instalación de riego tecnificado, puede ser realizada a partir del caudal (Q) del sistema de riego y la pérdida de carga total requerido para el correcto funcionamiento (H_m). Una vez seleccionado el tipo de bomba, la etapa siguiente es la selección del modelo de serie de la bomba, que tiene por base la consulta a catálogos de los fabricantes. Este procedimiento envuelve las etapas de preselección y la selección definitiva. Para la fase de preselección los fabricantes



muestran los modelos de bombas hidráulicas, para determinadas velocidades de rotación (RPM).

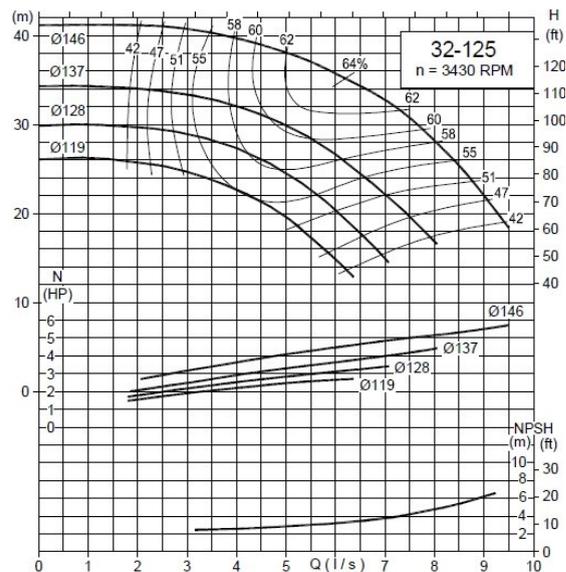


Esta data es presentada de diferentes formas, tales como tablas que informan sobre la potencia en función del caudal (Q) y la altura manométrica (Hm) para un determinado modelo de bomba y para una rotación dada; también son presentados en gráficos de cobertura hidráulica, en forma de cuadrículas o de cuadrícula única, que informan el campo de aplicación de los modelos de las bombas para una determinada rotación de trabajo.

Se observa que los gráficos de selección rápida o preselección son hechos para diferentes (RPM) valores de rotación de motores eléctricos comerciales. Seleccionado el modelo de bomba, la siguiente etapa es la selección definitiva, para lo cual la consulta debe realizarse sobre los gráficos de las curvas características de la bomba preseleccionada, con el objetivo de determinar, para el par de valores (Q) x (Hm) deseado, cual es la eficiencia de la bomba (EF-b), la potencia necesaria en el eje de la bomba (HP-b) y el NPSHT, la rotación de trabajo (RPM), el diámetro del rotor, el diámetro de salida y de entrada de la bomba, siendo que algunos informan la potencia necesaria del motor eléctrico (Pm) para el accionamiento de la bomba.

BOMBA

22.00	Q (m³/h)	36.51	H (m)
0.64	EF-B	1.0	EF-M
500	msnm	1.50	altura succion
3.2	NPSH tabular	0.40	friccion succion
4.587	HP-TEORICO		
3.417	KW-TEORICO		
RECALCULAR			



Los parámetros que caracterizan el funcionamiento de la instalación de una bomba son el caudal del sistema (Q), la altura manométrica total (Hm) y el NPSH

Velocidad específica

RPM	mca	m ³ /hora	Vel. Esp.	ok	SALIR
3460	36.51	22	18.210		

2.4 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO

Una instalación de riego localizado debe funcionar correctamente a lo largo del tiempo, para que la duración de sus componentes sea la máxima posible y para que la uniformidad y la eficiencia en la aplicación del agua no disminuya con el paso del tiempo. Un buen mantenimiento de un sistema de riego implica la revisión y evaluación de todos sus componentes antes, durante y después de la temporada de riego.

Cuando se producen obstrucciones de los emisores, se producen los siguientes problemas:

- El caudal entregado por ellos disminuirá en función del grado de obstrucción.
- Las necesidades de agua del cultivo pueden quedar sin cubrir.
- El grado de obstrucción no afectará de forma homogénea –o pareja- a todos los emisores de la instalación, originando diferencias en los caudales emitidos.
- Esta variación de caudales producirá una disminución de la uniformidad y la eficiencia del riego,
- En consecuencia se producirá un desarrollo poco homogéneo del cultivo, lo que se traduce finalmente en una disminución de su rendimiento.

La mejor manera de mantener nuestro sistema en condiciones óptimas es PREVENIR la obstrucción de sus componentes, ya que normalmente el problema se detecta cuando el grado de

obstrucción es bastante avanzado. En estos casos, la limpieza de emisores resulta muy cara o el daño en el cultivo ya es irreversible.

Por esta razón, la sensibilidad de los emisores a las obstrucciones será muy importante para su selección y prevención de futuros problemas.



Precipitados de calcio. Se producen sobre todo en forma de carbonatos y en aquellos puntos donde el agua queda en reposo entre un riego y otro, o en la salida de los emisores, donde la concentración de sales aumenta como consecuencia de la evaporación. Se puede observar en la presencia de polvillo blanco alrededor del emisor.

Para aplicar ácido: volúmenes y tiempos

Calidad del agua, precipitados

ANÁLISIS DE AGUA

Analisis de agua

CATIONES () (meq / litro)		ANIONES(-) (meq / litro)		pH	
Ca =	3.18	Cl =	1.62	7.5	
Mg =	2.09	SO4 =	10.8	CE (dS-m)	
Na =	9.3	CO3 =	0.2	1.2	
K =	0.03	CO3H =	2.02		
TOTAL	14.6	TOTAL	14.64		

Aplicacion de acidos (litros/m3 agua riego)

Dureza ppm	Indice Lanqelier	Clorhidrico N 12	Sulfurico N 36	Nitrico N 16	Fosforico N 45
263.43	2.1847	0.009	0.003	0.007	0.002

RIESGO POSITIVO DE PRECIPITADO: CO3 Ca

Criterio Sodicidad ó Infiltración

RAS	RICHARDS	Peligro
5.73	C3 S1	BAJO

Criterio Toxicidad: plantas sensibles

Sodio	Cloro	Boro
Riesgo Sever	Ningun Riesg	

Criterio Salinidad

CONCULTORES U.C	FAO
Riesgo Medio	

Boletin 258 : Precipitados

Dureza (ppm)	Riesgo Moderado
	Riesgo Moderado
pH	Riesgo Moderado
STD (ppm)	Riesgo Moderado

Volumenes de agua en cintas, mangueras y tuberías

	Longitud (m)	Diametro Nominal (mm)	Litros de H2O
Laterales	100	Cinta 16 mm	20.10
Terciana	100	PVC 63 mm	275.20
Secundaria	400	PVC 75 mm	1,600.00
Principal	100	PVC 90 mm	586.30
Aduccion	0	PVC 90 mm	.00
Otras Tub.	0	PVC 90 mm	.00
SUB TOTAL (LTS)		FACTOR	TOTAL (M3)
2,481.6	3		7.4

Tiempo de recorrido del agua

Lateral	Terciana	Secundaria	Principal	Otro	TIEMPO RECORRIDO AGUA (Minutos)
100	100	400	100	0	17

- Tratamiento de prevención. El tratamiento preventivo que suele hacerse para evitar la aparición de este tipo de precipitados, es la adición de ácido al agua de riego en dosis adecuadas. Se pueden utilizar varios ácidos: sulfúrico, clorhídrico o nítrico, siendo el ácido nítrico el más utilizado.

Dosis. La dosis de ácido que se aplique dependerá de las características del agua, por lo que habrá que determinarla en un laboratorio tras un análisis químico. Puesto que la dosis de ácido variará para cada caso, es necesario consultar con personal calificado. En las fincas de caña de azúcar de Carora se aplica un cuarto de litro de ácido fosfórico por metro cúbico de agua de riego en casos de tratamientos de prevención, y dos litros por metro cúbico al finalizar la zafra.

Volumen de agua. El volumen de agua que se necesita para que el ácido llegue a todos los emisores de la red de riego puede calcularse midiendo el volumen de la instalación, y multiplicando el resultado por dos o tres como factor de seguridad. La cantidad de ácido que se añada al agua para los tratamientos preventivos o de limpieza de la instalación, estará en función del volumen de agua a tratar.

- Aplicación. Cuando el ácido es convenientemente bien diluido, puede aplicarse desde el equipo de fertirrigación durante todo el riego o en la última parte de éste (unos quince minutos) cuando el volumen de ácido a aplicar no sea muy elevado. Así se consigue que el agua que queda al final en el interior de la red de riego evite se produzcan las precipitaciones.

- Tratamiento de corrección. Una vez se ha producido la precipitación de sales de calcio los tratamientos correctores son de eficacia muy variable según el grado de obstrucción y el tipo de emisor. Normalmente se consiguen despegar las incrustaciones, pero es frecuente que queden pequeñas partículas en el agua y formen de nuevo precipitados que den lugar a nuevas obstrucciones. Estos tratamientos consisten en la aplicación de ácido a altas concentraciones, hasta que el porcentaje de ácido en el agua de riego oscile entre el **0.6 y 1 %**.

- Limpieza de emisores. En algunas ocasiones, cuando el grado de obstrucción es muy elevado, los emisores se deben limpiar individualmente, sumergiéndolos en ácido al 1-2% durante unos quince minutos. Este tratamiento puede ser eficaz en el caso de emisores desmontables, pero supone un importante gasto en mano de obra, por lo que en algunas ocasiones es más rentable limpiar las tuberías y poner emisores nuevos que realizar este tipo de limpieza. Además, una vez obturados los emisores, la limpieza no suele resultar efectiva ya que el ácido no disuelve del todo las incrustaciones si no que las disgrega, quedando pequeñas partículas de calcio circulando por el emisor que pueden volver a causar obstrucciones.

2.5 EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO

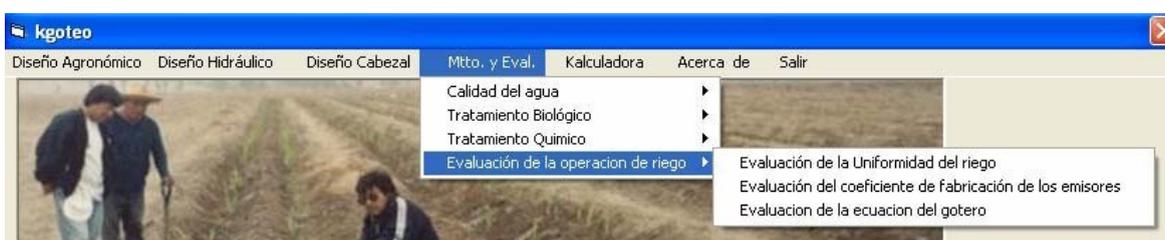
La evaluación del sistema de riego por goteo es aplicable a todos sus componentes, ésta permite determinar el nivel de uniformidad en que se aplica el riego. La uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego, y además interviene en su diseño, tanto en lo agronómico, pues afecta el cálculo de las necesidades totales de agua, como en lo hidráulico, ya que en función de ella se define los límites entre los que permite que varíen los caudales de los emisores.

La uniformidad del sistema de riego por goteo depende de:

1. La variación de presiones debido a las pérdidas de carga y topografía del terreno.
2. El grado de uniformidad de fabricación de los emisores.
3. Los cambios en las características de los emisores debido al envejecimiento y obturación de los emisores.
4. Efecto a la diferencias de temperaturas.

El objeto de la evaluación de riego por goteo es determinar la eficiencia del sistema y plantear las medidas correctivas que permita mejorar la uniformidad del sistema en caso de ser necesario y su flexibilidad agronómica.

El software ha incorporado en su menú de opciones la evaluación de la uniformidad del sistema de riego por goteo.



Evaluación de Uniformidad

Sub Unidad de Riego

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD: METODO KELLER

UBICACION ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

	1er Gotero	1/3 Goteros	2/3 goteros	Ultimo Gotero
1er Lateral	1 1.5	1 1.3	0.96 10	1 11
1/3 Lateral	0.98 1.3	1 1.2	0.98 11	1 11
2/3 Lateral	0.96 11	0.98 11	0.99 11	0.97 0.5
Ultimo Lat.	0.98 0.1	0.85 10	0.98 11	0.96 0.5

RESULTADOS DE LOS CALCULOS

Caudal medio (lph)	0.97	Presión media	10.21
Caudal medio 25% mas bajo	.93	Presión media 25% mas bajo	7.65
Coefficiente de uniformidad de la Sub Unidad	95.88	Coefficiente de Uniformidad	74.93

Para la evaluación general del sistema de riego por goteo se deben de analizar varios factores:

1. Agronómicos (dosis y frecuencia de riego, profundidad de humedecimiento en relación a la profundidad radicular, superficie de mojado, porcentaje de suelo húmedo, etc.)
2. Hidráulicos (comprobación de funcionamiento adecuado de: filtros, inyector de fertilizantes, reguladores de presión, etc.)

Dentro de la evaluación de sistema de riego por goteo, la uniformidad es uno de los factores más importantes a determinar: una buena uniformidad en el flujo de los emisores proporciona un caudal suficiente y necesario para el desarrollo de los cultivos, además de generar un ahorro importante en la energía del sistema.

3. Peculiaridades agronómicas, la flexibilidad del diseño debe permitir investigar y desarrollar nuevas técnicas agronómicas, de tal forma que cualquier unidad o sub unidad de riego se pueda implementar y convertirse fácilmente en una parcela demostrativa o en una parcela de ensayo. Este parámetro debe tenerse en cuenta en el proceso de evaluación, pues es una de las principales causas del lento avance en la aplicación del fertirriego, especialmente en la poca información de campo referida a curvas de absorción de nutrientes por cultivos y la formulación de disoluciones iónicas de inicio. Lo recomendado por los autores es considerar un BCR independiente del sistema comercial

En los cultivos de periodo vegetativo largo, ya sean semi perennes o perennes debe evaluarse contingencias consideradas en el diseño hidráulico, de forma tal que el sistema pueda regar desde el punto de vista hidráulico como superficial o gravedad y para el caso de goteros auto compensados en laterales de línea continua, los autores recomiendan, que el diseño hidráulico permita implementar un turno adicional como medida de contingencia.

III. BIBLIOGRAFIA

- CADAHIA LOPEZ Carlos. 2005. "Fertirrigación". Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- CANAMERO, M & LAGUNA, T. 2003. "KGOTEO Manual de Diseño". Ed. CONCYTEC, Lima.
- CANAMERO, M & LAGUNA, T. 2013. "Innovación tecnológica en riego". Ed. CONCYTEC, Lima
- CASTILLA Nicolás. 2005. "Invernaderos de Plástico". Ed. Mundi-Prensa. Barcelona.
- DOMINGUEZ Vivanco . 1993. "Fertirrigación". Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- FUENTES YAGUE José. 2003."Técnicas de Riego". Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- PIZARRO, Fernando. 1998. "Riego localizado de Alta Frecuencia". Ed. Mundi-Prensa, Madrid.