

## **VI Diseño del equipo**

Es de suma importancia en el diseño y operación de un sistema de riego el concepto de infiltración de agua en el suelo, que se define como el proceso por medio del cual el agua pasa a través de la superficie y se distribuye en los estratos del suelo. El proyecto de un riego por aspersión pasa por la realización de un diseño agronómico y, a partir de él, de un diseño hidráulico. Con el primero se lleva a cabo el planteamiento general del sistema en base a los condicionantes del medio (suelo, cultivos, clima, parcelación, etc.), con el objetivo de conseguir un reparto uniforme del agua y que ésta se infiltre donde cae. Con el segundo se pretende realizar el dimensionamiento más económico de la red de tuberías, con la pretensión de alcanzar unas condiciones semejantes de presión en los emisores, para tratar de conseguir un reparto de agua uniforme.

### ***VI.1 Determinación del tipo de pivote***

Es necesario seleccionar el tipo de sistema de riego entre las múltiples opciones disponibles. Es posible seleccionar más de dos opciones y la elección dependerá de los factores siguientes:

- Disponibilidad de los recursos materiales y humanos
- Inventario de partes y refacciones
- Servicio y mantenimiento
- Distancia del proveedor
- Inversión inicial

### ***VI.2 Dimensionamiento geométrico***

Las variables geométricas usadas en la descripción del diseño de un sistema de riego son:  
El área base cubierta por un lateral

$$A_b = \pi R^2$$

Donde

R es el radio efectivo de mojado del paquete de aspersores alimentados por el lateral de longitud L.

El radio efectivo de mojado R está dado por:

$$R = L + r_e$$

Donde L es la longitud del lateral definida por la distancia del pivote al último aspersor o cañón

$r_e$  es el radio de mojado efectivo del cañón final o los últimos aspersores que mojan fuera del radio L

### ***VI.3 Diseño hidráulico del sistema***

Para el diseño del sistema se requiere determinar la selección del diámetro del equipo, la presión hidrostática y las pérdidas por fricción.

### VI.3.1 Selección del diámetro del equipo

El diámetro del equipo dependerá del gasto requerido para el área por regar y por ende de la longitud de la tubería. A menor diámetro y mayor longitud de tubería, mayor es la superficie de fricción y en consecuencia mayor es la disminución de la presión. A mayor pérdida de presión, mayores son los costos energéticos para producir la presión requerida por el equipo de bombeo y mantener la presión de operación en los puntos de emisión.

El diámetro de la tubería lateral del pivote central se selecciona utilizando la regla de que las pérdidas de carga por fricción no deben exceder el 20% de la carga de operación del aspersor, con el fin de que las variaciones del gasto en el primer y último aspersor no sobrepasen el 10%

En la tabla siguiente se presenta los diámetros nominales e internos de las tuberías más usadas en pivotes centrales.

Tuberías mas usadas en pivotes centrales		
Diámetro en pulgadas		Espesor de la pared en pulgadas
Nominal	Interno	
5 9/16	5.318	0.25
6	5.755	0.25
6 5/8	6.375	0.25
6	7.755	0.25
8 5/8	8.375	0.25
10	9.755	0.25

### VI.3.2 Presión hidrostática

La pendiente de la línea de energía en cualquier punto r a lo largo del lateral se puede estimar como:

$$\frac{d}{dr} \left( h + \frac{v^2}{2g} + z \right) = \frac{dE}{dr} = S_r$$

Donde:

h es la carga de presión,  $v^2/2g$  es la carga de velocidad y z la elevación del punto de análisis e, dr es la distancia elemental en la dirección de la tubería.

La pendiente del terreno es negativa a favor de la gravedad (descendente) y positiva en caso contrario (ascendente). Las pendientes de la línea de energía y carga de velocidad son negativas en la dirección del flujo.

Si se parte de la hipótesis de que el terreno tiene una pendiente uniforme, se tiene:

$$dh = S_f dr - S_v dr - S_o dr$$

$$h_{r_2} - h_{r_1} = S_f dr - S_v dr - S_o dr$$

La ecuación anterior permite estimar el cambio de presión entre dos puntos ( $\Gamma_1$  y  $\Gamma_2$ ), una vez que se conocen las pendientes de la línea de energía, carga de velocidades y del terreno ( $S_f, S_v$  y  $S_0$ )

### VI.3.3 Pérdidas por fricción.

La pérdida por fricción es la disminución en la presión del agua al fluir en una tubería y producirse fricción entre la pared de la tubería y el líquido.

La pendiente de la línea de energía  $S_f$  en un punto  $r$  del lateral se puede representar en su forma general como:

$$S_f = -K \frac{Q_r^m}{D^n} = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \left( \frac{Q_r}{Q_o} \right)^m$$

Donde  $K$  es un coeficiente que integra las unidades y el coeficiente de rugosidad de la tubería,  $D$  es el diámetro interno,  $m$  y  $n$  son los exponentes de velocidad y diámetro de la ecuación de pérdida de carga por fricción usada en los cálculos. Generalmente  $n$  se aproxima por  $m+1$ . La pendiente  $S_f$  es siempre negativa ya que disminuye en el sentido de flujo. En consecuencia, la pérdida de carga del lateral puede estimarse como:

$$h_f = \int S_f dr = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^R \left( \frac{Q_r}{Q_o} \right)^m dr = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^R \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m dr = -K \frac{Q_o^m}{D^n} R \int_0^R \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m \frac{dr}{R}$$

$$h_f = -K \frac{Q_o^m}{D^n} R \int_0^R \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m \frac{dr}{R} = h_f \int_0^R \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)^m \frac{dr}{R}$$

Definiendo  $h_f$  como la pérdida de carga de una lateral sin salidas múltiples, se tiene:

Donde

$$h_f = -KR \frac{Q_o^m}{D^n}$$

Para estimar la integral se utiliza la función beta

$$B(z, w) = \int_0^1 t^{z-1} (1-t)^{w-1} dt = \frac{\Gamma(z)\Gamma(w)}{\Gamma(z+w)}$$

donde  $\Gamma(x)$  es la función Gamma.

Para expresar la ecuación de pérdida de carga por función en la forma de la función beta, es necesario introducir una variable auxiliar  $u=r/R$  en dicha ecuación con  $du= d(r/R) = dr/R$ , entonces

$$h_f = h_F \int_0^1 (1-u^2)^m du$$

Reescribiendo la ecuación:

$$h_f = h_F \int_0^1 (1-u^2)^m du = h_F \frac{1}{2} \int_0^1 r^{-1} (1-u^2)^m 2r dr$$

asumiendo  $t=r$  y  $z=1/2$ , la ecuación anterior obtiene la forma de la función Beta, con  $z=1/2$  y  $w=m+1$ :

$$h_f = \frac{h_F}{2} \int_0^1 T^{-1/2} (1-T)^m dT = \frac{h_F}{2} \beta(z, w) = \frac{h_F}{2} \beta(1/2, m+1)$$

### VI.3.3.1 Hazen-Williams

La ecuación de Hazen –Williams es la más usada para estimar la pérdida por fricción en laterales de riego por aspersión con régimen turbulento (número de Reynolds mayor a  $6.3 \times 10^5$ ) el parámetro  $m$  es igual a 1.852, entonces  $\frac{1}{2} \beta(1/2, 2.85) = 0.5477$ . La pérdida de carga en un lateral para pivote central puede entonces estimarse usando el factor de salidas múltiples de 0.5477

$$h_f = F_{sm} h_F = 0.5477 h_F$$

La siguiente ecuación permite estimar la pérdida de carga desde el punto pivote a un punto  $r$  sobre el lateral:

$$h_{f-r} = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^r \left( 1 - \left( \frac{\tau}{R} \right)^2 \right)^m d\tau$$

Donde  $\tau$  es una variable auxiliar de integración

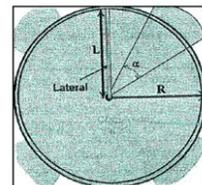
El binomio de la integral puede aproximarse usando una serie binomial (Scaloppi y Allen, 1992) de la forma siguiente

$$\left[ 1 - \left( \frac{\tau}{R} \right)^2 \right]^m = 1 - m \left( \frac{\tau}{R} \right)^2 + \frac{m(m-1)}{2!} \left( \frac{\tau}{R} \right)^4 - \frac{m(m-1)(m-2)}{3!} \left( \frac{\tau}{R} \right)^6 + \dots$$

Sustituyendo los primeros cuatro términos de la serie e integrando se tiene:

$$h_{f-r} = -K \frac{Q_o^m}{D^n} \int_0^r \left( 1 - \left( \frac{\tau}{R} \right)^2 \right)^m d\tau = K_F \left\{ \frac{r}{R} - \frac{m}{3} \left( \frac{\tau}{R} \right)^3 + \frac{m(m-1)}{10} \left( \frac{\tau}{R} \right)^5 - \frac{m(m-1)(m-2)}{42} \left( \frac{\tau}{R} \right)^7 \right\}$$

Como la longitud del lateral ( $L$ ) es menor que el radio efectivo de mojado ( $R$ ), se usa una longitud hidráulica equivalente ( $L_h$ ) para definir las pérdidas por fricción en un lateral con aspersores mojado fuera del radio  $L$ . Sustituyendo la ecuación para



un régimen turbulento (m=2), se obtiene:

$$h_{f-r} = h_f \left\{ \frac{r}{L_h} - \frac{2}{3} \left( \frac{r}{L_h} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{r}{L_h} \right)^5 \right\}, \quad L_h > R > L, r \leq L$$

Donde

$L_h$  = longitud hidráulica equivalente

Una versión muy usada para estimar las pérdidas de carga por fricción, derivada y verificada por Chu Moe (1972), está dada por

$$h_{f-r} = h_f \frac{15}{8} \left\{ \frac{r}{L_h} - \frac{2}{3} \left( \frac{r}{L_h} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{r}{L_h} \right)^5 \right\}, \quad L_h > R > L, r \leq L$$

La distribución de presión a lo largo del lateral puede estimarse con la ecuación siguiente:

$$\frac{h_r - h_{Lh}}{h_o - h_{Lh}} = \frac{h_r - h_{Lh}}{F_{sm} h_f} = 1 - \frac{15}{8} \left\{ \frac{r}{L_h} - \frac{2}{3} \left( \frac{r}{L_h} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{r}{L_h} \right)^5 \right\}, \quad L_h > R > L, r \leq L$$

Donde

$h_r$  = es la presión a una distancia  $r$  del pivote

$h_o$  = es la presión inicial del pivote

$h_{Lh}$  = es la presión al final del pivote

Para estimar las pérdidas de carga en tuberías sin salidas múltiples la ecuación de Hazen Williams es de la forma siguiente:

$$h_f = KL \frac{\left( \frac{Q_o}{C} \right)^{1.852}}{D^{4.87}}$$

donde:

$L$  = longitud del lateral

$C$  = Coeficiente de Hazen-Williams, usualmente se toma un valor de 140 para tubería de pivotes

$D$  = diámetro interno

$Q_o$  = gasto al inicio del lateral

$K$  = coeficiente de conversión que depende de las unidades usadas

Valores del coeficiente  $K$  de la ecuación Hazen Williams para varias unidades de las variables involucradas

	unidades			
K	$1.22 \times 10^{10}$	3163	$4.6 \times 10^{-7}$	10.46
$h_f$	m	m	m	ft
L	m	m	m	ft
Q	lps	lpm	$m^3 s^{-1}$	gpm
D	mm	mm	m	in

### VI.3.3.2 Recomendaciones del fabricante

Debido a que la Ecuación de Hazen Williams conduce a cálculos engorrosos, los fabricantes de equipos de pivotes, han desarrollado tablas para estimar rápidamente las pérdidas por fricción cuando se está diseñando un sistema de tuberías para un pivote central. Las tablas contienen la información siguiente:

Velocidad del agua (ft/seg.). Es la velocidad a la que las partículas de agua se mueven a través del tubo. Si el tubo es demasiado pequeño para un flujo dado, la pérdida de fricción es excesiva. Si el tubo es demasiado largo para un flujo dado, el costo implícito en la instalación del tubo no se justifica. Una regla sencilla en un sistema de tuberías es que la velocidad de agua este dentro del rango de 3 y 7 seg. En las tablas este rango esta sombreado.

Carga de velocidad. La distancia vertical que el agua debe tener para alcanzar la velocidad de un flujo dado. Pérdida de carga causada por el flujo (ft de pérdida por 100ft de longitud de tubo). La pérdida por fricción calculada con la formula de Hazen Williams para un flujo y dimensión de un tubo y convertir de libras por pulgada cuadrada a pies de agua (1 ft de agua = 0.433 psi). Los cálculos se realizan para un longitud de tubo de 100ft y se deberá multiplicar por un factor de corrección para convertir esta longitud al valor de la longitud que se esté considerando (si la longitud total del tubo es de 500 ft, el valor obtenido en la tabla se multiplica por 5. de igual manera si la longitud del tubo es de 40 ft, se multiplica el valor obtenido de la tabla por el factor 0.40).

Pérdida de carga de velocidad causada por el flujo (psi de pérdida por 100 ft de longitud de tubo. La pérdida de fricción calculada con la formula de Hazen Williams para un tamaño de tubo y flujo dado. De igual manera se utiliza un factor de conversión para el valor de la longitud del tubo analizado.

Los valores de las tablas se determinaron con un valor de C=100. Para convertir la pérdida de fricción de este valor de referencia se emplea el factor de corrección dado en la tabla siguiente para obtener el valor de la pérdida por fricción para un valor diferente de C.

<b>Valor de C</b>	<b>150</b>	<b>140</b>	<b>130</b>	<b>120</b>	<b>110</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>70</b>	<b>60</b>
<b>Factor de corrección</b>	<b>0.47</b>	<b>0.54</b>	<b>0.62</b>	<b>0.71</b>	<b>0.84</b>	<b>1</b>	<b>1.22</b>	<b>1.5</b>	<b>1.93</b>	<b>2.57</b>

En el Apéndice D se incluyen las tablas correspondientes a tuberías de 6 “, (Fig. D2 y D3) tomadas del Manual de diseño de Lindsay Zimmatic, a fin de ejemplificar el uso de las tablas. Para otros diámetros de tubería se deberá consultar el Manual.

Debido a que en general las líneas de conducción no son rectas y tienen cambios de dirección, se deberán estimar las pérdidas por fricción de las conexiones como codos “Tees”, válvulas. Las ecuaciones correspondientes para determinar las pérdidas de fricción en conexiones son muy complejas y por esta razón se emplea un método simple. Este método se basa en considerar que todas las pérdidas por fricción en las conexiones contribuyen a la pérdida total de presión y la pérdida de fricción de cada conexión, para

un cierto diámetro y un flujo dado, que se origina equivale a una pérdida por fricción de un tubo recto con la longitud que conduce a la misma pérdida de fricción que la conexión. Para determinar las longitudes equivalentes se han desarrollado tablas para diferentes tipos de conexiones como la que se muestra en la Fig. D4 del Apéndice D. En la Fig. D5 se presenta una tabla desarrollada para estimar las pérdidas por fricción originadas por las bombas.

Para determinar las pérdidas por fricción en la lateral de un pivote, formada por varios tramos con combinaciones de tubos con diámetros y longitudes diferentes, también se utilizan tablas proporcionadas por los fabricantes como las que se presentan en el Apéndice D para dos ejemplos.

### VI.3.4 Consideraciones de diseño

Los Factores que se deben considerar

1. *Diseño del sistema de riego adecuado.* El sistema de riego debe: Adecuarse a las necesidades de agua de la cosecha y Optimizar la eficacia del riego. Dividir el área a regar en zonas con distintas necesidades de riego le ayudará a resolver esta situación. Puede elegir realizar una división por tipos de cosecha o quizá por la exposición al sol y al viento, si es posible. Para determinadas cosechas puede seleccionar zonas umbrías o en pendiente.
2. *Equipo de riego.* Distintos equipos de riego requieren distintas cantidades de agua y presión. Por ello, el equipo se deberá seleccionar antes que la bomba. No se debe pasar por alto el cuadro de control. Este dispositivo controla el rendimiento de la bomba, incluso encendiéndola y apagándola en periodos predeterminados. Si no riega en periodos con luz solar directa o con fuertes vientos ahorrará agua. Un cuadro de control puede programarse para optimizar el funcionamiento, respetando tanto la cosecha como el ahorro de agua. Apagando la bomba durante un tiempo se consigue que el suelo absorba el agua de riego. Encendiéndola más tarde mejorará la absorción y reducirá el consumo de agua.
3. *Fuente de suministro de agua.* El origen del agua de riego influye en la bomba que se va a seleccionar. Las bombas sumergibles en pozos profundos están especialmente diseñadas para bombear agua desde varios cientos de metros bajo tierra. Para bombear agua de superficie puede usar distintos modelos de bombas.
4. *Consumo energético.* Las bombas y los motores presentan eficacias diferentes, y la eficacia total se debe calcular siempre antes de realizar la selección final. La factura de la luz depende de cuántos KWH. absorbe el motor. Sólo tiene que comparar el caudal y el tope que produce la bomba con el consumo de KWH. del motor.

Se puede calcular como sigue:

$$\text{Rendimiento \%} = Q \times H \times 100 / (365 \times P1)$$

Q = caudal en m<sup>3</sup>/h

H = head (pressure from pump in meters)

H = altura (presión desde la bomba en metros)

P1 = Kw. requeridos por el motor. No deben confundirse con la salida en Kw. que aparece

estampada en la placa del motor. La mayoría de los fabricantes de bombas pueden suministrar todos los datos relevantes, para poder calcular la eficacia con precisión.

5. *Caudal*. Hay dos elementos básicos que son cruciales:

- La disponibilidad de agua
- Las necesidades de agua del cultivo

Al utilizar agua subterránea, solemos recomendar usar más de un pozo para minimizar el descenso de nivel del agua. También se recomienda emplear varias bombas pequeñas en lugar de una grande. Algunas ventajas son:

- Fácil activación/desactivación de las bombas en función de la demanda de caudal
- Minimización de las fugas producidas por la presión excesiva del sistema
- Se reduce el consumo energético, al limitar la altura
- Se evitan las influencias negativas en el acuífero

6. *Presión*. La presión del sistema debe mantenerse lo más baja posible. Los motivos son: Se reducen las fugas. Se conserva el agua. Se reduce el consumo energético, no obstante, se suele necesitar una presión mínima específica para un funcionamiento correcto. Sin ella, el rendimiento que anuncia el fabricante no será posible.

7. *Consideraciones adicionales*. Las bombas sumergibles ofrecen dos ventajas principales al obtener agua de un embalse o lago:

- Se mejora la protección antirrobo cuando las bombas están sumergidas
- Se reduce el ruido únicamente al ruido de los tubos y las válvulas
- Se puede bombear prácticamente desde cualquier profundidad
- No hay riesgo de vaporización del agua

8. Rendimiento variable de la bomba. La regulación de la velocidad es el modo más eficaz de adaptar. Existe la disponibilidad de una serie de bombas con control de velocidad variable, y puede suministrar bombas de presión embaladas con controles simples. Algunos fabricantes de equipos de riego también diseñan controladores, que están optimizados para bombas y equipos de riego por separado.

9. *Protección de la bomba*. Hay disponibilidad en el mercado de dispositivos para riego, de una amplia gama de dispositivos de protección frente a los problemas más comunes como la sobrecarga, el exceso o la falta de tensión, el desequilibrio de fases, y la refrigeración insuficiente.

10. *Evaluación del impacto ambiental*. Una parte importante de la planificación de los sistemas de riego consiste en analizar los problemas ambientales potenciales al operarlos, como son: migración de agroquímicos aplicados con el sistema, escurrimiento y erosión potencial por altas intensidades de aplicación, excesiva filtración por sobre riego o mal diseño. En el Apéndice B se presenta un apartado sobre el impacto ambiental de los sistemas de riego y en el Apéndice C sobre saturación y salinización de los suelos.

Los equipos deben ser diseñados adecuados a cada sitio y optimizar costos directos e indirectos con base en la información colectada que incluye la caracterización de suelos (física y química), infiltración, disponibilidad de agua (cantidad y calidad), microclima, requerimientos de agua del cultivo e identificación de cualquier otra restricción potencial. La pendiente a lo largo de la huella puede afectar el desempeño y la vida útil del equipo. Pérdidas potenciales como arrastre por viento, evaporación, escorrentías y percolación profunda, deben ser estimadas. Los aspersores y patrones de distribución deben ser adecuados al tipo de suelo y criterios de operación deben ser entregados al productor. La determinación de costos directos: recaen sobre el productor o inversionista ya que son los que materializan los objetivos del proyecto y se dividen, a su vez, en: Costos de inversión que incluyen el costo del equipo y las inversiones necesarias para la elaboración del proyecto, tales como: construcciones e instalaciones y los costos de Operación.

Por lo que respecta a costos indirectos incluyen aquellos provocados por especulación del capital, de terrenos y de los activos en general; por la contaminación del aire, del suelo y del agua, casos concretos son las emisiones de la maquinaria y los fumigadores al aire, los agroquímicos aplicados al suelo y al agua, las descargas de aguas residuales a los drenes por lavado de suelos en drenajes parcelarios, y el creciente desecho de plásticos utilizados en la agricultura. El evaluador de proyectos debe tener clara conciencia de los efectos y sus costos aún difíciles de cuantificar, en vez de disfrazar con justificaciones la ignorancia actual y reconocer los efectos negativos que pueden tener en las actividades y en la sociedad, por lo tanto, debe tomar en consideración las valoraciones cualitativas de sus efectos.

Otro grupo de indirectos generalmente son los relativos a gastos de administración como son: nómina, papelería, luz, agua, teléfono, fax, mensajería, arrendamientos, etc., que por lo general no se cuantifican en los proyectos agropecuarios, porque los usuarios no se constituyen como empresa; no obstante, son gastos que acaban siendo asumidos por ellos y con cargo al proyecto. Por otra parte, cada vez más las fronteras que separan a la empresa agropecuaria o agroindustrial con el productor del sector primario se diluyen y se integran en un ambiente más formal de la administración empresarial, donde aspectos como los activos, el valor agregado, los impuestos y en general los estados financieros que caracterizan a la empresa formalmente constituida cobran sentido.

#### **VI.3.4.1 Costo del Equipo.**

Como con todos los equipos de riego, para reducir los costos por unidad de área regada, es ventajoso regar la mayor superficie posible con una mínima cantidad de equipamiento. En el caso del Pivote Central, el costo del equipo es proporcional al radio del círculo regado, pero el área regada es proporcional al cuadrado de este radio. Esta es básicamente la razón de que el equipo se recomienda para superficies por mayores las 30 ha.

Los costos por hectárea del equipo entonces dependen directamente de la superficie que se quiera dejar bajo riego. Pivotes Centrales diseñados para regar entre 20 a 30 ha., tienen valores que fluctúan entre los 1500 a 2500 \$US/ha, en cambio Pivotes capaces de regar unas 100 ha., poseen valores entre 800-1000 \$US/ha.

El costo total de un proyecto de riego por Pivote Central no tan sólo considera la inversión de la

adquisición del equipo, que corresponde entre el 40% a un 60% del costo total del proyecto, sino que además debe considerar otros costos del proyecto como son: el sistema de bombeo, red hidráulica, sub-estación y red eléctrica, equipo de fertirrigación, sistema de filtraje y las obras de captación.

### **VI.3.4.2 Costos de operación**

Los costos de operación incluyen los costos necesarios para operar el proyecto, como son: materias primas, mano de obra, energía, materiales, seguros, conservación y mantenimiento y sus respectivos impuestos.

Un mantenimiento regular del Pivote Central permite prevenir roturas y pérdidas de tiempo y obtener un funcionamiento más prolongado y eficiente a lo largo del tiempo, lo cual se traduce, finalmente, en ahorro de dinero.

Según datos de los expertos, se coincide en que los ítems más importantes para el mantenimiento son:

1. Anualmente.
  - Verificar la presión de aire en los neumáticos,
  - Eliminar el agua que pueda existir en las cajas de transmisión y volver a llenarlas con aceite,
  - Verificar que las juntas estén en el lugar correcto,
  - Asegurar que las trampas de arena estén funcionando correctamente para evitar la acumulación de este tipo de partículas. De ser necesario, lavar estas trampas con agua a presión.
  - La presión debe ser monitoreada cada año y a lo largo de cada estación. Si la presión comienza a disminuir a lo largo del tiempo, esto puede ser un signo de problemas en el equipo de bombeo o en el sistema de suministro de agua.
2. Antes de la estación de riego
  - Verificar el funcionamiento de las boquillas al momento de arranque asegurando que estén asperjando correctamente.
  - Procurar que el equipo de riego quede apoyado correctamente sobre el suelo.
3. Al final de la estación de riego
  - Eliminar el agua del Pivote y de todas las conexiones que van hacia el mismo.
4. De manera poco frecuente
  - A partir del primer año de operación, reemplazar el aceite de las cajas de transmisión de las ruedas, utilizando el tipo de aceite aconsejado por el fabricante.
  - Cambiar el aceite de las cajas de transmisión, una vez cada 3 años en caso de operar en condiciones normales o una vez cada 2 años si el equipo se usa más de 1000 horas al año.
  - Cambiar aspersores en el caso de notar un incremento en el consumo de combustible o energía, es importante tener en cuenta que el mismo puede deberse a un sistema de aspersores dañado o gastado. Con el correr del tiempo, el tamaño de las boquillas en los

sistemas de aspersión tiende a incrementarse y con ello el caudal, lo que conlleva a un aumento en el consumo de electricidad (o combustible) por parte de la bomba. El productor puede obtener un importante ahorro de agua y energía al adoptar los nuevos modelos de aspersores de baja presión.

En el Apéndice C, se muestran fotografías y láminas ilustrativas relativas al mantenimiento del Pivote Central.

Los puntos anteriores (mantenimiento esmerado, elección de los aspersores correctos, trabajar a la presión adecuada, evitar la formación de huellas de neumáticos profundas y emplear la fertirrigación), pueden ser medidas insuficientes si El sistema no es manejado correctamente.

Para ello, como en cualquier sistema de riego, lo importante es monitorear los niveles de humedad del suelo y aplicar El riego en el momento adecuado.

### **VI.3.5 Diseño del paquete de aspersores.**

La selección y localización de los emisores es una parte importante del proceso de planificación del sistema. En esta fase se recomienda obtener varias alternativas de paquetes de aspersores que cumplan con las restricciones hidráulicas impuestas por el sistema.

Las principales variables que se consideran para seleccionar un paquete de aspersores son: el espaciamiento entre aspersores y el tipo de aspersor.

La selección del tipo de emisor entre las diferentes opciones comerciales disponibles, depende de los siguientes factores:

- Velocidad del viento
- Potencial ambiental evaporativo
- Tipo de cultivo
- Requerimientos hídricos del cultivo
- Topografía del terreno
- Costos de bombeo
- Practicas de quimigación requeridas
- Uniformidad deseada
- Capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo
- Longitud del lateral

Existen los siguientes tipos hidráulicos de aspersores usados en pivotes centrales

- Aspersores de impacto o giratório
- Roçadores o pulverizadores (spray)
- Emisores LEPA
- Cañon

En la tabla siguiente se presentan las principales características de los tipos de aspersores más usados en los sistemas de pivote central, donde se observa un amplio rango de diámetros de mojado y presiones de operación.

Fig. 38. Tipos de aspersores para pivote central

Tipo	Material	Angulo trayectoria (°)	Tamaño gota	Presión aspersor (psi)	Diámetro de mojado (ft)
Borboteador	Plástico	Baja	G	5 – 10	1
Spray 180	Plástico o bronce	-10 a 10	P	10 – 30	10 – 20
<b>Spray 360</b>					
Plato liso	Plástico	0	P	10 – 30	10 – 20
Plato fino	Plástico	-5 a 10	P – M	10 – 30	20 – 40
Plato estriado	Plástico	0 a 15	M – G	15 – 40	40 – 60
Plato combinado	Plástico	Combinación	P – M	10 – 40	40 – 50
Plato rotatorio	Plástico	-5 a 30	M – G	15 – 45	40 – 70
<b>Impacto</b>					
Alta presión	Plástico o bronce	0 a 15	M – G	25 – 50	50 – 70
Baja presión	Plástico o bronce	10 a 27	M – G	40 – 80	60 – 100
Cañón	Variado	18 a 27	M – G	40 – 100	100 – 550

**NOTA:** La simbología del tamaño de gota es: G–Grande, M–Media, P–Pequeña

#### *Tipos de aspersores para pivote central*

Los espaciamientos más utilizados son:

- Espaciamiento uniforme. Los aspersores se espacian entre 9 y 12 m y su gasto se incrementa en proporción directa con la distancia de este al punto pivote. El diámetro de mojado también aumenta pero no en proporción a su descarga.
- Espaciamiento Semi uniforme. La línea regante es dividida en tres segmentos para utilizar diferentes espaciamientos.
- Descarga uniforme de los aspersores. El espaciamiento es de 12 m cerca del pivote y decreciendo a 1.5 m en las orillas. El espaciamiento del aspersor esta en proporción inversa a la distancia radial del pivote, por lo que el espaciamiento por la distancia radial es constante.

El espaciamiento uniforme es el más utilizado por su facilidad de fabricación e instalación, pero requiere de aspersores más grandes. Con el fin de evitar problemas con los aspersores grandes, frecuentemente se utiliza el espaciamiento Semi uniforme, siendo común el espaciamiento de los aspersores a 12 m en la primera tercera parte. A 6 m en la segunda y a 3 m al final.

La estrategia general para seleccionar el aspersor y el tamaño de sus boquillas es:

- Determinar la distribución del gasto, considerando el gasto requerido por cada aspersor con el fin

de lograr una buena uniformidad.

- Determinar la carga mínima de operación del aspersor.
- Determinar la distribución de presión o cargas a lo largo de la línea regante.
- Con la presión y el gasto seleccionar el diámetro de la boquilla.

La presión de operación de un aspersor define en gran parte su comportamiento hidráulico: descarga, tamaño de gota y radio de mojado. Al incrementar la presión disminuye el tamaño de la gota, incrementa el gasto y radio de mojado.

Durante el diseño hidráulico del sistema se busca el aspersor que proporcione el gasto deseado, con base en las características de los modelos de aspersores comerciales.

En lo referente al gasto de aplicación de un aspersor, se puede estimar en función de la presión mediante la siguiente expresión algebraica

$$q_a = C_d A \sqrt{2 g H}$$

Donde

$C_d$  es el coeficiente adimensional de descarga del aspersor que depende del tipo de boquilla y configuración con un rango de variación de 0.90 a 1 para la mayoría de los modelos comerciales

$g$  es la constante gravitacional

$H$  es la presión de operación del aspersor en metros o pies de columna de agua

$A$  es el área equivalente de los orificios de las boquillas del aspersor

$$A = \pi \frac{(D_p^2 + D_s^2)}{4}$$

$D_p$  es el diámetro de la boquilla principal

$D_s$  es el diámetro de la boquilla secundaria

Aunque es posible obtener el coeficiente  $C_d$  en forma experimental, una forma alternativa es obtenerla por medio de un análisis de regresión ajustando datos de  $H$  y  $D$  proveniente de catálogos comerciales usando el modelo siguiente:

$$C_d = \alpha_0 + \alpha_1 D^2 + \alpha_2 H$$

Donde

$D$  es el radio equivalente

$$D^2 = \frac{(D_p^2 + D_s^2)}{4}$$

$\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  Son los coeficientes de regresión obtenidos al ajustar el modelo a datos experimentales

$C_d$  es el coeficiente de descarga obtenido de datos experimentales de  $q_a$  y  $H$  obtenidos usualmente de

catálogos del fabricante con la relación:

$$C_d = \frac{q_d}{A\sqrt{2gH}}$$

El radio de mojado de un aspersor, es el máximo alcance de mojado del aspersor y cuyo valor es importante conocer para estimar el área de mojado y determinar el espaciamiento máximo entre aspersores para obtener máxima uniformidad. La selección del paquete de aspersores para el pivote central dependerá de los modelos disponibles en el mercado que cumplan con los requerimientos hidráulicos de presión, gasto y radio de mojado para obtener una alta uniformidad.

La altura del emisor tiene una relación con el diámetro de mojado. Los aspersores de baja presión usualmente se colocan cerca del follaje o suelo para reducir pérdidas por evaporación o acarreo de gotas.

Para incrementar el área de riego se pueden colocar uno o más cañones con una o varias boquillas al final del lateral. Sin embargo, por las altas presiones requeridas por estos cañones, se requiere una bomba de sobre presión, a fin de incrementar la presión al final de la lateral.

Los aspersores de baja presión tienen un radio de mojado pequeño, por lo que su espaciamiento es angosto. Sin embargo, al final del lateral pueden requerirse espaciamientos cortos y altas intensidades que son imprácticos de instalar y operar. Para resolver esta limitante con aspersores de baja presión se instalan tubos horizontales perpendiculares al lateral con tres o más emisores que pueden incrementar la superficie de mojado y reducir la intensidad de aplicación. Los tubos horizontales son usualmente usados en el tercio o mitad final del lateral en longitudes que varían de 3 a 6 m.

Para mantener alta uniformidad en terrenos con pendiente se requieren reguladores de presión o gasto en los puntos de los emisores, principalmente para los de baja presión.

Una vez que se ha seleccionado hidráulicamente varios paquetes de aspersores, estos deben evaluarse en términos de eficiencia y uniformidad del riego, para tener una visión global de su funcionamiento y corregir o mejorar parte o la totalidad del sistema. Uno de los problemas que surgen en la selección de un paquete de aspersores es que las intensidades de aplicación producidas a lo largo de la lateral son mayores que la infiltración del suelo, generando un escurrimiento que reduce la uniformidad del riego. El gasto de aplicación de los emisores se incrementa a mayor distancia del punto del pivote debido a la mayor superficie de riego por cubrir.

