

TP N° 8
UNIDAD N° 8
RIEGO POR ASPERSIÓN

Equipo docente:

Ing. Agr. Leopoldo J. Génova (Dr. M. Sc.), Profesor Titular Ordinario

Ing. Agr. Ricardo Andreau, Profesor Adjunto Ordinario

Ing. Agr. Marta Etcheverry (M. Sc.) Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario

Ing. Agr. Pablo Etchevers, Jefe de Trabajos Prácticos

Ing. Agr. Walter Chale, Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Luciano Calvo Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Facundo Ramos Artuso, Ayudante Diplomado

7.1 Característica generales

El riego por aspersión permite aplicar el agua o soluciones formadas por agroquímicos (fertilizantes, etc) en forma asperjada (lo mas parecido a la gota de lluvia), sistema que mejora notablemente la eficiencia con respecto a otros sistemas de aplicación como por ejemplo los sistemas de riego gravitacionales. El agua es conducida por cañerías a presión, impulsada por equipos de bombeo desde la fuente hasta los aspersores. La eficiencia puede variar entre menos del 60 y el 80 %, afectado por la evaporación y la velocidad del viento. Como referencia se puede ver en la tabla del manual de Ames como afecta a la eficiencia los vientos y la evaporación:

Lamina de agua aplicada	Evaporación máxima en mm/día		
	5 mm o menos	de 5 a 7,5 mm	mas de 7,5 mm
	Velocidad del viento promedio: 6, 4 km/h		
25 mm	68 %	65 %	62 %
50 mm	70 %	68 %	65 %
100 mm	75 %	70 %	68 %
125 mm	80 %	75 %	70 %
	Velocidad del viento promedio: 6, 4 a 16,0 km/h		
25 mm	65 %	62 %	60 %
50 mm	68 %	65 %	62 %
100 mm	70 %	68 %	65 %
125 mm	75 %	70 %	68 %
	Velocidad del viento promedio: 16,0 a 24 km/h		
25 mm	62 %	60 %	58 %
50 mm	65 %	62 %	60 %
100 mm	68 %	65 %	62 %
125 mm	70 %	68 %	65 %

Ventajas

- Se adapta a terrenos quebrados y pocos profundos, evitando la nivelación.
- Aumenta la uniformidad de aplicación en suelos con alta capacidad de infiltración.
- Se adapta a cualquier sistema de siembra (al voleo, pasturas o cereales).
- Es apto para zonas donde el recuso agua es escaso, debido a su elevada eficiencia de aplicación.
- Ayuda a combatir heladas.
- Aplicable a suelos de alta erodabilidad.

Desventajas

- Alto costo de inversión inicial.
- Las pérdidas por evaporación son elevadas en zonas con altas temperaturas y fuertes vientos, que repercuten en la uniformidad de aplicación.
- Es necesario personal con mayor entrenamiento.
- La calidad de agua es una limitante, especialmente con respecto al tenor salino.

7.1.1 Pérdidas de carga

Debemos distinguir las pérdidas de carga en el ramal principal y en secundarios de las perdidas ocurridas en el ala regadora.

En el ramal principal y en secundarios se calculan por el procedimiento convencional, por medio de Darcy-Weisbach, Manning o Hazen Williams.

En la conducción de agua para riego por aspersión se ha empleado con preferencia la formula de Scobey:

$$H_f = \frac{K_s * L * V_m}{D_n}$$

Donde **Hf** = pérdidas de carga por fricción en todo el largo L de la tubería
Ks = coeficiente de rugosidad
m y n = variables que afectan exponencialmente a los valores de velocidad del flujo y diámetro interno de la tubería.

Las pérdidas en el ala regadora deben calcularse por tramos ya que habiendo múltiples salidas en la tubería, el caudal varia y por ende el valor de las perdidas en cada tramo.

El caudal total (Q) que ingresa a un lateral, se distribuye a través de un numero de regadores (N), erogando cada uno un caudal (q,) que expresa su descarga individual y cuyo promedio constituye el caudal medio (qm).

De tablas puede obtenerse la perdida de carga cada 100 metros de tubería en función de los caudales erogados y loa diámetros de los caños.

Para establecer el Hf en un ala regadora con salidas múltiples (mas de un aspersor) se utiliza el factor de ajuste de Christiansen, que disminuye a medida que aumenta el numero de aspersores.

7.1.2 Relaciones entre descarga y presión de ejercicio de los aspersores

El caudal que eroga un aspersor es:

$$Q = c * S \sqrt{2 * g * h}$$

El valor de c es muy alto, cercano a la unidad (0,98)

La relación entre dos caudales q_1/q_2 es:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{c * S \sqrt{2 * g * h_1}}{c * S \sqrt{2 * g * h_2}}$$

Remplazando **h** por la presión, **p** que representa, se tiene:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sqrt{p_1}}{\sqrt{p_2}}$$

Dicha ecuación permite obtener el caudal de un aspersor cuando se conoce el caudal que eroga el otro y la relación de presión de ambos:

$$q_1 = q_2 \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}$$

Duplicando la presión en la bomba, la pérdida por fricción en un lateral también se duplica, así como la presión en el extremo del mismo.

Christiansen ha establecido que la variación relativa de la descarga de los aspersores a lo largo de la línea, es aproximadamente la mitad de la variación relativa de la presión.

$$q_1/q_2 = 1 + 0.5 * (p_1/p_2 - 1)$$

Esta ecuación es valida para relaciones de presión inferiores a 1: 5.

En el diseño de equipos se acepta una diferencia de presión del 20 % entre el primer y ultimo regador de la línea de riego, que se traduce en una diferencia del caudal erogado del 10 %. El gradiente de presión entre dos aspersores sucesivos es mayor en los primeros tramos que en los últimos de la línea.

La representación grafica de la presión de un lateral es una curva con gradiente decreciente desde el principio al final de la línea. En base a esta curva se establece que:

$$P_i = p_m + \frac{3}{4} hf$$

y que

$$P_f = p_m - \frac{1}{4} hf$$

donde

p_i = presión inicial.

p_f = presión final.

p_m = presión media en el lateral obtenida de las tablas de especificaciones del aspersor.

En general la presión de rotura es varias veces mayor a la nominal, pero debemos tomar recaudos para evitar que alguna sobrepresión nos colapse la conducción, por ejemplo cuando se produce el golpe de ariete generado a partir de cambios bruscos de velocidad en el interior de la tubería (cierres o aperturas de válvula). Existen maneras de atenuar el efecto con accesorios, pero la mayor recomendación es no sobrepasar ciertos límites de velocidad interna de la tubería. Los valores comunes de velocidades máximas son de **1,6 a 2 m / seg.**

7.1.3 Componentes de un equipo de riego por aspersión

- a- Las tuberías y accesorios
- b- El equipo motobomba
- c- Los aspersores

a-Tuberías y accesorios

Se clasifican principal, secundarias y alas regadoras

Pueden ser totalmente fijas, en cuyo caso el equipo es fijo y van generalmente enterradas, semifijas (parte fija y parte móvil) o totalmente móviles que se cambian continuamente de posición durante la aplicación del riego.

Las fijas son normalmente metálicas, de plásticos especiales, de asbesto cemento (hoy desaconsejada por el efecto del asbesto en la salud) o de concreto reforzado; en cambio las móviles son de aluminio o acero zincado a fuego.

Los tramos de cañería se han estandarizado en 6, 9 y 12 metros de largo y diámetros de 2" a 10" (pulgadas). Es importante saber a que presión será sometida a tubería para elegir los espesores que permitan resistir dicho esfuerzo. En general existen tabla de fabricantes donde especifican los diámetro, espesores y presión nominal da cada uno. **Tabla 2**

Los accesorios son una gran cantidad de elementos que conforman el resto del equipo de riego, por ejemplo codos, curvas o dobles curvas, etc.

Es importante determinar la pérdida de carga que generan estos accesorios, para lo cual las casa de riego confeccionan tablas donde equiparan dichas pérdidas a metros lineales de tubería.

b-El equipo motobomba

Su función es la de aspirar el agua desde la fuente e impulsarla a través del sistema de cañerías hasta los erogadores.

Es importante que en la toma del agua se cree la presión necesaria para que el agua llegue hasta el ultimo aspersor con la presión que recomienda el fabricante, para que entregue el caudal que indica el manual del aspersor, además de solventar las pérdidas de carga que tenga el agua en todo su recorrido.

En algunos casos esta parte del equipo se omite debido a que la fuente de agua tiene una elevación tal que genera la presión necesaria de trabajo (caso de zona de montaña).

En general se usan bombas centrífugas de eje horizontal como de vertical. Las de eje horizontal se usan cuando la fuente de agua es superficial como por ejemplo ríos, arroyos embalses, etc.

En cambio cuando se extrae agua de una fuente profunda se usan las bombas de eje vertical.

El motor puede ser eléctrico o de combustión interna.

El conjunto motor y bomba conforman lo que se conoce como motobomba, que puede ser fijo o móvil.

c-Los aspersores

Son toberas provistas de mecanismos que le permiten asperjar el agua en forma de gotas y que dan lugar a la llovizna.

Una clasificación de los aspersores es por la forma que asperjan el agua y según su presión de funcionamiento:

Según como asperjan el agua	Según su presión de funcionamiento
Estacionarios o giratorios	Aspersores de baja presión: 0 a 2 kg / cm. Espaciamiento menor a 12 m
Giratorios	Aspersores de media presión: 2 a 4 kg / cm. Espaciamiento entre 6 y 24 m
	Aspersores de alta presión: más de 4 kg / cm. Espaciamiento mayor a 30 m.

El movimiento de giro está accionado por la misma presión del agua accionando un mecanismo que puede ser una rueda dentada o más frecuentemente una leva, llamada martillo, que es desviada por el chorro de agua. En regadores tipo cañón dicha leva acciona sobre un escape dentado que fuerza el giro. En general el giro que cubre el aspersor es de 360 °, pero también es posible que riego un determinado ángulo.

El lugar por donde sale el agua se denomina tobera o boquilla; por el tamaño y características de la misma es que se clasifican los aspersores.

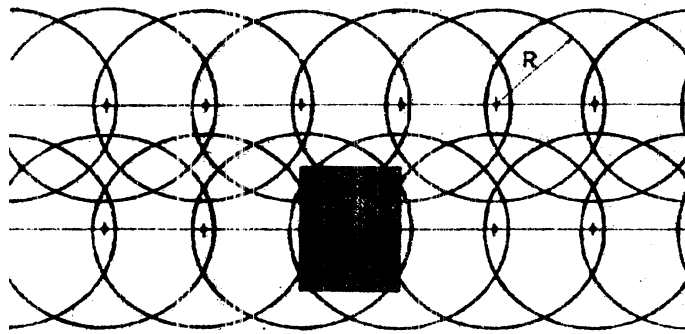
Los regadores pueden ir montados directamente en la tubería mediante un corto niple o bien roscados sobre caños denominados porta regadores para adecuarlos a la altura de los cultivos.

El ángulo de salida del agua es de 45°, pero en zonas donde hay problemas de deriva debido al viento hay fabricantes que ofrecen regadores con ángulos de salida de 27°, esto mejora la eficiencia de trabajo pero disminuye el área de mojado por lo cual hay que tenerlo en cuenta a la hora de determinar el espaciamiento entre aspersores y entre posiciones de área regadora.

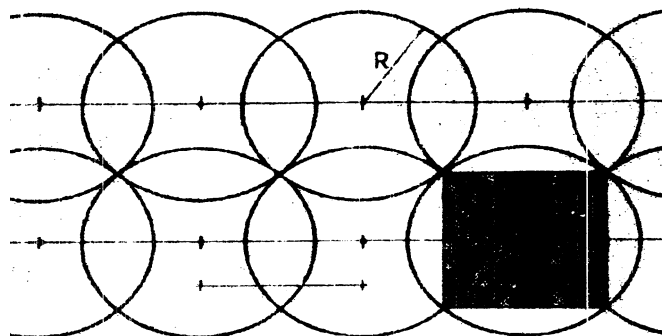
Una variante lo constituye la cañería perforada, a lo largo del ala regadora con la ventaja de trabajar a muy baja presión (0,40 a 0.45 atm).

Funcionamiento de los aspersores

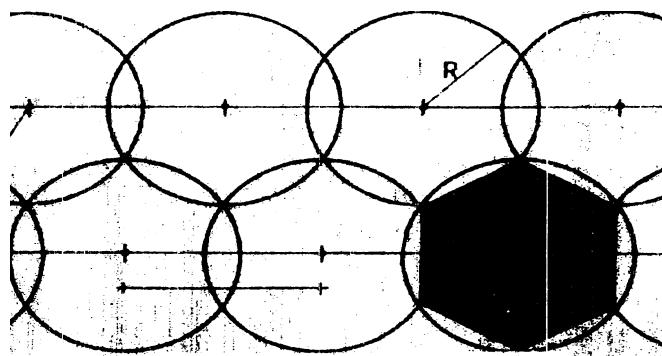
Al girar el aspersor moja una superficie del terreno circular de tal manera que para cubrir un área con círculos de humedad se requiere una determinada superposición de los mismos. De este modo es posible regar eficientemente superficies cuadradas o hexagonales, según se adapte a la disposición de los regadores en cuadrados o en triángulos.



SISTEMA DE SEPARACIÓN RECTANGULAR.



SISTEMA DE SEPARACIÓN CUADRADO.



SISTEMA DE SEPARACIÓN TRIANGULAR.

Esta determinado por las siguientes características:

- 1-Caudal
- 2-Alcance
- 3-Pulverización
- 4-Eficiencia
- 5-Uniformidad
- 6-Espaciamiento
- 7-Precipitación

1-Caudal

$$q = c * S * \sqrt{2 * g * h}$$

donde :

q = caudal erogado

c = coeficiente de gasto o coeficiente de descarga. Refleja la calidad del aspersor, varia entre 0.65 y 0.98.

S = sección de paso de la tobera.

g = aceleración de la gravedad.

h = altura de presión expresada en metros de columna de agua (1 kg/cm² = 10.33 m.c.a.)

2-Alcance

El valor teórica del alcance de un chorro de agua e:

$$R = 2 * \text{sen}2\alpha * v / 2g$$

donde:

v = velocidad de salida del horro.

α = ángulo de inclinación de la boquilla, el valor máximo de R se da para un ángulo de 45 °, pero es muy elevado y se produce mucha deriva por el viento, los valores usuales varían entre 7 y 12 para aspersores subarbores, 22 a 32 para cañones y el resto de los aspersores.

Formula de Cavaza:

$$R = 1.35 * \sqrt{1000 * d * h}$$

donde:

d = diámetro de la tobera, en metros.

h = altura de presión de funcionamiento, en metros.

3- Pulverización.

Se busca evaluar el impacto del tamaño de gota sobre el cultivo y el suelo. El daño aumenta cuanto mayor es el alcance y la altura alcanzada por el chorro.

Índice de Tanda: $I_p = d / h$

donde =

d = diámetro de la boquilla en mm.

h = altura de presión en m.c.a.

Los valores comerciales varían entre 0.4 y 1.

I_p	Tipo de gotas	Cultivos	Suelos
menor 0.3	Finas o muy finas	Flores, hortalizas, algodón, tabaco, etc.	Muy arcillosos
0.3 a 0.5	Medias	Frutales, herbáceos extensivo	Arcillosos
mayor a 0.5	Gruesa	Praderas	Ligeros

4- Eficiencia

Desde el punto de vista hidráulico, para iguales condiciones atmosféricas y aspersores similares, a mayor radio de alcance mas eficiente es el aspersor, será según Oelher y Zunker:

Índice de eficiencia $I_e = \text{Radio de alcance} / \text{Presión} = R / h$

A igual presión de funcionamiento, el mejor aspersor tiene un radio mayor de alcance.

La eficiencia depende en gran medida de la eficacia con la que se comportan los aspersores, caracterizada específicamente a través de la uniformidad. Los siguientes factores pueden afectar directamente la uniformidad en un equipo por aspersión:

- Características constructivas del aspersor (diámetro de la tobera, ángulo de trayectoria, velocidad de rotación).
- Condiciones operativas (presión de trabajo, tiempo operativo).
- Diseño espacial (espaciamiento entre aspersores y superposición de círculos mojados).
- Clima (velocidad del viento, HR, T°C)
- Aerodinámicos (por el choque entre las gotas).

5- Uniformidad

Se expresa por medio de diferentes índices, obtenidos a partir de ensayos realizados. Estos índices pueden ser:

- Uniformidad de aplicación, formado por dos componentes:
 - DU** o Uniformidad de distribución.
 - CU** o Coeficiente de uniformidad de Christiansen
 - ED** o eficiencia de distribución
- Perdidas de carga.

La uniformidad de distribución (DU) indica la uniformidad de la infiltración en el terreno.

$$DU = \frac{d(ci)}{d(m)} * 100$$

donde:

d (ci) = promedio de laminas de aguadle cuarto inferior, o sea la media del 25 % de las menores laminas recibidas.

d (m) = promedio de laminas recibidas.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) indica la variabilidad de la uniformidad de distribución. Debe ser como mínimo del 85% para caracteriza al aspersor como de buena calidad.

$$CU = 100 \left(1 - \frac{\sum x}{m * n} \right)$$

donde:

$\sum x$ = sumatoria de los desvíos absolutos de cada observación de lamina recolectada respecto del promedio de láminas observadas.

m = promedio de laminas observadas.

n = numero de observaciones.

Disminuye a medida que crece la velocidad del viento, y a igual velocidad el viento aumenta con la presión de ejercicio del regador.

Cuando se utiliza caño porta regador CU aumenta con la altura del mismo pero también aumentan las pérdidas por evaporación.

La eficiencia de distribución (ED) permite verificar que aun teniendo una UD aproximadamente del 100 %, es posible verificar que no en toda la superficie mojada el almacenamiento del agua es parejo.

$$ED = 100 * \left(1 - \frac{\sum xs}{ms * n^a} \right)$$

donde:

xs = desvío de una observación de lamina almacenada con respecto a su valor medio.

ms = lamina almacenada media.

n^a = numero de observaciones.

6- Espaciamiento

Para lograr uniformidad se debe recurrir a una correcta superposición que se define como un porcentaje del diámetro correspondiente al círculo mojado de un único aspersor y se le designa como SI.

Pero no solo debe considerarse el espaciamiento en la línea de aspersores sino también el espaciamiento entre las posiciones del ala regadora designada como Sm, lo que permita cubrir lo mas uniformemente el cultivo.

Veamos algunas ventajas y desventajas de los espaciamientos.

Espaciamiento	Ventajas	Desventajas
Pequeños (6, 9 y 12 mts.)	Riego mas uniforme Presiones menores	Mayor costo Mayor cantidad de cambios
Grandes (mayores a 30 mts.)	Menor costo Menor cantidad de cambios	Riego poco uniforme Mayor presión

Existen recomendaciones de los fabricantes para el tipo y disposición en función de la velocidad del viento, por ejemplo:

	Velocidad del viento	Distancia entre aspersores
Espaciamiento cuadrangular y rectangular	Sin viento	65 % del diámetro
	2 m/seg	60 % del diámetro
	3.5 m/seg	50 % del diámetro
	Mas de 3.5 m/seg	30 % del diámetro
Espaciamiento triangular o escalonado	Sin viento	75 % del diámetro
	2 m/seg	60 % del diámetro
	3.5 m/seg	50 % del diámetro
	Mas de 3.5 m/seg	30 % del diámetro

7-Precipitación o pluviométrica

Es la cantidad de lluvia caída en términos de lamina en la unidad de tiempo (mm/h).

$$P = \frac{Q}{SI * Sm}$$

donde:

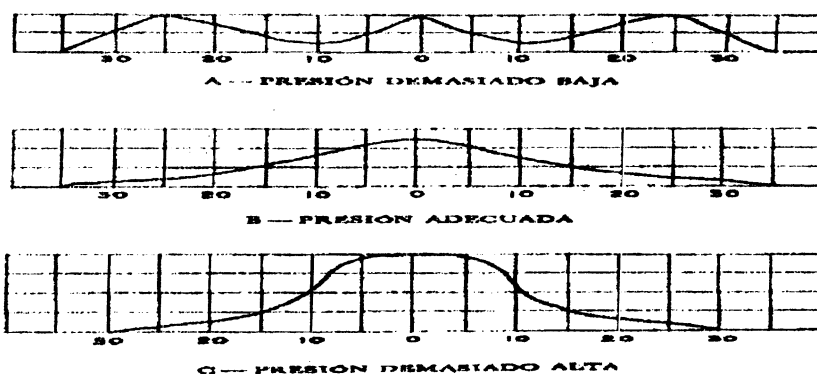
Q = caudal operativo del aspersor.

SI = superposición dentro del ala regadora.

Sm = superposición entre alas regadoras.

La pluviométrica resultante debe ser igual o menor a la infiltración básica (Ib) para evitar encharcamientos, escorrentías, etc.

Patrones de distribución en función de la presión operativa



7.2 Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Sistemas fijos	Sistemas móviles	
	Con movimiento periódico	Con movimiento continuo
Portátiles	Lateral manual	Enrolladores de cable

	Lateral de tiro longitudinal	Enrolladores de manguera
No portátiles	Lateral rodante	Pivote central
	Cañones fijos	Avance frontal

7.2.1 Sistemas fijos

1. **Portátiles:** son aquellos que las tuberías y los aspersores permanecen en la misma posición durante toda la temporada de riego y una vez finalizada la misma se levantan y se trasladan a otro lote.
2. **No portátiles:** todo el equipo permanece fijo a lo largo de todo el año y no puede moverse.

El uso mas común es en parques, jardines, canchas de golf, estadios de fútbol, etc.

7.2.2 Sistemas móviles

Son aquellos equipos en los cuales parte de sus componentes se desplazan para cumplir con el riego.

1. **Con movimiento periódico:** En estos sistemas los aspersores se encuentran fijos en una posición mientras se cumple el tiempo de aplicación. Al finalizar el mismo se realiza el cambio de posición.
 - a. **Lateral manual:** existe una conducción principal sobre la que se acopan a distancias preestablecidas la o las conducciones laterales que llevan montados lo aspersores. El desplazamiento se hace en horma manual una vez se haya cumplido el tiempo de riego



- b. **Lateral de tiro longitudinal:** no son muy frecuentes, constan de una serie de patines o pequeñas ruedas para poder ser trasladados por medio de un tractor a otro lote, sin tener que desacoplar los caños.

- c. **Lateral rodante:** el ala regadora cumple una función adicional al actuar como eje de un sistema de ruedas metálicas, posibilitando el movimiento transversal en forma manual, tirado por un tractor o por sus propios medios a partir de motores que mueven las ruedas. Se los suele llamar “trans roll” (movimiento por traslado constante). Cuando son autopropulsados, los motores suelen tener un apotencia de 6 a 8 hp y llegan a moverse a una velocidad de 0,3 hasta 20 m/min.; las ruedas pueden tener un diámetro de 1.50 a 2.10 m. Los tubos son generalmente de una aleación de aluminio lo que le permite soportar la torsión que produce el desplazamiento. Los aspersores van montados sobre un balancín en la tubería que permite mantenerlos en posición vertical ya que la tubería sirve como eje de rotación durante los traslados.



- d. **Cañones fijos:** se los conoce como cañones de riego, pueden ser de giro completo o sectorizado. Sus caudales van 20.000 hasta 150.000 lt/hora. Trabajan con un alta presión, entre 4 a 10 atm. Todo esto determina que produzcan gotas de gran tamaño y además la uniformidad es baja cuando hay vientos. La ventaja redonda en el gran área de trabajo y la poca de mano de obra para cambiarlos de posición.



2. **Con movimiento continuo:** hay movimiento de los emisores mientras se está regando

- a. **Enrolladores de cable:** el aspersor, generalmente un cañón, está dispuesto sobre un chasis provisto de un malacate accionado hidráulicamente que va enrollando un cable que esta sujeto en un extremo del lote a regar. La provisión de agua se hace a partir de una manguera (de un material resistente no solo a la presión de trabajo sino al efecto abrasivo del suelo) conectada al ala principal. Su uso esta mas difundido en pasturas y campos deportivos donde la manguera puede desplazarse sin dificultad. Los aspersores son del tipo cañón, con presione de 6 a 11 atm. y caudales de 120000 a 150000 lt/hora. Puede desplazarse a velocidades de 10 a 50 m/minuto. Estos cañones riegan en forma sectorizada, ángulos de unos 220 grados, lo que permite que el chasis siempre pise suelo seco. La uniformidad esta dada por su desplazamiento continuo que hace que en cada lugar regado el patrón sea el mismo. La franja cubierta puede alcanzar los 300 metros con largos de manguera de hasta 400 metros.
- b. **Enrolladores de manguera:** En este caso el cañón es arrastrado por la propia manguera. En un extremo tenemos el cañón sobre un bastidor con patines o ruedas y en el otro extremo un carretel sobre el que se va a ir enrollando la manguera conductora de agua. El carretel esta conectado a la cañería principal y la presión de agua mueve una turbina hidráulica que hace que el mismo gire y en su movimiento de enrollar trae el bastidor con el aspersor. En este caso también las mangueras deben ser resistentes no solo a la abrasión sino que deben mantenerse sin aplanarse en el carretel mientras se está enrollando. Las presiones y los caudales son semejantes a los enrolladores de cable. Debe detenerse la bomba principal y hacer girar el carretel 180^a para luego mediante un tractor o camioneta desenrollar la manguera desplazando el cañón a su posición inicial de riego. Existe una variante de dos carretes contra rotativos que enrollan dos manguera a la vez por lo que no hay



que parar el equipo para girarlo 180^a para cambiarlo de posición; no están muy difundidos porque son muchos más costosos. Algunas marcas comerciales tiene como opcional remplazar el cañón regador por una barra porta toberas de baja presión y de hasta 50 metros de longitud.

- c. **Pivote central:** La tubería va montada sobre un conjunto de torres autopropulsadas, espaciadas entre 30 y 50 metros. Todo el conjunto pivota sobre una torre central por la que ingresa el agua presurizada al sistema y el conjunto describe una trayectoria

angular dando lugar a un círculo mojado. La unión del codo con el tubo donde pivota se hace con un tipo de junta especial. Las longitudes del ala regadora normalmente es de 350 a 400 metros (35 a 50 has), pero puede llegar a tener hasta 1200 metros (450 has). Las distancias entre las torres es de 25 a 55 metros, dependiendo de la topografía (mas ondulado mas cerca). La tubería alcanza una altura de 3 metros con diámetros de 4, 5 y 10 pulgadas. En un principio las ruedas giraban a partir de un sistema hidráulico pero actualmente es una fuente eléctrica trifásica alimentada por un generador, con potencias de 0,5 a 1,5 hp. Estos motores pueden trabajar a distintas velocidades o en forma intermitente para mantener alineadas las torres cuando pivotan en el ciclo de riego. Las torres están provista con ruedas de gran diámetro y de alta flotabilidad. Todo el conjunto esta controlado por un modulo computarizado que no solo controla la alineación de las torres sino también la velocidad a la que gira todo el conjunto para poder variar la lamina aplicada. Los regadores pueden ir sobre la cañería o en portarregadores, son generalmente de poco diámetro y al no tener que lanzar el agua a mucha distancia trabajan con gotas muy finas generando casi una niebla que mejora la eficiencia de mojado. Los aspersores van aumentando la pluviometría a medida que se alejan del centro para compensar a el aumento de la velocidad de avance. Para lograr una uniformidad aceptable se usan diferentes variables:

- alas con aspersores de tamaño creciente desde el centro del pivote hacia el extremo, espaciamiento regular entre ellos, presión media de trabajo de 3 atm. y ancho mojado de 30 a 50 m.
- alas con aspersores de tamaño mediano, con espaciamiento decreciente entre ellos a medida que se alejan del centro, presión media de trabajo entre 2 y 3 atm.y ancho de mojado de 20 a 30 m.en todo el ramal.
- alas regadoras con toberas pulverizadoras de baja presión, entre 0.7 y 1.7 atm., ancho de mojado de 5 a 15 m. En todo el ramal y espaciamiento decreciente entre emisores desde el centro hacia el extremo.

Como el área de mojado forma un círculo y generalmente los potreros tienen disposición cuadrada, llevan en el extremo un pequeño cañón que puede programarse para regar solamente las esquinas.



- d. **Avance frontal:** La diferencia con el pivote central es que el ala regadora avanza frontalmente mojando áreas cuadradas o rectangulares. La bomba montada sobre la primer torre o la torre central, toma agua de un canal construido a lo largo del potrero o en algunos casos por una manguera como la de los enrolladores de cable. Es muy importante mantener la perpendicularidad entre el ala regadora y el canal de abastecimiento de agua, para lograr esto existen mecanismos eléctricos que regulan el desplazamiento de las torres. Sobre la banquina del canal se instala un cable que es el que sirve para fijar la línea de avance y sobre el cual trabaja un sensor electrónico de alineamiento. Estos equipos cuentan con generadores eléctricos para alimentar los motores que hacen girar las ruedas de las torres. Todo el equipo se controla a partir de un modulo computarizado. El inconveniente es que cuando el equipo llega a la punta de potrero, o bien el equipo vuelve sin regar o bien regando sobre la zona ya mojada.



7.6 Eficiencia del riego

Es el análisis en términos de eficiencia del comportamiento de la lamina asperjada al infiltrar y almacenarse en el perfil. Este parámetro se obtiene a partir de un muestreo del suelo, por lo que es necesario definir el contenido hídrico antes del riego y 24, 48 o 72 horas después de concluido el mismo y la profundidad de la muestra. Se pueden calcular dos eficiencias:

$$\text{Eficiencia.de.aplicación} = 100 * \frac{\text{Lam.media.almacenadaen.D}}{\text{Lambruta.derivada}}$$

$$\text{Eficiencia.de.almacenaje} = 100 * \frac{\text{Lam.media.almacenadaen.D}}{\text{Lam.neta.de.reposición}}$$

La lamina neta de reposición es la necesaria para llevar el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo. Es necesario un ajuste de la lamina neta de reposición a partir de nuevos muestreos del suelo para obtener los valores reales de sus constantes hídricas

7.7 Proyecto de un equipo de riego por aspersión

Para determinar la energía necesaria para el funcionamiento del equipo y la adecuada selección del motor y la bomba es importante calcular la altura manométrica total:

$$\mathbf{Hmt = Ha + He +Hp + Hj}$$

Donde: **Ha** = altura de aspiración.
He = altura de descarga o elevación.
Hp = altura de presión o presión de trabajo el aspersor
Hj = altura representativa de las pérdidas de carga .

Recurso hídrico disponible

Se debe tener en cuenta la cantidad de agua, oportunidad de entrega y nivel topográfico con relación a la superficie a regar.

El equipo se proyecta para la evapotranspiración máxima, calculándose el intervalo de riego según:

$$\mathbf{IR = Lamina neta / evapotranspiración máxima}$$

También se tiene en cuenta la velocidad de infiltración con el fin de ajustar la intensidad de aplicación o pluviometría, que no debe superar la infiltración máxima:

$$\mathbf{Pluviometría = Caudal del aspersor / Área de mojado}$$

Dirección y longitud de los laterales

Para un determinado diámetro de cañería, la longitud de los laterales debe estar limitada por el máximo establecido del 20 % de pérdidas de carga entre sus extremos.

Cuando existe influencia significativa del viento los laterales deben disponerse e 45^a a 90^a respecto a la dirección predominante.

Elección de los regadores

La elección del aspersor se realiza de acuerdo a la intensidad de aplicación que no debe superar la infiltración básica.

El tiempo de aplicación:

$$\text{Tiempo aplicación} = \text{Lamina bruta} / \text{Intensidad de aplicación}$$

Se debe fijar el número de horas de aplicación (debiéndose proyectar el equipo para el máximo de horas posibles).

El área efectiva que cubre el lateral en una posición es igual al largo (L) por el espaciamiento (E) y considerando el área de la parcela (A) a regar con ese lateral, el número de cambios de posición (NC) del lateral será:

$$\text{NC} = \text{A} / \text{L} * \text{E}$$

El número de cambios por día (NCD) dependerá de las horas de trabajo diarias (H) y el tiempo que demanda cada posición mas tiempo (T) necesario para el traslado de la tubería (si fuere necesario):

$$\text{NCD} = \text{H} / \text{T}$$

Por lo tanto el intervalo de riego (IR) debe coincidir con la relación:

$$\text{IR} = \text{NC} / \text{NCD}$$

Calculo del ala regadora

La disposición del ala regadora y de los laterales dependerá del tipo de equipo, cultivo y posición de la fuente.

Si bien desde el punto de vista de las perdidas de carga es posible ir reduciendo el diámetro de la tubería, desde el punto de vista practico obliga a armar cada tramo siempre en una misma posición (lo que es poco practico).

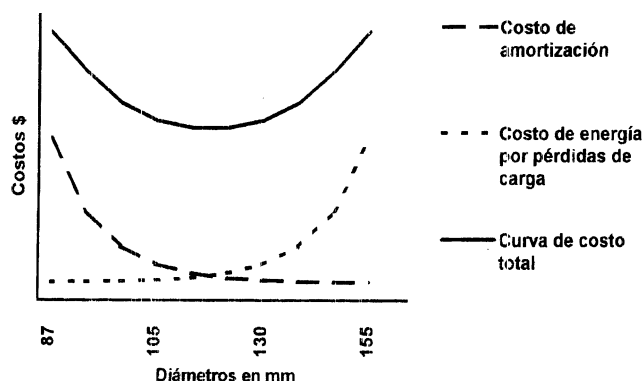
Para el cálculo de las perdidas de carga e calcula por separado cada tramo con el caudal al comienzo del mismo y luego se obtiene la **H_j** total e la tubería.

Calculo del ramal principal

El diámetro de la tubería esta dado en función del caudal y la distancia de conducción. Algunos criterios que pueden usarse son:

- Admitir una velocidad máxima de conducción de 1.5 m/s.
- Admitir una pérdida máxima de carga de 0.7 m. cada 30 m. de conducción.
- Efectuar el computo de costos anuales de amortización de la red principal en función del valor a nuevo y vida útil de los caños y el cómputo de costos de energía requerida por las perdidas de carga. Representando la suma de ambos costos en función del diámetro se

genera una curva cuyo mínimo define el diámetro mas conveniente en cuanto a menor costo total.



7.8 Diseño de un equipo de riego por aspersión

Equipo semifijo, es decir, cañería principal fija y alas regadoras móviles.

Los datos necesarios son:

- Superficie a regar = 24 ha.
- Medidas del lote = 500 x 480 metros.
- Cultivo = Duraznero.
- Lamina bruta a aplicar = 40 mm (400 m³/ha.).
- Turno de riego = 13 a 15 días.
- Horas de trabajo netas por día = 9 hs.
- Intensidad de aplicación (pluviometría) = 12 a 15 mm/hora.
- Topografía = no interfiere.

Capacidad del equipo

Es necesario calcular el caudal de trabajo, el mismo se obtiene a partir de la lamina a aplicar, la superficie a regar referido a la unidad de tiempo. El tiempo operativo surge del turno que se considere y del número de horas diarias de trabajo efectivo.

$$Q = \frac{240000 \text{ m}^2 * 0.040 \text{ m}}{14 \text{ días} * 9 \text{ hs/día}} = 76.19 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Este caudal debe considerarse para la elección de los regadores.

Elección de los regadores

Existen tablas que no dan lo datos necesarios para la elección de los regadores, por ejemplo:

Tabla de rendimiento del regador FG-30			
Diámetro tobera mm	Presión operativa atm	Consumo m ³ /h	Radio de aspersión m
8	2.5	3.8	20.0

	3.5	4.5	21.0
	4.5	5.1	22.0
9	2.5	4.8	21.0
	3.5	5.7	22.0
	4.5	6.45	23.0
10 **	2.5	5.95	21.5
	3.5	7.0	23.0
	4.5 **	8.0 **	24.0 **
11	2.5	7.2	22.0
	3.5	8.5	23.5
	4.5	9.7	25.0.

Se elige la tobera de 10 mm, para una presión de trabajo de 4,5 atm, con un caudal de entrega de 8 m³/hora.

Siendo el radio de mojado de 24 metros y no habiendo problemas con el viento se fija un espaciamiento de 24 x 24 metros, con lo que la superficie que abarca cada aspersor será de 576 m², por lo tanto :

$$\text{Pluviometría} = \frac{8 \text{ m}^3/\text{h}}{576 \text{ m}^2} = 13.89 \text{ mm/h}$$

Valor comprendido dentro del rango fijado previamente.

Distribución de los regadores

Se adopta la distribución cuadrada con un espaciamiento entre aspersores y entre alas regadoras de 24 x 24 metros. Esto asegura una superposición del 50 %.

Utilizando caños de 6 metros se colocara un aspersor cada 4 caños.

Cantidad de regadores

$$\text{n}^\circ \text{ de regadores} = \frac{Q \text{ operativo}}{Q \text{ del aspersor}} = \frac{76.19 \text{ m}^3/\text{h}}{8 \text{ m}^3/\text{h}} = 9.52 = 10 \text{ regadores}$$

Tiempo de aplicación

Se debe aplicar una lamina bruta de 40 mm con una pluviometría de 1.8 mm/h.; lo que da un tiempo de aplicación de :

$$\text{Tiempo de aplicación} = \frac{40 \text{ mm}}{13.8 \text{ mm/h}} = 2.89 \text{ horas} = 3 \text{ horas}$$

Numero de cambios del ala regadora (posiciones)

El tiempo operativo quedo establecido en 9 horas diarias y se necesitan casi 3 horas por psicion para aplicar la lamina de 40 mm.

$$\text{n}^\circ \text{ de cambios} = \frac{9 \text{ horas / día}}{3 \text{ horas / posición}} = 3 \text{ posiciones / día}$$

Si cada regador cubre 576 m² y se dispone de 10 ellos en operación de riego que dura 3 horas y además tenemos 3 posiciones por día, el área regada por día será:

$$576 \text{ m}^2/\text{regador} * 10 \text{ regadores /posición} * 3 \text{ posiciones / día} = 17280 \text{ m}^2 / \text{día}$$

Verificación

Se verifica sin con el regador elegido y la cantidad a utilizar simultáneamente es posible regar dentro del turno de riego las 40 hectáreas con la lámina requerida.

$$\text{Tiempo total} = \frac{240000 \text{ m}^2 * 0.040\text{m}}{76.19 \text{ m}^3 / \text{hora}} = 126 \text{ horas}$$

Si las horas de trabajo diarias son 9 horas, el tiempo total para regar las 40 hectáreas será:

$$\frac{126 \text{ horas}}{9 \text{ horas / día}} = 14 \text{ días}$$

Valor que esta dentro de lo establecido.

Longitud del ala regadora y espaciamiento entre aspersores.

Se emplean 10 aspersores FG-30 distanciados a 24 metros.

La distancia del primer regador suelo estar mas cerca de la línea principal, se toma como $\frac{3}{4}$ D (distancia entre aspersores).

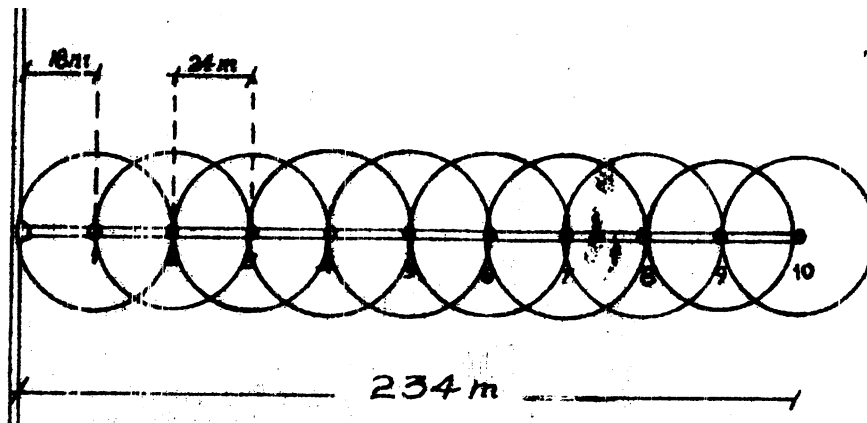
La longitud total del ala regadora:

$$\text{Longitud del ala} = 24 * (\text{n}^\circ \text{ de regadores} - 1) + \frac{3}{4} D$$

Como ejemplo:

$$\text{Longitud del ala} = 24 * (10-1) + \frac{3}{4} 24 = 234 \text{ m}$$

$$\text{Cantidad de caños} = 234 \text{ m} / 6 \text{ m/caño} = 39 \text{ caños}$$



El caudal del ala es de 80 m³/h, resultante de multiplicar 10 aspersores por su caudal (8 m³/h), algo menor que el caudal operativo (76.10 m³/hora), pero como las horas de trabajo se redondean a 3 horas, la diferencia observada es poco significativa.

Las posiciones que tendrá que cambiarse el ala regadora será:

$$576 \text{ m}^2 / \text{regador} * 10 \text{ regadores} = 5760 \text{ m}^2 / \text{posición}$$

$$240000 \text{ m}^2 / 5760 \text{ m}^2 / \text{posición} = 41.66 = 42 \text{ posiciones}$$

Diámetro de la cañerías y pérdidas de carga

Por diseño las pérdidas de carga no deben superar el 20 % de la presión operativa (4.5 atm) y eso no debe ser mayor a 9 metros.

Con las tablas correspondientes a pérdidas de carga para tuberías se tiene que para 4 ¼" de diámetro interior y un caudal de 80 m³/hora las pérdidas de carga son de 5.5 % (o sea cada 100 metros).

Para 234 metros es:

$$234 \text{ m} * 5.5\% / 100\text{m} = 12.87 \text{ m}$$

Como se trata de una tubería con salidas múltiples (10 salidas) corresponde usar el factor de Christiansen:

$$12.87\text{m} * 0.42 = 5.15 \text{ m}$$

Este valor no supera los 9 metros permitidos.

Medidas del lote y distribución del ramal principal

El lote tiene una medidas de 500 m x 480 metros (24 ha.).

El ramal principal de 480 m. De longitud esta integrado por 80 caños de 6 m. Cada uno, con un diámetro interior mínimo de 5".

Las pérdidas de carga resultantes de 2 m. cada 100 m. de tubería, se calculan para una longitud de 240 m. que es la posición mas alejada entre la bomba y el ala regadora con lo que se obtiene un valor e 4.80 m. para la cañería principal.

Equipo de bombeo

El recuso agua se obtiene de una freática cuyo nivel dinámico de bombeo es de 23 m. Para un caudal de 80 m³/h.

A efectos de calcular la potencia necesaria para la bomba se debe determinar la HMTD (altura manométrica total disponible):

Nivel dinámico de bombeo -----	23,00 m
Perdidas de carga en el ramal principal -----	4,80 m
Perdidas de carga en el ala regadora -----	5,17 m
Altura de los caños porta regadores -----	0,80 m
Sub total I	33,77 m
20 % por accesorios -----	6,75 m
Sub total II	47,52 m
Presión operativa (4.5 atm.) -----	46,48 m
TOTAL HMTD	94,00 m

Cálculo de la potencia de la bomba

Se considera una eficiencia del equipo motobomba de 75 %.
La potencia necesaria expresada en CV es:

$$Ne = \frac{0.0222 \text{ m}^3 / \text{s} * 94 \text{ m} * 1000 \text{ kg} / \text{m}^3}{0.75 * 75 \text{ kgm} / \text{s CV}}$$

$$Ne = 37.09 \text{ CV}$$

En la práctica se usara una bomba un poco mayor.

Tabla 2

P.V.C.

Presión de servicio											
Dn Ø ext. (mm)	L t	La	4 kg/cm ²			6 kg/cm ²			10 kg/cm ²		
			e (mm)	Ø int (mm)	Referencia	e (mm)	Ø int (mm)	Referencia	e (mm)	Ø int (mm)	Referencia
63	6	5.89				1.9	59.2	P606 Lj	3.0	57	P610 Lj
75	6	5.88				2.2	70.6	P606 Pj	3.6	67.8	P610 Pj
90	6	5.87				2.7	84.6	P606 Sj	4.3	81.4	P610 Sj
110	6	5.86	2.2	105.6	P604 Vj	3.2	103.6	P606 Vj	5.3	99.4	P610 Vj
125	6	5.85	2.5	120.0	P604 Xj	3.7	117.6	P606 Xj	6.0	113	P610 Xj
140	6	5.85	2.8	134.4	P604 Yj	4.1	131.8	P606 Yj	6.7	126.6	P610 Yj
160	6	5.84	3.2	153.6	P604 Zj	4.7	150.6	P606 Zj	7.7	144.6	P610 Zj
200	6	5.83	4.0	192.0	P604 Bj	5.9	188.2	P606 Bj	9.6	180.8	P610 Bj
225	6	5.80	4.5	216.0	P604 Gj	6.6	211.8	P606 Gj	10.8	203.4	P610 Gj
250	6	5.77	4.9	240.2	P604 Dj	7.3	235.4	P606 Dj	11.9	226.2	P610 Dj
280	6	5.76	5.5	269.0	P604 Fj	8.2	263.6	P606 Fj	13.4	253.2	P610 Fj
315	6	5.76	6.2	302.6	P604 Ej	9.2	296.6	P606 Ej	15.0	285.0	P610 Ej

Tabla 4-Factor F para múltiples salidas

Nº de salidas	Hanzen y Williams m = 1,85	Scobey m = 1,90	Darcy Weisbach m = 2,00
1	1	1	1
2	0.639	0.634	0.625
3	0.535	0.528	0.518
4	0.486	0.480	0.469
5	0.457	0.451	0.440
6	0.435	0.433	0.421
7	0.425	0.419	0.408
8	0.415	0.410	0.398
9	0.409	0.402	0.390
10	0.402	0.396	0.385
11	0.397	0.392	0.380
12	0.394	0.388	0.376
13	0.391	0.384	0.373
14	0.387	0.381	0.370
15	0.384	0.379	0.367
16	0.382	0.377	0.365
17	0.380	0.375	0.363
18	0.379	0.373	0.361
19	0.377	0.372	0.360
20	0.376	0.370	0.359
22	0.374	0.368	0.357
24	0.372	0.366	0.355
26	0.370	0.364	0.353
28	0.369	0.363	0.351
30	0.368	0.362	0.350
35	0.365	0.359	0.347
40	0.364	0.357	0.345
50	0.361	0.355	0.343
100	0.356	0.350	0.338
Mas de 100	0.351	0.345	0.333

7.9 Ejercicios

Calcular el tiempo de aplicación necesario para incorporar una lamina neta de 60 mm con un aspersor que trabaja en las siguientes condiciones.

Diámetro de tobera: 9 mm

Presión operativa: 3,5 atm.
 Consumo: 7,6 m³/h
 Radio mojado: 25 m.
 Distribución cuadrada.
 Efic. De riego: 80 %.
 Superposición: 50 %.
 Cultivo: césped.

b) Calcular la lamina de riego incorporada cuando el tiempo de aplicación ha sido de 65 minutos, con un aspersor que trabaja en las siguientes condiciones:

Diámetro de tobera: 9 mm
 Presión operativa: 3,5 atm.
 Consumo: 6,7 m³/h
 Radio mojado: 24 m.
 Distribución cuadrada.
 Efic. de riego: 80 %.
 Superposición: 50 %.

c) En el diseño de un equipo de aspersión móvil manual se determino la capacidad del equipo en función de los siguientes datos:

Cultivo: papa Profundidad de raíces: 60 cm. Superficie: 35 has.
 Eficiencia de aplicación: 90 %. Etc: 7 mm/dia. UC: 45 %.
 Horas diarias de trabajo: 22 horas.

Estrato	Prof. (cm)	Wc (%p/p)	Wm (%p/p)	Densidad apar (gr/cm ³)
1	0-20	30	12	1,20
2	20-50	32	16	1,30
3	50-90	34	17	1,25

La longitud de la red principal es de 220 m con J=2,20%. Se operan dos laterales iguales y simultáneos, integrados por 36 tramos de caño de 9m de largo y diámetro 4", con 10 aspersores cada uno de caudal unitario 6 m³/h y presión operativa 3,5 kg/cm².

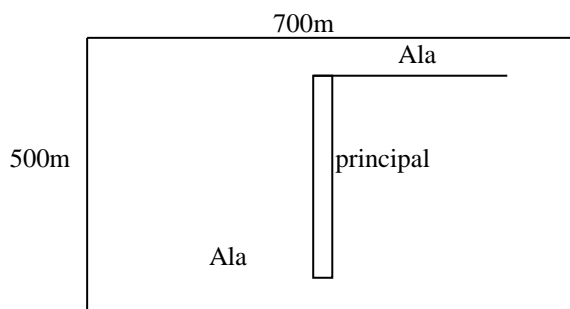
Las pérdidas admisibles en el ala son del 20% entre aspersores más distantes, siendo el factor de Christiansen 0,386.

Las pérdidas de carga continuas para el caudal conducido en laterales de caño de 4" son de 3,2 m cada 100 m.

Las pérdidas de carga localizadas son del 18% del total de las perdidas continuas.

Se desea conocer la presión en m.c.a. representativa de la altura de elevación, para verificar que el número de impulsores sea el correcto.

Se selecciono una bomba sumergible que eroga 120 m³/h, consumiendo 45 CV con un rendimiento del 80%.



7.9 Bibliografía

Libros y Enciclopedias

- Pair, y otros, “Riego y Drenaje”. (Sprinkler Irrigation, S.I.A. – Washington DC, EEUU).
- Gini, Zotto y otros, “Pkrogettazuine degli impianti irrigui”. (Ed. Agricole – Bologna, Italia).
- D`At de Saint Foule, “El riego por aspersion”. (Editores Técnicos Asociados S.A. – Barcelona, España).
- Billsbury, y Degan, “El empleo del reigo por aspersion”. (F.A.O. – Roma, Italia).
- Brouwe, “Die Feldberegnung”. (DLG Verlag – Frankfurt, Alemania).
- Burgos, “Las heladas en la Republica Argentina”. (I.N.T.A. – Argentina)
- Chambouleyron, “Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería”. (Editorial ACME, Buenos Aires – Argentina).
- Rodrigo López, “Componentes de instalaciones de riego localizado”. (INIA – España).
- Gómez Pompa, “Riegos a presión, Aspersion y Goteo”. (Ed. AEDOS, Barcelona – España).
- Dan Goldbeg, “Técnicas y metodos para el uso del agua en la agricultura”. (hoja de divulgación – Israel).
- Riego por Goteo. Modulo V. Curso a distancia INTA, Procadis. Programa clima y agua, sub programa nacional agua.

Revistas y publicaciones

- “Irrigation Journal, Water Well Journal Publishing Co”. (Columbus, Ohio – EEUU).
- “L`Irrigazione”. (Edizione Agricole, Bologna – Italia).
- “Agricultural Engineering”. (ASAE, Michigan – EEUU).
- “Irrigarion Age”. (Dallas, Texas – EEUU).

-“Tubos Plásticos”. (Autoprocess S.A.C.I.F. Buenos Aires – Argentina).