



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

MÓDULO III

3. Diseño hidráulico

3.1 Componentes del diseño hidráulico.

3.2 Caudales, presiones, longitud en tuberías principal, secundaria, portlaterales y laterales.

3.3 Distanciamientos entre laterales y entre difusores de riego.

3.4 Longitud equivalente e inserción de goteros.

3.5 Ecuación del gotero.

3.6 Tolerancia de caudales y presiones en la subunidad de riego.

3.7 Diseño de instalaciones.

3.8 Pérdidas de carga en tuberías principal, secundaria, portlateral y lateral.

3.9 Determinación de la altura dinámica total (ADT).



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Introducción

Como se tiene conocimiento, el diseño agronómico orienta la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos, calculando la cantidad de agua necesaria para su desarrollo, sin ocasionar un estrés hídrico en la planta o déficit de agua en el suelo, estando estas necesidades hídricas, influenciadas por factores edafológicos (suelo), meteorológicos (clima) y otros propios del cultivo (genéticos y fisiológicos).

Para lo anterior, es menester determinar la uniformidad de aplicación del sistema de riego en una instalación ya realizada o para una nueva instalación, determinado mediante el coeficiente de uniformidad (CU).

Asimismo, determinar el número de emisores por planta y el espacio entre ellos; es así, que la dosificación del agua puede aplicarse a nivel de dos goteros; luego con cuatro goteros o seis, de acuerdo a las necesidades de la planta, localización y distanciamiento de emisores y tolerancia de caudales, en función a los costos de su implicancia.

Por otra parte, es necesario determinar la cantidad de agua o dosis que se debe aplicar de acuerdo al estado fenológico, genética y fisiología de la planta en relación al suelo, clima, calidad del agua de riego.

Es importante determinar los días deben transcurrir entre un riego y otro; aun cuando existe la práctica, de riego de alta frecuencia o riego diario y por otro lado, la práctica del riego complementario o fracción de riego para no consumir todo el agua almacenada en el suelo; sino reemplazarla por el agua consumida en el porcentaje, determinado; y luego ser aplicado en un número de horas de riego por unidad superficial o subunidad de riego, a fin de utilizar el sistema de riego, el mayor número de horas disponible en el día.

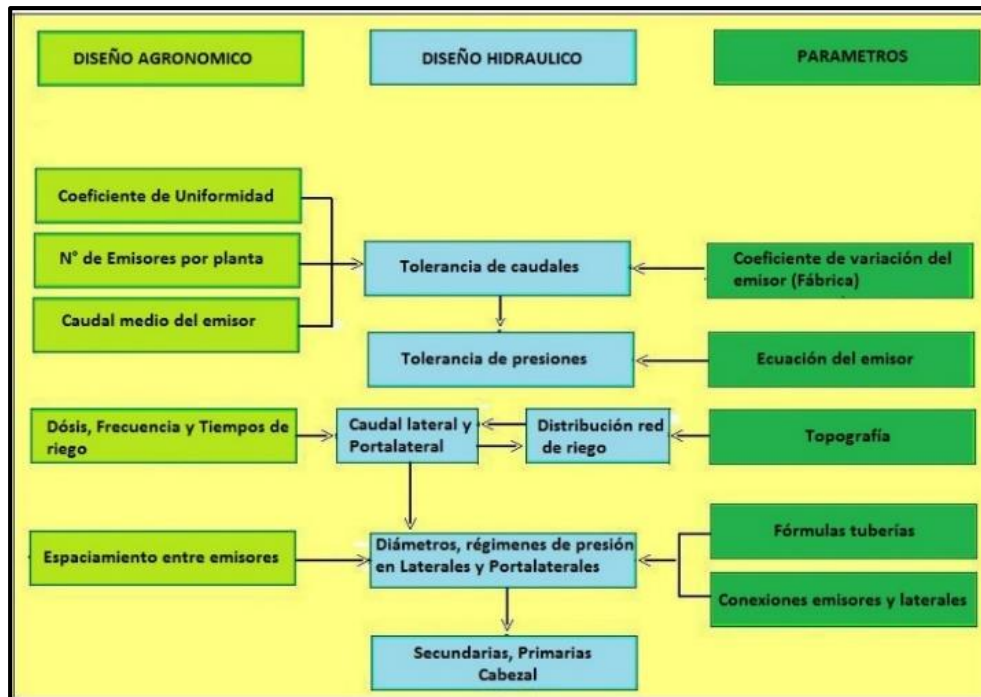


Figura 87. Relación entre el diseño agronómico y el diseño hidráulico.

Parámetros utilizados en el diseño hidráulico

1. **Coefficiente de uniformidad (CU)**, indica el grado de uniformidad con que el sistema de riego puede estar funcionando, en la aplicación del agua por los difusores o goteros y evalúa el grado de funcionamiento, con que debe operar un sistema nuevo u otro en operación, relacionando, el 25% de los goteros, que menos caudal aportan, frente al 100% de una muestra del universo de emisores.

$$\begin{aligned} \text{Equivalencia del CU} &= \text{CUC} \times \text{CUh} \\ &= 25\% / 100\%. \end{aligned}$$

2. **Coefficiente de uniformidad constructivo – (CUC)** (fabricante).

Para hallar este parámetro, las empresas fabricantes, miden estadísticamente la variabilidad de caudales de un grupo de goteros y aspersores, respecto a la aplicación uniforme de una presión de trabajo y su comportamiento frente a la temperatura y funcionamiento de los materiales de fabricación.

$\text{CUC} = (1 - (1.27 \cdot \text{CV} / e^{(0.5)}))$; CV el coeficiente de variación y (e) el número de goteros/planta.



3. **Coefficiente de uniformidad hidráulico (CUh)**; en este parámetro se realiza el análisis estadístico del funcionamiento correcto, de una muestra representativa del universo, de la variación de caudales de un grupo de goteros o aspersores, al aplicar diferentes presiones en una instalación.

$$CUh = CU/CUc$$

4. **Coefficiente de Variación nominal (fabricante): (CV)**

Mide la relación entre la desviación estándar de la muestra de un universo de emisores, en el cual la mayor dispersión, corresponde al valor mayor, de coeficiente de variación.

5. El gotero o grupo de goteros de caudal más bajo, de una instalación está representado por **(qns)** y el gotero de caudal nominal del fabricante por **(qa)**.
6. La formulación del coeficiente de uniformidad es el siguiente, donde (e) es el número de goteros por planta y CV el coeficiente de variación.

$$CU = [1 - (1.27 * CV / e ^ 0.5)] * (qns / qa) = CUc * CUh$$

7. **Tolerancia de presiones permisible: ΔH permisible = 2.5 (ha – hns).**

Es la máxima variación de presión permisible, en la **subunidad de riego** para que los emisores trabajen con una uniformidad >90 %, en el cual la:

Presión del gotero, con caudal nominal (qa). = **ha**

Presión del gotero, con caudal más bajo (qns). = **hns**

8. **Ecuación del gotero:** $q = K * H^x$

Siendo **q** el caudal del emisor en litros/hora.

K = Coeficiente de descarga, valor característico de cada emisor.

H = Presión a la entrada del emisor, en metros de columna de agua (mca).

x = Exponente de descarga del emisor, expresa la sensibilidad de los goteros a la variación de presión.

$$H = (q/K)^{1/x}$$



9. Altura dinámica total (ADT)

Presión necesaria para el funcionamiento del sistema de riego para cubrir las pérdidas ocasionadas por rozamiento al discurrir el agua por los diferentes componentes y accesorios del sistema.

$$ADT = Hm_{\text{SUBUNIDAD}} + Hf_{\text{ARCO}} + Hf_{\text{CONDUCCIÓN}} + Hf_{\text{CABEZAL}}$$

$$ADT = Hm_{\text{SUBUNIDAD RIEGO}} + Hf * (\text{ARCO} + \text{CONDUCCIÓN} + \text{CABEZAL})$$

10. Subunidad

Componente conformado por el portalateral y por los laterales; cuya presión está regulado por una válvula y sus pérdidas de carga deben ser menores a la máxima presión permisible.

$$\text{Subunidad} = \text{Lateral} (hf + d) + \text{Portalateral} (Hf+D) < \Delta H_{\text{PERMISIBLE}}$$

$D/2$ = Desnivel en el portal lateral (m) y $d/2$ = desnivel en el lateral (m).

Hf = Pérdida de carga en el portalateral y hf = pérdida de carga en el lateral (m).

11. Presiones en la subunidad

Presión a la entrada de la subunidad

Presión nominal del gotero (fabricante) = **ha**.

Presión a la entrada del lateral = **hm**.

$$Hm = hm + 0.73 Hf_{\text{PORTALATERAL}} + D/2.$$

$$hm = ha + 0.73 hf_{\text{LATERAL}} + d/2.$$

$$Hm = ha + 0.733 * (Hf_{\text{PORTALATERAL}} + hf_{\text{LATERAL}}) + (D + d) / 2.$$

12. Pérdidas de carga en la tubería principal y secundaria

Pérdida de carga HAZEN & WILLIAMS

$$J \text{ (m/100m)} = (1.21 * 10^{12}) * ((Q/C)^{1.8552}) * D^{-4.87}$$

$$Hf = J \text{ (m/100 m)} * (L / 100)$$

Caudal de conducción: Q (Lts/s).

Longitud. Conducción: L (m).



PERÚ

Ministerio de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Factor rozamiento: C (150 para PVC); (130 para HDPE) y (120 para Al).

Diámetro interno tubería: D (mm).

Alternativa de la fórmula anterior:

$$J \text{ (m/100)} = 12126500000/C^{1,85} \cdot D^{4,87} \cdot L \cdot Q^{1,85}$$

$$H_f = 12126500000/C^{1,85} \cdot D^{4,87} \cdot L \cdot Q^{1,85} \cdot (L/100)^{1,1}$$

13. Equivalencias de las unidades de presión en los sistemas de riego

Las fuerzas ejercidas, por unidad de superficie, en líquidos conducidos por conductos son medidas con instrumentos denominados manómetros y sus equivalencias son:

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 10 \text{ mca} = 14,7 \text{ psi} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

14. Altura dinámica total - ADT

Presión necesaria para el funcionamiento el sistema de riego; se calcula, sumando las pérdidas de carga, en las tuberías principal, secundaria, portalateral, lateral, más la mitad de los desniveles a favor o en contra; añadidas las pérdidas de carga, en el arco, en la conducción, en singularidades del sistema y en el cabezal que integra filtros, equipo de fertirrigación, equipos de control de caudal y presión.

$$ADT = H_m \text{ SUBUNIDAD RIEGO} + H_f \cdot (\text{ARCO} + \text{CONDUCCIÓN} + \text{CABEZAL}).$$

$$H_m \text{ SUBUNIDAD} = \text{Presión a la entrada de la subunidad.} \\ = ha + 0.73 (hf_{\text{LATERAL}} + Hf_{\text{PORTALATERAL}}) + (d + D)/2.$$

$$ha = \text{Presión nominal del gotero (fabricante).}$$

$$Hf = \text{Pérdida de carga en el portalateral.}$$

$$hf = \text{Pérdida de carga en el lateral.}$$

$$D/2 = \text{Desnivel medio en el portal lateral.}$$

$$d/2 = \text{Desnivel medio en el lateral.}$$

$$ADT = H_m \text{ SUBUNIDAD} + Hf_{\text{ARCO}} + Hf_{\text{CONDUCCIÓN}} + Hf_{\text{CABEZAL}}.$$

3. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico sincroniza el conjunto de dispositivos y accesorios de riego para permitir el traslado de una determinada cantidad de agua, hasta el área destinada al cultivo, minimizando las pérdidas y maximizando la eficiencia, desde la captación, conducción, distribución y aplicación del agua, a través del sistema de riego.

En base a las necesidades hídricas de los cultivos, se va calculando las dimensiones de las redes de tuberías, determinando sus diámetros, longitudes y presiones; tanto de las principales, secundarias, portlaterales y laterales; determinando en ellas las pérdidas de carga, estableciendo las tolerancias de presiones y caudales en las subunidades de riego; para finalmente, calcular los requerimientos totales de presión del sistema o Altura Dinámica Total (ADT) para el funcionamiento correcto del sistema; realizando el cálculo de abajo hacia arriba, ascendiendo desde la subunidad, unidad y sucesivamente.

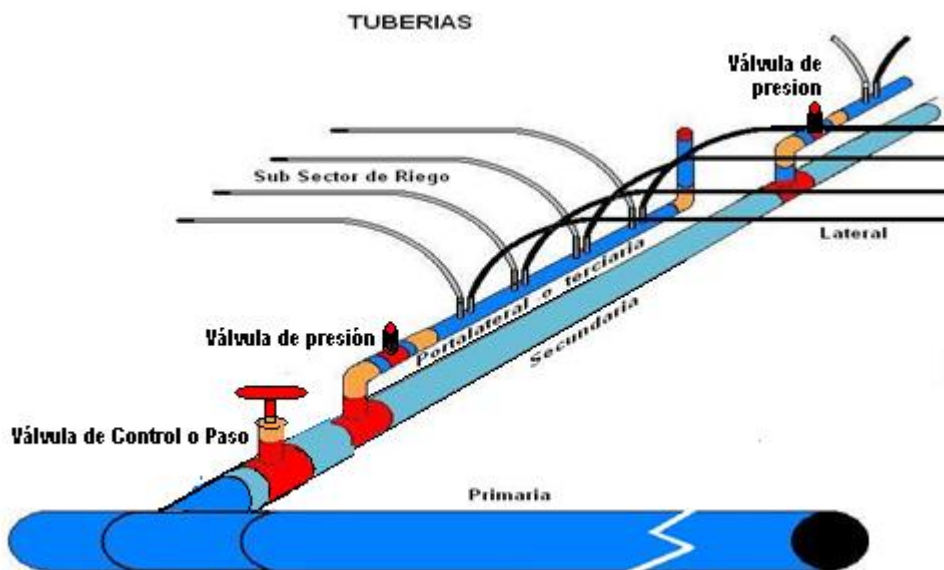


Figura 88. Unidad de riego y subunidad de riego.



3.1 Componentes del diseño hidráulico

Cabezal de riego o estación de control

Es la unidad operativa de mayor importancia en el diseño hidráulico; y en él, el correspondiente cálculo de la Altura Dinámica Total y caudal a considerar; que permitirá determinar, el grupo de bombas que generen la presión necesaria para el sistema de riego, considerando todas las pérdidas, en las unidades de riego y componentes del sistema.

Los cálculos se realizan de abajo hacia arriba hasta llegar a determinar, los cálculos de caudal y presión de la tubería principal; diseñándose el cabezal de riego, en base a las pérdidas de carga de cada uno de los dispositivos o singularidades, por donde circula el agua.

Determinación de las presiones necesarias para:

- El funcionamiento de los filtros.
- Funcionamiento del equipo de fertirrigación.
- Los contadores de volumen o caudalímetros.
- Las válvulas de control o válvulas de paso.
- Los reguladores de presión en el cabezal.
- Los reguladores de caudal en las unidades de riego.
- Los reguladores de presión en los portalaterales.
- Las tomas en los laterales.
- Los purgadores y otros accesorios.

Adicionalmente, es necesario añadir por seguridad y posibles pérdidas de carga, un diez por ciento y por disminución en la vida útil o deterioro de emisores, un veinte por ciento; determinando de esta manera, el equipo de bombeo necesario.

Unidad de riego, está integrada por una tubería secundaria y en algunos casos a la tubería principal; la unidad, integra una válvula de paso o de control y está conformada por las subunidades de riego, las que integran una válvula de presión.

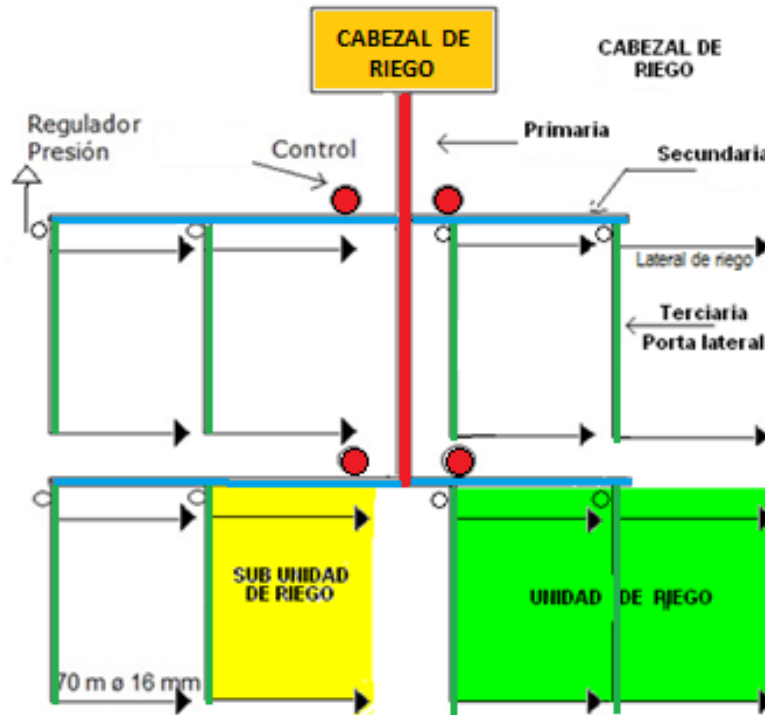


Figura 89. Subunidad de riego y unidad de riego.

Subunidad de riego

La subunidad de riego es la unidad de menor tamaño, se halla integrada por una tubería terciaria o portalateral, una válvula de presión, y es en ésta, donde se insertan los laterales de riego.

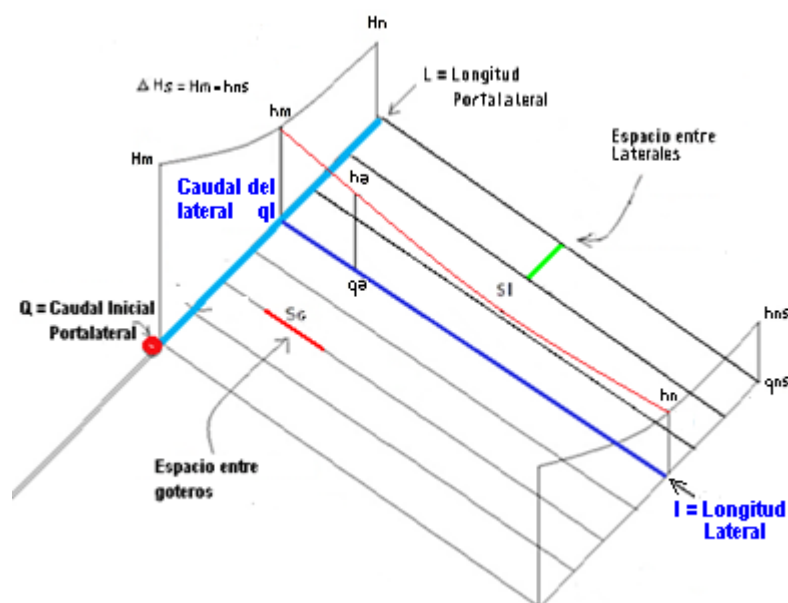


Figura 90. Componentes de la subunidad de riego.

Laterales de riego

Es el componente encargado de aplicar uniformemente el agua de riego a la franja de humedecimiento del suelo; compuestos en su longitud por goteros integrados o no integrados, dispuestos entre sí a distancias variables, de acuerdo a las necesidades de la planta.

Tubería portalateral

Tubería que integra el arco de riego y donde se insertan los laterales, siendo éstos últimos alimentados de caudal y presión, en forma secuencial y en paralelo.



Figura 91. Tubería portalateral y laterales.



Figura 92. Arco de riego y válvula de control en la unidad de riego.

Tubería secundaria

Es aquella que conecta y alimenta directamente a la tubería portallateral, delimitando las unidades de riego, las que a su vez se conectan con la tubería principal.



Figura 93. Maqueta - Tubería secundaria y portallateral.

Tubería principal

Son la de mayor diámetro en la parcela, pudiendo tener diámetros, de 3", 4", 6" u 8" (o sus equivalentes en mm) para ser distribuidos en forma telescópica en el predio.

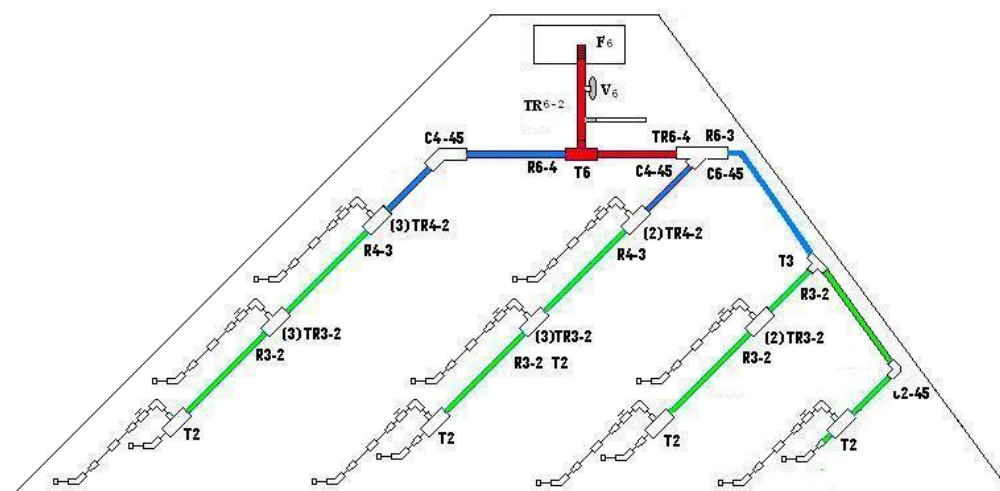


Figura 94. Diseño que integra tubería principal de 4"; secundaria de 3" y portallaterales de 2".



Evaluación del funcionamiento de las instalaciones

Una vez definido e instalado el sistema, es necesario realizar la evaluación del funcionamiento de las instalaciones nuevas, para tomar algunas medidas correctivas; utilizando como herramienta para estos casos, el **Coefficiente de Uniformidad (CU)**, a nivel de una muestra de 16 goteros, relacionando el (100%) de estas muestra tomadas de un universo de goteros, con 4 goteros que representan el 25% de muestras que no funcionan correctamente; cuyo resultado debe ser superior al 90%; y también, relacionándolo, con el Coeficiente de Variación (CV), dado por el fabricante, a fin de corroborar su valor, para posteriormente utilizarlos en el cálculo de la tolerancia de presiones.

Uniformidad de riego

El Coeficiente de Uniformidad (CU), indica el grado en el cual, el sistema de riego viene funcionando en la aplicación del agua a través de los difusores o goteros; asimismo, indica el grado de funcionamiento, con el cual debe operar un sistema nuevo por instalarse u otro que se halle en funcionamiento; Para ello, se relaciona, el 25% de los goteros que aportan menos caudal, con el 100% del total de la muestra.

$$CU = q_{25 \%} / q_{100 \%}$$

$q_{25 \%}$ = Caudal promedio del 25 % de goteros cuyos caudales son los más bajos (4).

$q_{100 \%}$ = Caudal promedio de todos los goteros evaluados en la muestra (16).

Utilización

- Evaluar una instalación existente, para aplicar correctivos.
- Diseñar una nueva instalación determinando un CU deseado, ($CU \geq 0.90$).

En el diseño agronómico

Para calcular en base a la lámina neta LN, la lámina de riego total:

Lámina de Riego Total: $LTR = LN / [(1-k) \times CU]$.

Que incrementa las necesidades de agua para compensar al 25% de los goteros que descargan menos agua, comparativamente con todos los goteros, o para establecer un adicional de agua, para lavado de sales.

Tabla 42.

Evaluación coeficiente de uniformidad.

EVALUACION COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD CINTAS DE GOTEO Lts / hr / m				
1.92	1.80	1.92	1.98	
1.92	1.80	1.92	1.98	
1.86	1.97	1.86	1.81	
1.86	1.84	1.86	1.81	
1	61	121	181	=DESVEST.M (DE) 0.07
5	65	125	185	
10	70	130	190	
15	75	135	195	
Valores más bajos (25%)				1.80
				1.80
				1.81
				1.81
Promedio goteros más bajos (q25)				1.81
Promedio muestra (q100)				1.88
C.U. =(q25/q100)				0.96
C.V. = (DE/q100)				0.03

Uso del CU en el diseño agronómico

Para calcular las necesidades de riego totales, en función de la lámina neta (Ln).

Lámina de Riego Total: (LRT) = $Nn / [(1-k) \times CU]$.

Que incrementan las necesidades de agua para compensar al 25% de los goteros que descargan menos agua, frente al 100 % de todos los goteros; y por otro lado para abastecer la necesidad de agua para el lavado de sales.



Cálculo lámina total de riego por lavado de sales

$$LTR = LN / [(1-k) \times CU]$$

Coeficiente de Uniformidad	CU	0,90	
Eficiencia Aplicación: Goteo 0.9; Micro aspersion 0.85	Ea	0,85	
Coeficiente de aplicación para micro aspersion K =	(1-Ea)	0,15	No elegido
Factor de Lavado de Sales			
Coeficiente de lavado de sales: K =	NL	0,20	Mayor Elegido
$(1-K) \times CU = (1,00 - 0,20) * 0,90 = 0,72$	$(1-K) \times CU$	0,72	

Elección del Máximo valor de K

Conductividad eléctrica del agua de riego en dS/m

4,3

Conductividad eléctrica extracto del suelo saturado en dS/m

10,8

Coeficiente de lavado de sales: $K = 4.3 / (2 \times 10.8)$:**k (lav)****0,20****Mayor Elegido**Coeficiente de aplicación para micro aspersion $(1-Ea) = (1-0.85)$ **K (apli)**

0,15

No elegido**Lámina Neta: LN = 3 mm/día**

(mm/día)

3**Lámina Total Riego:** $LTR = LN / (1,00 - 0,20) * 0,90 = (3 \text{ mm/día}) / 0,72 =$

(mm/día)

4,16

3.2 Caudales, presiones, longitud en tuberías principal, secundaria, portlaterales y laterales

Caudales

El caudal aportado por los emisores, debe ser lo más uniforme posible, es decir, todos los emisores deberán aplicar aproximadamente la misma cantidad de agua; por lo que, para lograr una buena uniformidad de riego, es necesario que los emisores sean de buena calidad y que cumplan las normas de calidad; e igualmente, que la presión del agua en todos los emisores sea similar.

En la generalidad de los casos, a igualdad de caudales, presiones, diámetros, distancias entre goteros y con una contrapendiente aproximadamente de 2%, la longitud del lateral, se reduce aproximadamente en el orden del 75%, frente a un terreno normal sin pendiente; y lo contrario, con una pendiente favorable aproximadamente del 2%, se incrementa la longitud del lateral en un 110% comparativamente con un terreno sin pendiente.

Las pérdidas de carga en tuberías de mayor diámetro son menores, frente a las de menor diámetro, permitiendo aumentar la longitud de los laterales, si los costos lo permiten.



Por otra parte, a menor caudal del emisor a igualdad de diámetro del lateral y de las distancias entre laterales, la longitud del lateral será mayor.

Asimismo a menor distancia entre difusores, la longitud del lateral será menor y a mayor distancia entre difusores, la longitud del lateral será mayor.

Presiones

En la circulación del agua a través de la pared interior del lateral, existe un rozamiento que ocasionan pérdidas importantes de presión si es que no se diseña bien la instalación, la que podría causar desviaciones importantes en el trabajo de los emisores.

Si los diámetros de las tuberías son menores en una subunidad de riego grande de pendiente elevada, se tendrá un mayor riesgo en el aporte adecuado de caudales de los emisores.

Pérdida en pendiente

La pendiente descendente de un terreno, supone una ventaja para el sistema de riego; y constituye una desventaja cuando la pendiente es ascendente, causando pérdida de presión; teniendo por resultado la utilización de laterales de mayor diámetro o bien disminuir la longitud del lateral.

Presiones en la subunidad y unidad de riego

- Debido a las pérdidas de carga y pendiente del terreno, en las unidades y subunidades de riego, se producen diferencias de presiones en los emisores de las tuberías laterales, por lo que la presión de entrada en la subunidad de riego, debe ser tal que garantice que el emisor, suministre el caudal adecuado.
- Para que la presión de entrada en cada subunidad sea similar y no cambie durante la operación de riego, es necesario instalar una válvula de presión al inicio de la tubería portallaterales y una válvula de control o de paso a la entrada a la unidad de riego.
- Cada unidad está dividida en dos o varias subunidades o superficies pequeñas; agrupadas dentro de un mismo turno de riego y cuyo control de la unidad debe realizarse sobre las subunidades en su conjunto.



Longitud de tuberías laterales

El agua en su recorrido por los laterales va perdiendo presión como consecuencia de los rozamientos con las paredes internas; y también, al inicio de la conexión relacionado con el número de salidas y pérdidas por la contrapendiente; a menos que ésta sea descendente. La topografía del terreno, condiciona la longitud de las tuberías laterales; si el declive es ascendente, la longitud del lateral debe ser menor; y por contrario, si la pendiente es descendente, se puede aumentarse la longitud.

Tabla 43.

Factores de pérdidas de carga en laterales, portallaterales, tubería principal y secundaria.

Factores	Siglas
Coeficiente de rozamiento	C
Distancia entre laterales	m
Longitud de tubería	m
Diámetro de tubería	mm
Nº Goteros	Nº
Nº Laterales	Nº
Caudales L/h	L/hr
Caudal de goteros L/s	L/s
Caudal en el lateral L/s	L/s
Caudal en el portallateral L/s	L/s
Distancia entre goteros	se
Inserción de goteros	fe
Pérdidas de Carga: J (m/100m)	m
Pérdida por longitud de tubería: (L/100)	m
Factor Christiansen	F
Longitud equivalente inserción de goteros	le
Pérdida de carga total	hf



Tabla 44.

Caudales, presiones, longitud en tuberías principal secundaria portlaterales y laterales.

Coeficiente C	Longitud Equivalente			Distanc (m)	Tubería		Número		Caudal			Pérdidas de Carga					
	Gotero (se)	Insercion (fe)	Long (le)		Long (m)	Diámetro (mm)	Gotero	Lateral	Gotero Q (L/hr)	q (Lts/seg)			J (m/100m) (m)	Hf=J*Q/L(100) (m)	Christian	Long. Equivalen	Pérdidas (m)
				Gotero						Later	Portlater						
130	0,2	0,11	1,55	1	70	16	350	70	1	0,00028	0,0972	6.806	2,62	0.7	0,365	1,25	0.838
130	0,2	0,11	1,55	1	70	19	350	70	1	0,00028	0,0972	6.806	1,14	0.7	0,365	1,25	0.363
130	0,2	0,11	1,55	1,5	50	16	250	33	0,5	0,00014	0,0347	1-157	0,39	0.5	0,365	1,25	0,089
130	0,5	0,11	1,22	1	50	14	100	50	2,3	0,00064	0,0639	5.324	2,31	0.5	0,365	1,33	1.449
150				1	60	69,3		60	138	0,03833	0,0639	3,83	3,76	0,6	0,365		0.824
150					60	59,8		40			0,0972	3,89	3,07	0,6	0,365		0,673
150					60	71,2		40				3,89	1,31	0,6	0,365		0,288
150					120	84,1		60	138	0,03833		3,83	0,57	1.20			1.759
150					350	84,1			138	0,03833		4,88	0,89	3.50			3,113
150					350	84,1			14004			3,89	0,58	3.50			2.044



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego

Instituto Nacional de Innovación Agraria

Tabla 45.

Cálculo de tubería principal y secundaria.

CALCULO DE TUBERIA PRINCIPAL Y SECUNDARIAS										
TUBERIA	TRONCAL		SECUNDARIA TRAMO "A"				SECUNDARIA TRAMO "B"			
TRAMO	R-B	B-A	A-A1	A1-A2	A2-A3	A3-A4	B-B1	B1-B2	B2-B3	B3-B4
PROGRESIVA										
Inicio (m)	0	90	0	80	310	530	0	100	330	560
Final (m)	90	340	80	310	530	770	100	330	560	790
LONGITUD (m)	90	250	80	230	220	240	100	230	230	230
CARGA										
Lts/seg	50	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33
M3/hr	180	29,99	29,99	29,99	29,99	29,99	29,99	29,99	29,99	29,99
DIAMETRO TUBERIA										
Nominal	200	110	90	90	90	90	90	90	90	90
Milímetros	208,4	108,4	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1
Pulgadas	8	4	3	3	3	3	3	3	3	3
VELOCIDAD (m/seg)	1,47	0,90	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Coef Hansen-Williams (PVC)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
MATERIAL TUBERIA	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
PERDIDA DE CARGA										
Por fricción (hf)	0,73	1,77	1,95	5,61	5,37	5,86	2,44	5,61	5,61	5,61
Por singularidades (hl)	0,07	0,18	0,20	0,56	0,54	0,59	0,24	0,56	0,56	0,56
Pérdidas Totales (ht)	0,80	1,95	2,15	6,17	5,90	6,44	2,68	6,17	6,17	6,17
COTA TERRENO										
Inicio	100	78	97,75	97,40	95,80	94,50	97,75	98,20	95,60	95,70
Final	78	97,75	97,4	95,8	94,5	93,7	98,2	95,6	95,7	95,1
Desnivel	22	-19,75	0,35	1,60	1,30	0,80	-0,45	2,60	-0,10	0,60
PRESION DE TRABAJO										
Inicio (m.c.a)	50	71,20	49,50	46,92	41,94	36,65	71,20	68,06	64,49	58,22
Final (m.c.a)	71,20	49,50	46,92	41,94	36,65	30,86	68,06	64,49	58,22	52,64



3.3 Distanciamientos entre laterales y entre difusores de riego

La utilización y dimensionamiento de los distanciamientos entre los laterales y difusores de riego, son de utilidad en los cálculos de presiones y volúmenes de agua para los cultivos y fundamentalmente en el establecimiento de las longitudes de los laterales y distanciamientos entre difusores, a fin de establecer las longitudes adecuadas de los laterales, los que influyen en los costos de las instalaciones del sistema.

Tabla 46.

Efecto de caudales, presiones, pendiente y distanciamientos entre laterales y goteros.

EFECTO DE CAUDALES, PRESIONES, PENDIENTE Y DISTANCIAMIENTOS ENTRE LATERALES Y GOTEROS SOBRE LONGITUDES DE LATERALES							
Laterales (mm)	Entre laterales (m)	Emisores	Entre emisores	Caudales (L/h)	Presión (bar)	Pendiente (%)	Longitud (m)
Influencia de la pendiente							
16	0,8			2,5	1,5	+ 2	75
16	0,8			2,5	1,5	0	100
16	0,8			2,5	1,5	- 2	110
Influencia del diámetro lateral							
16	1			3,5			105
20	1			3,5			160
Influencia de caudales							
16	0,5			1,6			110
16	0,5			3,8			60
Influencia del distanciamiento de goteros							
			0,5				90
			1				145
			1,5				195
Influencia de auto compensación							
16		No compensados		4	2		95
16		Compensados		4	2		210



3.4 Longitud equivalente e inserción de goteros

Para hallar la longitud equivalente en la inserción de goteros en los laterales, lo primero es determinar, el tipo de zapata del gotero, respecto a su tamaño en altura y diámetro para aplicar la fórmula del factor de inserción (**fe**), tomando en consideración el diámetro en (mm) del lateral.

Para el caso, nos ilustra el siguiente ejemplo, se tiene un gotero de zapata estándar, cuya fórmula para hallar el factor de inserción ($fe = 18.91 \cdot D^{-1.87}$); siendo el diámetro de la manguera 16 mm, queda, lo siguiente:

$fe = 18.91 \cdot 16^{-1.87} = 0.106$; y teniendo por otro lado las distancias entre goteros: $se = 0.20$ m, aplicamos la fórmula de Longitud equivalente: $Le = (fe+se)/se$, la que nos da la cifra de 1.53 .

Tabla 47.

Longitud equivalente – Inserción de goteros.

Zapata de Gotero	Gotero Inserción zapata (mm)		Fórmula Factor inserción	Diámetro Manguera (mm)	Distancia. Entre Goteros (m)	Longitud Equivalente
	Altura	Diámetro	(fe)	16	0.20	(fe+se)/se
				(fe)	(se)	
Grande	5	7.5	$=23.04 \cdot D^{-1.84}$	0.140	0.20	1.70
Estándar	5	5	$=18.91 \cdot D^{-1.87}$	0.106	0.20	1.53
Pequeño	5	3.5	$=1.48 \cdot D^{-1.89}$	0.008	0.20	1.04

$$fe = 18.91 \cdot D^{-1.87}$$

$$= 18.91 \cdot 16^{-1.87}$$

$$fe = 0.106 \text{ mm}$$

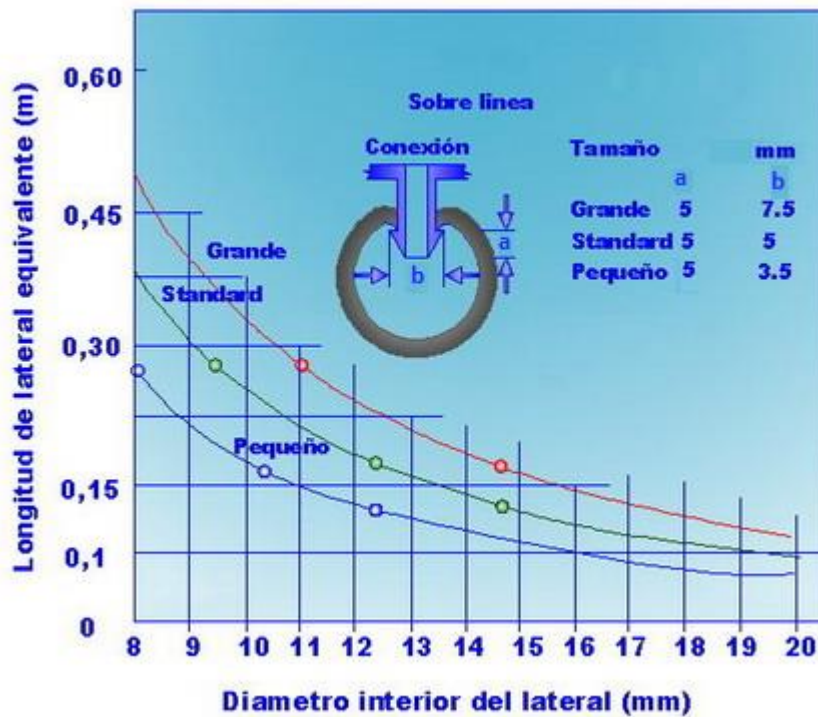


Figura 95. Longitud Equivalente – Inserción de goteros por longitud y diámetros de laterales.

3.5 Ecuación del gotero

Cada tipo de gotero funciona regulando de manera diferente los caudales y presiones de acuerdo a su estructura y materiales de construcción, que permiten que el flujo de agua se realice en forma laminar, turbulento o auto compensado.

Su límite de funcionamiento, varíe entre 0 y 1, correspondiendo 0 al flujo auto compensado, 0,5 al flujo turbulento y 1 al flujo laminar.

Los goteros auto compensados funcionan primero, elevando su presión mínima, hasta cierto grado (ejemplo 5 metros de columna de agua); de ahí en adelante, uniformizan su caudal aun cuando la presión aumente; existiendo en este sentido, goteros auto compensados y cintas de goteo auto compensadas.

La ecuación del gotero la debe proporcionar al fabricante para permitir determinar la máxima variación de presiones admisibles en la subunidad de riego; cuya formulación es la siguiente:

Ecuación del gotero:

$q = K \cdot H^x$

q = Caudal del emisor.

K = Coeficiente de descarga del gotero.

x = Exponente de descarga del gotero.

H = Presión a la entrada del gotero.

$= (q/K)^{1/x}$.

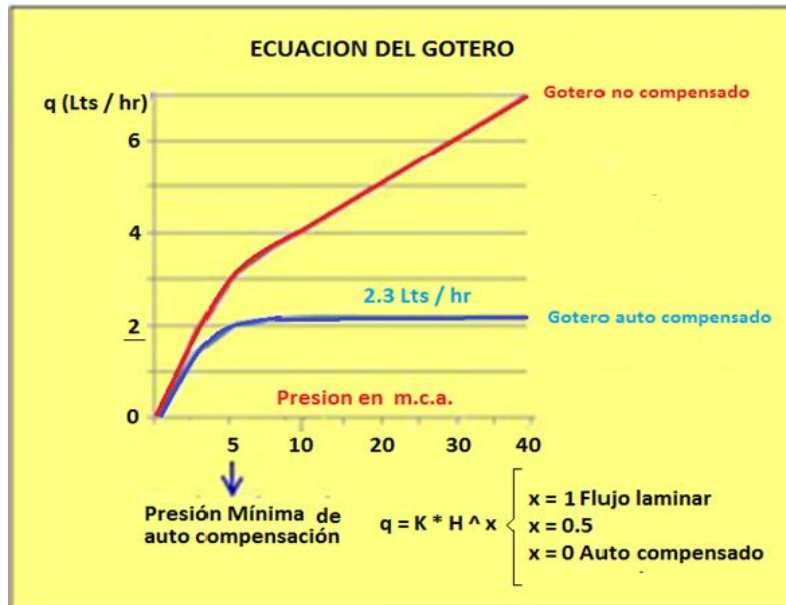


Figura 96. Ecuación del gotero.

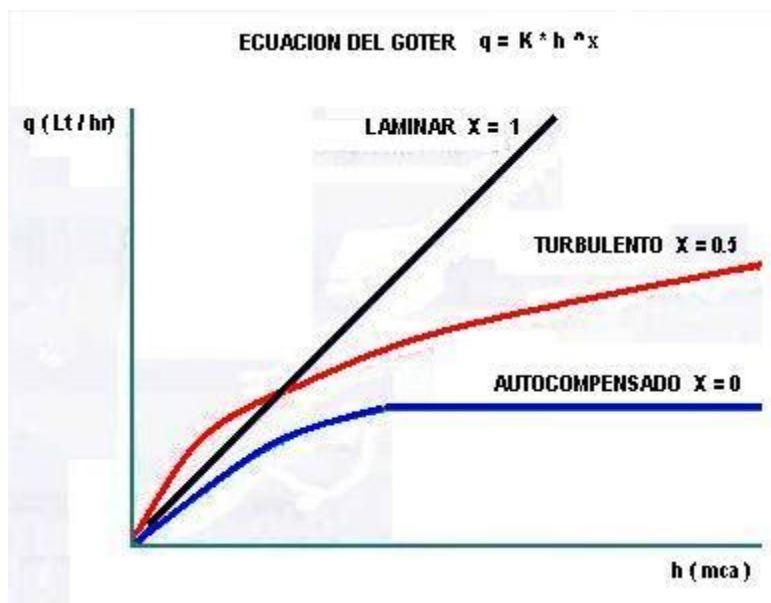


Figura 97. Esquema de curvas características de goteros.



Tabla 48.

Cálculo de parámetros en la ecuación del gotero.

CALCULO DE PARAMETROS EN LA ECUACION DEL GOTERO						
Gl / hr	PSI	Bar	h (mca)	q (Lts/hr)		Elección
0,73	5	0,34	3,45	2,76		
0,97	10	0,69	6,89	3,67		
0,96	15	1,03	10,34	3,63		
0,97	20	1,38	13,78 = h1	3,6718477 = q1	q1(L/h) =	3,67
1	25	1,72	17,23	3,79	h1(m) =	13,78
1,01	30	2,07	20,67	3,82		
1,01	35	2,41	24,115 = h2	3,8232641 = q2	q2(L/h) =	3,82
1	40	2,76	27,56	3,79	h2(m) =	24,12
0,98	45	3,10	31,01	3,71		
0,95	50	3,45	34,45	3,60		

Ecuación del gotero

El fabricante, recomienda que el gotero trabaje entre 0,7 a 3,5 bares o 7 a 35 m.c.a para que las desviaciones de caudales, sean mínimas,

Elegimos dos valores de presión y sus caudales, situados en la zona marcada por el intervalo, en m.c.a. de presiones de la tabla

$$q \text{ (Lt/hr)} = K \cdot h^x$$

K = Coeficiencia de descarga

x = Exponente de descarga

h = Presión a la entrada del emisor en m.c.a.

Determinación del Exponente de descarga (x):

$$x = \ln(q_1/q_2) / \ln(h_1/h_2)$$

Aplicando Logaritmos Naturales:

$$x = \ln(3,67/3,82) / \ln(13,78/24,12)$$

$$x = 0,072$$

Determinación del Coeficiente de descarga (K):

$$K = q_1 / (h_1^x) = 3,67 / (13,8^{0,072})$$

$$K = 3,04$$

$$K = q_2 / (h_2^x) = 3,041906273$$

Determinación de caudales de los goteros

Que corrobora los datos de caudales de la tabla

$$q_1 = K \cdot h_1^x = 3,67 \text{ Lt/hr}$$

$$q_2 = K \cdot h_2^x = 3,82 \text{ Lt/hr}$$

Uniformidad de riego en el diseño hidráulico**Utilización del coeficiente de uniformidad**

Se utiliza para evaluar una instalación existente que viene operando, a fin de aplicar correctivos o enmendar algunas deficiencias en el funcionamiento.

Para diseñar una nueva instalación, determinando un CU deseado, ($CU \geq 0.90$).



Uniformidad de riego

El Coeficiente de Uniformidad (CU), indica el grado en el cual, el sistema de riego viene funcionando en la aplicación del agua a través de los emisores o goteros; asimismo, indica el grado, con el cual debe operar un sistema nuevo.

Para ello, a nivel de una muestra del universo de goteros, se compara el promedio del 25% de los goteros que aportan menos caudal, con el 100% del promedio total de la muestra.

$$CU = q_{25\%} / q_{100\%}$$

Utilización del CU en el diseño hidráulico de una instalación

Para determinar la tolerancia de presiones en la subunidad de riego y su relación con el Coeficiente de Uniformidad constructivo (**CUc**), con el Coeficiente de Uniformidad hidráulico (**CUh**) y caudal del gotero nominal (fabricante) y caudal del gotero de menor aporte, se utiliza:

$$CU = CUc * CUh = (1 - (1.27 * CV / e^{0.5})) * (q_{ns} / q_a)$$

CUc, mide las variaciones de caudales por efectos constructivos de un grupo de emisores, al aplicar una misma presión, caracterizado por el modelo de probabilidades de distribución Normal o Típica.

$$q_{25\%} = (1 - 1.27 CV) * q_{100\%}$$

$$CU = q_{25\%} / q_{100\%}$$

Reemplazando en la fórmula de CU:

$$CU = (1 - 1.27 CV) * q_{100\%} / q_{100\%}$$

Donde el CUc es determinado por el factor de fabricación, el cual influye en el CU y puede apreciarse, cuanto mayor es CV, menor es la uniformidad que aporta el emisor.

Al número de emisores, se le denomina **e**, del que recibe agua una misma planta, cuanto mayor es **e**, menor es la probabilidad que todos los emisores que aportan agua a una planta, pertenezcan al 25% de caudal más bajo; en este caso la fórmula anterior se transforma en:

$$CUc = (1 - 1.27 CV / e^{0.5})$$

El **CUh**, mide las variaciones de caudales de un mismo grupo de emisores, debido a la aplicación de diferentes presiones en ellos; los cuales también dependen, de las pérdidas de carga en la red y de los desniveles del terreno.

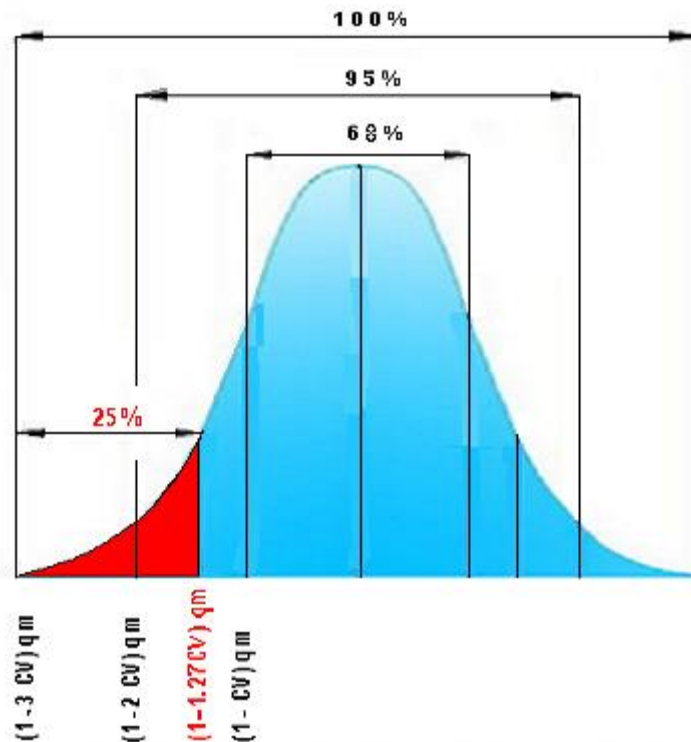


Figura 98. Distribución normal del caudal del emisor.

3.6 Tolerancia de caudales y presiones en la subunidad de riego

Diseño de la subunidad

$$\text{Lateral } (hf + d) + \text{Porta lateral } (Hf+D) < \Delta H_{\text{PERMISIBLE.}}$$

Para mantener un régimen de presión permisible; en el diseño de la subunidad de riego, se considera las longitudes, los diámetros y sus caudales de las tuberías portalateral y lateral.

Tolerancia de presiones

$$\text{Máxima tolerancia de presión permisible: } \Delta H_{\text{permisible}} = 2.5 (h_a - h_{ns}).$$

Presión del gotero con caudal nominal, (q_a) = h_a (fabricante).

Presión del gotero con caudal más bajo, (q_{ns}) = h_{ns} .

La tolerancia de caudales y presiones en la Subunidad de Riego, se realiza en función al establecimiento de longitudes y diámetros de los laterales y portlaterales.

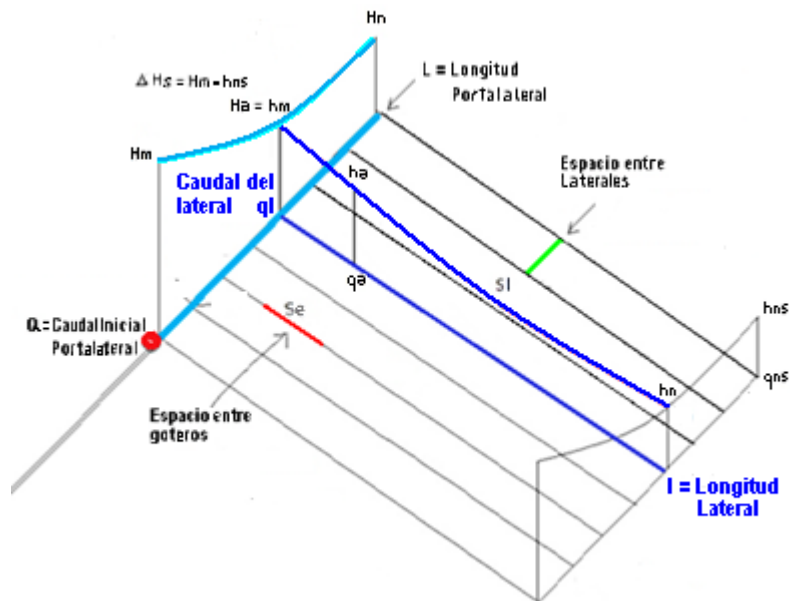


Figura 99. Subunidad de riego.

Tolerancia de caudales

Para determinar la tolerancia de caudales, en la Subunidad de riego, es necesario hallar el Coeficiente de Uniformidad Constructivo (CUC) y el Coeficiente de Uniformidad Hidráulico (CUH), para relacionar el primero, con el caudal más bajo del gotero (q_{ns}), calculado a través del gotero de caudal nominal (q_a), dado por el fabricante:

q_{ns} = Caudal del gotero más bajo.

q_a = Caudal nominal del gotero (fabricante).

CV = Coeficiente de variación (fabricante).

CU = 0.90 (exigible).

CUC = Coeficiente de uniformidad constructivo.

CUH = Coeficiente de uniformidad hidráulico.

Fórmula general

$$CU = (1 - (1.27 * CV / e^{0.5})) * (q_{ns} / q_a) = CUC * CUH$$



Caudal Nominal del emisor (fabricante)	qa	=	0.50 l/hr
Coeficiente de Variación Nominal del emisor (fabricante)	CV	=	0.035
Número de emisores por planta	e	=	1

Cálculo del coeficiente de uniformidad constructivo

$$\begin{aligned} \text{CUc} &= (1 - (1.27 \text{ CV} / e^{0.5})) \\ &= (1 - (1.27 * 0.035 / 1^{0.5})) \\ \text{CUc} &= \mathbf{0.96} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal más bajo del gotero (qns):

$$\begin{aligned} \text{CU} &= \frac{(1 - (1.27 * \text{CV} / e^{0.5})) * (\text{qns} / \text{qa})}{\text{CUc}} \\ \text{CU} &= \text{CUc} * (\text{qns} / \text{qa}) \\ \text{qns} &= (\text{CU} * \text{qa}) / \text{CUc} \\ &= (0.90 * 0.50) / (0,96) \end{aligned}$$

$$\text{qns} = \mathbf{0.47 \text{ Lts/hr}}$$

Cálculo del coeficiente de uniformidad hidráulico

$$\begin{aligned} \text{CU} &= \text{CUc} * \text{CUh} \\ \text{CUh} &= \text{CU} / \text{CUc} = 0.90 / 0.96 \\ \text{CUh} &= \mathbf{0.94} \end{aligned}$$

3.7 Diseño de instalaciones

El coeficiente de uniformidad constructivo **CUc**, expresa la variación de caudales en los emisores, por causas constructivas, al aplicar a un grupo de emisores, una **presión uniforme**; las que también dependen, de los desniveles topográficos y pérdidas de carga en la red de riego.

El coeficiente de uniformidad hidráulico **CUh**, expresa la variación de caudales en los emisores, debido a **diferentes presiones aplicadas**, a un grupo de emisores; la que a su vez, dependen de los desniveles topográficos y pérdidas de carga en la red de riego.



PERÚ

Ministerio de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

$$CU = CUc * CUh = ((1 - (1.27 cv / e ^{0.5})) * qns / qa)$$

$$CUh = qns / qa = CU/CUc$$

$$CUc = (1 - (1.27 cv / e ^{0.5}))$$

Cálculo del caudal más bajo del gotero (qns)

CU = 0.90 Valor exigido en el diseño de las instalaciones.

CV = 0.05 Coeficiente de Variación del emisor (Fabricante).

e = 6 Número de emisores por planta.

qa = 2.30 Lit/hr Caudal nominal del gotero. (Fabricante).

qns = Caudal más bajo del gotero.

$$CU = (1 - (1.27 CV / e^{0.5})) * qns / qa$$

$$0.90 = (1 - (1.27 * 0.05 / 6^{0.5})) * qns / 2.30$$

$$qns = (CU * qa) / (1 - (1.27 * 0.05 / 6^{0.5}))$$

$$= (0.90 * 2.30) / (0.97)$$

$$qns = 2.13 \text{ Lit/hr}$$

$$CUc = (1 - (1.27 * 0.05 / 6^{0.5}))$$

$$CUc = 0.97$$

$$CUh = qns / qa = 2.13 / 2.30$$

$$CUh = 0.93$$

Tolerancia de presiones - Ecuación del gotero

ΔH PERMISIBLE

Es la máxima variación de presión permisible, dentro de una **subunidad de riego**, para que los emisores trabajen con una uniformidad del 90 %.

(ΔH) Delta H : máxima variación de presión permisible.

ha : presión del gotero de caudal nominal (qa).

hns : presión del gotero de caudal más bajo (qns).



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Cálculo de presiones (ha) y (hns) de los goteros de caudal nominal y del caudal más bajo:

$q = 0.58 h^{0.59}$ Ecuación del gotero (fabricante)

$h = (q / 0.58)^{(1/0.59)}$

$q_a = 2.30$ Caudal nominal del gotero.

$q_{ns} = 2.13$ L/hr Caudal más bajo del gotero.

hns Cálculo del valor, con un CU de 90 %.

Determinación de presiones de los goteros

Con la ecuación del gotero y caudales q_a y q_{ns} , se determinan las presiones h_a y h_{ns} .

$q_a = 0.58 \cdot h_a^{0.59} = 2.30$

$h_a = (2.30 / 0.58)^{(1/0.59)}$

$h_a = 10.33$ m

$q_{ns} = 0.58 \cdot h_{ns}^{0.59} = 2.13$

$h_{ns} = (2.13 / 0.58)^{(1/0.59)}$

$h_{ns} = 9.07$ m

Tolerancia de presiones permisible en la subunidad

$\Delta H_{\text{PERMISIBLE}} = 2.5 (h_a - h_{ns})$

$= 2.5 (10.33 - 9.07)$

$= 2.5 \cdot (1.26)$

$\Delta H_{\text{PERMISIBLE}} = 3.15$

**Máxima Variación de Presión Permisible**

qa	2,30	Caudal nominal de diseño
qns	2,13	Gotero de menor caudal
CU	0,90	Valor determinado para el sistema de riego por goteo.
CV	0,05	Coefficiente de Variación del emisor - Fabricante
e	6	número de emisores por planta.
qa	2,30	l / hr Caudal nominal del gotero - Fabricante
qns	2,13	$= (CU * qa) / (1 - (1.27 * 0.05 / e ^ (0,5)))$
CUc	0,97	$= (1 - (1.27 * 0.05 / e ^ 0.5))$
CUh	0,93	$= (qns / qa)$

Máxima variación de presión permisible

ha	10,33	$2.30 = 0.58 ha^{0.59}$
		$ha = (2,30 / 0.58)^{1 / 0.59}$
hns	9,07	$2.13 = 0.58 \times hns^{0.59}$
		$hns = (2.13 / 0.58)^{1 / 0.59}$
ΔH	3,15	m $2.5 (ha - hns) = 2.5 (10.33 - 9.07) = 3.15$ m

3.8 Pérdidas de carga en tuberías principal, secundaria, portalateral y lateral**Pérdida de carga en tubería principal y secundaria****1.- Pérdida de carga HAZEN & WILLIAMS**

$$J \text{ (m/100m)} = (1.21 * 10^{12}) * ((Q/C)^{1.8552}) * D^{-4.87}$$

Cálculo:

Caudal de conducción: Q = 11 Lt /s.

Long. Conducción L = 120 m.

Factor rozamiento PVC: C = 150.

Diámetro interno tubería: D = 104 mm (4").

Pérdida de carga de HAZEN & WILLIAMS

$$J \text{ (m/100 m)} = (1.21 * 10^{12}) * ((11 / 150)^{1.8552}) * |104^{-4.87}$$

$$J \text{ (m/100 m)} = 1.43$$



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

$$H_f = J \text{ (m/100 m)} * (L / 100)$$

$$H_f = 1.43 * (120/100)$$

$$H_f = 1.71 \text{ m}$$

Pérdidas de carga en tubería portallateral

1.- Pérdida de carga HAZEN & WILLIAMS

$$J \text{ (m/100 m)} = (1.21 * 10^{12}) * ((Q/C)^{1.8552}) * D^{-4.87}$$

$$2.- (L/100) = (120/100) = 1.2$$

3.- Corrección factor múltiples salidas de Christiansen (F)

$$H_f = J * (L/100) * F$$

Cálculo de pérdida de carga en el portallateral

Caudal del lateral = 0.1065 Lt/s

Espacio entre Laterales = 1 m

Longitud portallateral = 60 m

Caudal portallateral = 6.39 Lt/s : (60 laterales x (0.1065 Lt/s) / lateral)

Factor de PVC: C = 150

Diámetro interno = 69.3 mm (3")

1.- Pérdida de Carga HAZEN & WILLIAMS

$$J \text{ (m/100 m)} = (1.21 * 10^{12}) * ((6.39 / 150)^{1.8552}) * 69.3^{-4.87}$$

$$J \text{ (m/100 m)} = 3.74$$

$$2.- (L/100) = 0.6 \text{ m}$$

3.- Factor de Christiansen: F = 0.365 (múltiples salidas > 35)

$$H_f = 3.74 * (60/100) * 0.365$$

$$H_f = 0.82 \text{ m}$$



Pérdida de carga en el lateral

Pérdida de carga HAZEN & WILLIAMS

$$J \text{ (m/100m)} = (1.21 \cdot 10^{12}) \cdot ((Q/C)^{1.8552}) \cdot D^{-4.87}$$

Q: Caudal total del lateral en Lit/seg

C: Coeficiente de rozamiento: PVC-150; HDPE-130; AI-120

D: Diámetro de tubería en milímetros

Corrección por inserción de goteros: **factor (se+fe)/se**

se = Separación entre emisores en metros = 0.20 m.

fe = Longitud equivalente, expresado en pérdida en altura (mca).

$$= 18.91 \cdot D^{-1.87} = 18.91 \cdot 16 \text{mm}^{-1.87}$$

fe = 0.106 m

se = 0.20

$$\text{Longitud equivalente} = (0.106 + 0.20) / 0.20 = \mathbf{0.153}$$

$$J \text{ (m/100m)} = J \cdot (\text{se+fe}) / \text{se}$$

Corrección por el factor F por múltiples salidas de Christiansen

$$H_f = J \cdot F \cdot L / 100$$

Cálculo de pérdida de carga en el lateral

Pérdida de carga HAZEN & WILLIAM

Caudal del lateral **0.1065 Lt/s**

C (Factor rozamiento HDPE) 130

$$1.- J \text{ (m/100 m)} = (1.21 \cdot 10^{12}) \cdot ((0.1065 / 130)^{1.8552}) \cdot 16^{-4.87}$$

$$J \text{ (m/100 m)} = \mathbf{3.11}$$

$$2.- (L/100) = \mathbf{(50/100)} = \mathbf{0.50 \text{ m}}$$



3.- Factor de Christiansen: función del N° de salidas $F = 0.365$

4.- Pérdidas por inserción de goteros y longitud equivalente

Factor: long equivalente = $(se + fe)/se = (0.106 + 0.20) / 0.20$; $Le = 0.153$

$hf = 3.11 * 0.5 * 0.365 * 0.153$ $hf = 0.087 \text{ m}$

Tabla 49.

Factor de corrección – Portalaterales.

Factor de corrección - Portalaterales Christiansen			
N° Salidas (n)	Factor Corrección F (n)	N° Salidas (n)	Factor Corrección F (n)
1	1.000	17	0.381
2	0.639	18	0.379
3	0.534	19	0.377
4	0.485	20	0.376
5	0.457	21	0.375
6	0.438	22	0.374
7	0.425	23	0.373
8	0.416	24	0.372
9	0.408	25	0.371
10	0.402	26	0.370
11	0.597	27	0.369
12	0.393	28	0.368
13	0.390	29	0.367
14	0.387	30	0.366
15	0.385	35	0.365
16	0.382	> 35	0.365

3.9 Determinación de la altura dinámica total (ADT)

La altura dinámica total, es la presión necesaria para mantener en funcionamiento el sistema de riego y se calcula, sumando las pérdidas de carga, en la tubería principal, secundaria, portalateral y lateral, agregando a ellos, la mitad de los desniveles a favor o en contra; añadidas a las pérdidas, en el arco de riego, en la conducción, singularidades del sistema y en el cabezal que integra filtros, equipo de fertirrigación, equipos de control de caudal y presión.

$$ADT = Hm_{\text{SUBUNIDAD RIEGO}} + Hf * (\text{ARCO} + \text{CONDUCCIÓN} + \text{CABEZAL})$$



Hm SUBUNIDAD	=	Presión a la entrada de la subunidad.
ha	=	Presión nominal del gotero (fabricante).
hm	=	Presión a la entrada del lateral.
Hf	=	Pérdida de carga en el portallateral.
hf	=	Pérdida de carga en el lateral.
D/2	=	Desnivel en el portal lateral.
d/2	=	Desnivel en el lateral.
ADT	=	Hm SUBUNIDAD + Hf ARCO + Hf CONDUCCIÓN + Hf CABEZAL.
Hm	=	hm + 0.73 Hf PORTALATERAL + D/2.
hm	=	ha + 0.73 hf LATERAL + d/2.
Hm	=	ha + 0.73 hf LATERAL + d/2 + 0.73 Hf PORTALATERAL + D/2.
Hm	=	ha + 0.73 (hf LATERAL+ Hf PORTALATERAL + (d + D)/2).

Cálculo de la Altura Dinámica Total (ADT)

Presión a la entrada de la Sub Unidad	Hm	=	2,37
--	-----------	---	-------------

Presión nominal gotero	ha	=	10
-------------------------------	-----------	---	-----------

Pérdida de carga en el del lateral	hf	=	1,43
------------------------------------	----	---	------

Pérdida de carga en el porta lateral	Hf	=	0,80
--------------------------------------	----	---	------

Pérdida en la Sub Unidad (< que de presión de entrada)		=	2,23
--	--	---	-------------

Desnivel en el portal lateral	D/2	=	- 2,24
-------------------------------	-----	---	--------

Desnivel en el lateral	d/2	=	0
------------------------	-----	---	---

ADT	=	Hm SUBUNIDAD + Hf ARCO + Hf CONDUCCIÓN + Hf CABEZAL
------------	---	---

Hm	=	ha + 0,73 (hf LATERAL+ Hf PORTALATERAL) + (d+D)/2
	=	10 + 0,73 (1.43 + 0,80) – 1,12 = 10,51

ADT	=	Hm SUBUNIDAD + Hf ARCO + Hf CONDUCCIÓN + Hf CABEZAL
		10,51 + 1,5 + 3 + 5

ADT	=	10,51+1,5+3+5	=	20.01 m
------------	---	----------------------	---	----------------



Ejemplos prácticos

Para seleccionar y determinar las pérdidas de carga en los laterales y en los portlaterales, que no superen los límites máximos permisibles de presión, se deben combinar alternativamente cada grupo de las categorías de diámetros iguales de los laterales, con el diámetro más bajo del primer portalateral; luego con el segundo del portalateral, luego con el tercer diámetro del portalateral; posteriormente, el segundo grupo de diámetros iguales de los laterales, con el primero, segundo y tercer diámetro de portalateral, como sigue:

Lateral		Portalateral
16 mm	con	63 mm
16 mm	con	75 mm
16 mm	con	90 mm
19 mm	con	63 mm
19 mm	con	75 mm
19 mm	con	90 mm

Calculándose luego, las pérdidas de carga de todas las combinaciones, comparadas cada uno de ellas, con la máxima presión permisible, desechándose las de mayor presión; de las que quedan, se comparan cada una, con la inversión realizada por cada combinación, escogiendo la de menor inversión, como la alternativa económica.