

Este artículo se publica con la intención de compartir una recopilación estudiantil que necesariamente está sujeta a correcciones ortográficas, gramaticales, de forma y de contenido. Por este motivo debe considerarse como material en proceso de elaboración, aún no terminado.

BOQUILLAS

Se llama boquillas a todos los tubos adicionales de pequeña longitud constituidos por piezas tubulares adaptadas a los orificios. Se emplean para dirigir el chorro líquido. Su longitud debe estar comprendida entre vez y media (1,5) y tres (3,0) veces su diámetro. De un modo general, y para longitudes mayores, se consideran longitudes de 1,5 a 3,0 D boquillas; 3,0 a 500 D tubos muy cortos; 500 a 4000 D (aproximadamente) tuberías cortas; arriba de 4000 D tuberías largas. El estudio de orificios en pared gruesa se hace del mismo modo que el estudio de las boquillas. Las boquillas pueden ser entrantes o salientes y se clasifican en cilíndricas, convergentes y divergentes. A las boquillas convergentes suele llamárseles toberas.

CLASIFICACION DE LAS BOQUILLAS

Boquillas o tubos adicionales

- Cilíndricos
 - interiores (entrantes)
 - exteriores
- Cónicos
 - Convergentes
 - divergentes

BOQUILLAS CILÍNDRICAS

Se denominan también: *boquilla patrón*: boquilla cuya longitud iguala 2,5 veces su diámetro y *boquilla de Borda*: boquilla interior de longitud patrón.

La contracción de la vena ocurre en el interior de boquillas cilíndricas.

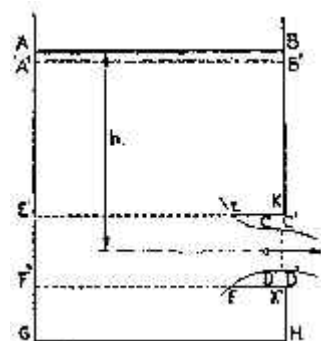
En las boquillas-patrón, la vena puede pegarse o no a sus paredes. Cerrándose el tubo hasta llenarlo, se hace que la vena quede pegada, resultando un chorro "total" (ocupando totalmente la sección de salida).

Es interesante observar que a la boquilla interior de Borda corresponde al menor caudal: coeficiente de descarga 0,51 (teóricamente se encuentra $C_c = 0,5$ para vena libre).

La boquilla cilíndrica externa con vena adherente, eleva el caudal: $C_d = 0,82$.

• BOQUILLA CILÍNDRICA ENTRANTE O DE BORDA

Sea una boquilla cilíndrica entrante adaptada a un orificio situado en la pared de un recipiente de grandes dimensiones, y la elevación de la superficie libre, con respecto al centro de gravedad del orificio.



Aplicando el teorema de la cantidad de movimiento, con respecto a un eje horizontal, a la masa de líquido que en el tiempo t está limitada por la superficie libre AB y la sección contracta CD. En el tiempo $t + dt$, esta masa de líquido estará limitada por una superficie libre un poco más abajo A'B' y una sección C'D', situada a una distancia $U dt$ de la contracta CD.

Estas dos posiciones tienen en común a la parte A'B'CD, para la cual todo permanece constante. Esto permite concluir que el

incremento de la cantidad de movimiento durante el tiempo dt , es igual a la cantidad de movimiento de la masa $CDC'D'$ menos la de $ABA'B'$.

Respecto a la cantidad de movimiento de $CDC'D'$, se tiene cantidad de movimiento:

$$CDC'D' = \rho_c U dt \times U = d/g \rho_c U^2 dt = d/g \rho_c 2gh dt$$

ya que el escurrimiento hasta CD se efectúa sin pérdidas apreciables. En cuanto a la cantidad de movimiento de $ABA'B'$, por estar dirigida verticalmente y hacia abajo, no interviene en la dirección de proyección considerada. Por otra parte, las fuerzas exteriores son:

- El peso propio de la masa de líquido (fuerza vertical, no interviene en la proyección considerada).
- La presión en el fondo y la presión atmosférica en la superficie libre (fuerzas verticales, no intervienen en la proyección).
- Las presiones laterales (tanto a lo largo de AG , como de BK y $K'H$, el líquido está en reposo horizontalmente y la presión varía hidrostáticamente; por consiguiente, esas presiones se equilibran, salvo en $E'F'$ y en la periferia de la vena $ECDF$).
- El empuje sobre $E'F'$ vale $\rho(p_{atm} + dh)$ (fuerza horizontal).

En la superficie exterior de la vena, la presión activa es la atmosférica; que es la que se admitirá como activa en la sección ρ_c

La componente horizontal de la fuerza resultante, por lo tanto, vale donde $d\omega'$ representa a un elemento de área de la superficie externa de la vena y a al ángulo que forma con un plano vertical.

$$\int_{ECDF} P_{atm} d\omega' \cos \alpha = \int_{\omega} P_{atm} d\omega = P_{atm} \omega$$

De acuerdo con esto, las proyecciones horizontales de las cantidades de movimiento conducen a:

$$d/g \rho_c 2gh dt = [\rho_c (p_{atm} + dh) - \rho_c p_{atm}] dt$$

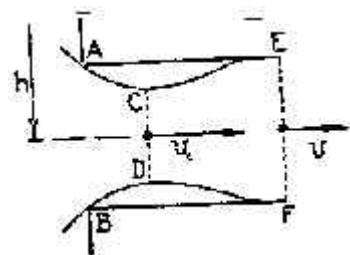
ó

$$\rho_c = \rho_c / 2$$

Es decir, que el coeficiente de contracción vale $1/2$, cosa que ocurrirá siempre que la presión varía hidrostáticamente hasta el borde del orificio.

• BOQUILLA CILÍNDRICA EXTERIOR

Si la longitud de la boquilla es suficiente (cuando menos una y media veces el diámetro. del orificio), la contracción de la vena es seguida de una expansión y la boquilla descarga a sección plena



Si $\mu = \rho_c / \rho_c$ designa al coeficiente de contracción, las pérdidas de carga debidas a la expansión son:

$$(U_c - U)^2 / 2g + k U^2 / 2g = U^2 / 2g [(1/\mu - 1)^2 + k]$$

Aplicando el teorema de Bernoulli entre una sección suficientemente alejada del orificio, a fin de poder considerar a las partículas en reposo, y la sección de salida de la boquilla EF en la que se puede suponer actuando a la presión atmosférica, se obtiene:

$$p_{atm}/d + h = p_{atm}/d + U^2 / 2g + U^2 / 2g [(1/\mu - 1)^2 + k]$$

de donde

$$U =$$

$$\frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + (1/\mu - 1)^2 + k}}$$

Esta velocidad es menor que $\sqrt{2gh}$, la velocidad correspondiente al escurrimiento a través de un orificio de pared delgada.

Se puede tomar $\mu = 0.62$. Por otra parte,

$$k = 0.22 (1/\mu - 1)$$

Con estos valores se encuentra

$$U = 0,82 \sqrt{2gh}$$

Respecto al gasto, descargando la boquilla a sección plena, se tiene:

$$Q = 0,82 \sqrt{2gh}$$

Que es mayor que $0,62 \sqrt{2gh}$, el gasto correspondiente al orificio de pared delgada.

(Según Weisbach, el coeficiente numérico que precede al radical depende de la relación de la longitud al diámetro de la boquilla. Si esta relación es pequeña, la boquilla no descarga a sección plena y su influencia es despreciable. Si es grande, la influencia de las fuerzas frictivas disminuye el gasto. La relación óptima será aproximadamente 2.5. para la cual el coeficiente numérico vale aproximadamente 0.82.)

El incremento en el gasto, con respecto al orificio de pared delgada, se debe a que en la sección CD se forma un vacío parcial, siendo la presión ligeramente menor que la atmosférica.

Si P_c representa a la presión activa en la sección contracta, la ecuación de Bernoulli nos da:

$$P_{atm}/\rho + h = P_c/\rho + U_c^2/2g$$

$$U_c \mu = U$$

Ahora bien

$$U_c = U/\mu = 0,82\sqrt{2gh}/0.62$$

De donde

$$(P_{atm} - P_c)/\rho = (0,82/0,62)^2 h - h = \text{aprox. } 3/4h$$

Lo que comprueba la existencia de un vacío parcial.

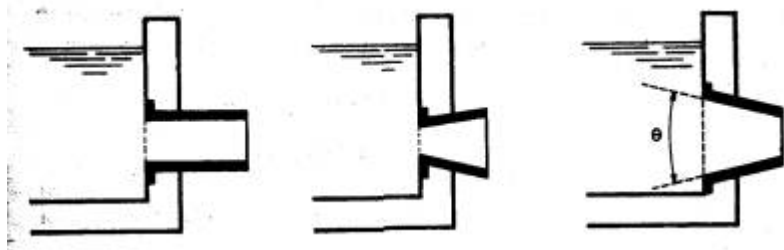
Asimismo, se ve que la carga h se utiliza para:

1. Producir energía cinética, que es la parte $(0.82)^2 h = \text{aprox. } 2/3 h$
2. Vencer las pérdidas debidas a la expansión de la vena y que aproximadamente valen $1/3h$.

BOQUILLAS CÓNICAS

Con las boquillas cónicas se aumenta el caudal. Experimentalmente se verifica que en las boquillas convergentes la descarga es máxima para $\theta = 13^\circ 30'$: $C_d = 0,94$.

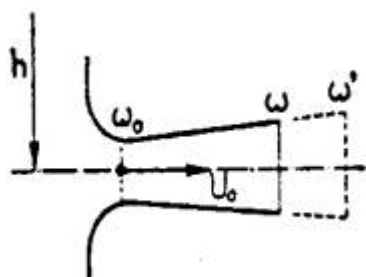
Las boquillas divergentes con la pequeña sección inicial convergente, conforme muestra la Figura, se denominan Venturi, por haber sido estudiados por este investigador italiano. Las experiencias de Venturi demuestran que un ángulo de divergencia de 5° , combinado con la longitud del tubo igual a cerca de nueve veces el diámetro de la sección estrangulada, permite los más altos coeficientes de descarga.



• BOQUILLA DIVERGENTE

El estudio de la prolongación divergente es una consecuencia inmediata de lo expuesto en el párrafo precedente y al tratar la prolongación cilíndrica.

Considerar una boquilla aplicada a la pared de un recipiente, y constituida por una convergencia corta (para guiar la contracción de la vena a la entrada) seguida de una divergencia de ángulo bastante pequeño, para que los pequeños tubos de corriente no se separen y de manera tal que no se presente una zona muerta en la que ocurren las turbulencias. Si además, el tubo está bien pulido, las pérdidas son muy pequeñas la velocidad de salida es muy cercana a la teórica $v\sqrt{2gh}$ y el gasto se aproxima bastante a $\mu\sqrt{2gh}$.



Esto aparentemente permite concluir que mediante un simple alargamiento de la boquilla (como lo indica el trazo discontinuo), se podría incrementar indefinidamente el gasto, para una carga dada h , y la misma sección en el cuello ω_0 . Lo que realmente ocurre es que al prolongar la boquilla, la velocidad U_0 aumenta, la presión p_0 disminuye y, a partir de un cierto momento, se produce el fenómeno de cavitación.

En ese instante, el fluido deja de ser homogéneo y dejan de ser aplicables las fórmulas establecidas bajo la hipótesis de un líquido homogéneo.

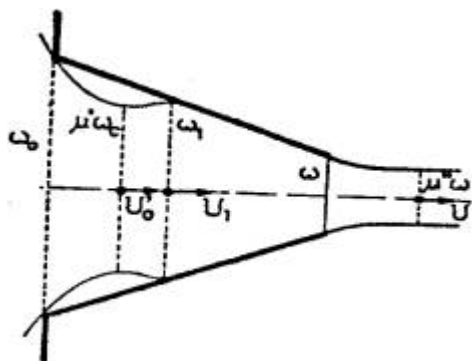
Para evitar con seguridad la cavitación, la presión absoluta media en la sección ω_0 no debe ser menor que la equivalente a aproximadamente 4 ó 5 metros de agua; es decir, que el vacío no debe exceder a 6 o 5 metros.

Para valores dados de h y ω_0 el gasto máximo aproximadamente vale:

$$\mu_0 \sqrt{2g(h + 5 \text{ a } 6)}$$

• BOQUILLA CONVERGENTE

La pura convergencia de los pequeños tubos de corriente no implica, de ninguna manera, pérdidas apreciables; pero si la boquilla tiene aristas de entrada vivas, la vena líquida experimenta una contracción inicial hasta adquirir la sección $\mu'\omega_0$, posteriormente se expande hasta llenar (en ω_1) la sección de la boquilla; finalmente, después de haber pasado la sección de salida, continúa contrayéndose hasta adquirir la sección $\mu''\omega$.



La constancia del gasto permite escribir:

$$Q = \mu'\omega_0 U_0 = \omega_1 U_1 = \mu''\omega U$$

Por otra parte, por ser h la carga total en una sección bastante alejada de la boquilla, tenemos:

$$h = U^2/2g + \text{pérdidas.}$$

Estas pérdidas son:

- Pérdidas por expansión después de la entrada

$$(U_0' - U_1)^2/2g = U^2/2g (\mu''/?/ \mu'?_0 - \mu''/?/ ?_1)^2$$

- Pérdidas por fricción, las que se pueden escribir:

$$? U^2 /2g$$

Las pérdidas totales pueden representarse mediante:

$$? U^2 /2g$$

Haciendo

$$? = (\mu''/?/ \mu'?_0 - \mu''/?/ ?_1)^2 + ?$$

Entonces se obtiene

$$h = U^2 /2g(1 + ?)$$

osea que

$$U = fv2gh$$

en donde f (*coeficiente de velocidad*) representa a la cantidad $1/v(1 + ?)$

Respecto al gasto se tiene

$$Q = fv2gh \times \mu''? = \mu?v2gh$$

en donde

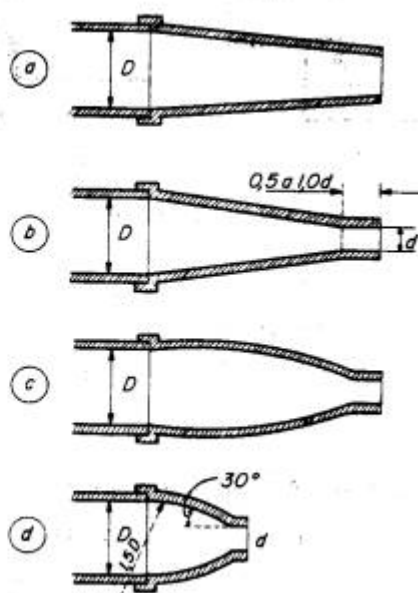
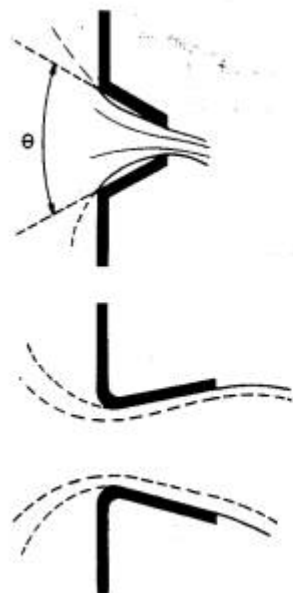
$$f\mu'' = \mu$$

Las condiciones más favorables se tienen cuando la relación de la longitud al diámetro de salida, aproximadamente vale 2.5 y para un ángulo total de abertura de $13^\circ 30'$. En tal caso $\mu = 0,947$ y $? = 0,09$.

BOQUILLAS Y TERMINALES

En la práctica, las boquillas son construidas para varias finalidades: contra incendios, operaciones de limpieza, servicios de construcción, aplicaciones agrícolas, tratamiento de agua, máquinas hidráulicas', etc.

Cuatro tipos son los usuales y se muestran en la Figura. Estos son:



- a) Boquilla cónica simple
- b) Boquilla cónica con extremidad cilíndrica
- c) Boquilla convexa
- d) Boquilla tipo Rouse

El coeficiente de descarga (C_d), generalmente está comprendido entre 0,95 y 0,98.

Las boquillas de incendio, normalmente tienen de diámetro de salida 1 a 1 1/2 pulgada.

BOQUILLAS CONVENCIONALES PARA PULVERIZACIÓN HIDRÁULICA

Las boquillas son los elementos encargados de la formación de gotas. El diseño de las mismas modifica substancialmente las gotas producidas, tanto en cuanto a su diámetro como en la forma del chorro que se proyecta.

PRINCIPIOS FISICOS DE LA PULVERIZACION HIDRAULICA

El líquido forzado a presión alcanza velocidad en la boquilla que pone en contacto el circuito de líquido con la atmósfera que lo rodea. La oposición del aire atmosférico, junto con el choque entre los filetes de líquido son la causa de la formación de gotas.

El caudal de líquido que sale por la boquilla, dentro de los valores de presión que habitualmente se utilizan, viene definido por una expresión matemática del tipo:

$$Q = h d^2 (p)^{-2}$$

siendo:

Q = Caudal de la boquilla en L/min.; h = Coeficiente de caudal de boquilla, que depende de la forma de ésta (valores del orden de 0.16 a 0.64); d = Diámetro de salida de la boquilla en mm; p = Presión de trabajo en bar.

La finura de las gotas formadas es tanto mayor cuanto menor es el coeficiente de boquilla [h] cuanto mayor es la presión de trabajo [p] utilizada.

Para los tamaños comercializados de boquillas cónicas, con orificio de salida circular, los diámetros medios (VMD), utilizando agua, varían de la siguiente manera:

Presión [bar]	Tamaño gotas VMD [m m]

2.5	225 - 425
5	150 - 325
10	110 - 275

La influencia de la presión se manifiesta menos a medida que esta aumenta. Las altas presiones, además, carecen de interés en el aspecto económico.

El límite, por tanto, de la gota que se puede producir con este sistema es algo menor de 100mm, utilizando para ello orificios de pequeñas dimensiones perfectamente mecanizados. La reducción del diámetro de la boquilla lleva implícito al peligro de obstrucción.

Hay que destacar la importancia que tiene que todas las boquillas sean iguales y trabajen a la misma presión para conseguir en ellas la misma población de gotas y uniformidad de dosificación.

Para regular el caudal de una boquilla basta modificar la presión de trabajo, pero si se quieren mantener igual finura de gotas se deben regular juntos y en el mismo sentido diámetros y presiones. Así, con una boquilla de 1 mm de diámetro trabajando a 5 bar se produce una población de gotas análoga a la de 1.8 mm trabajando a 30 bar, pero el líquido que sale por esta última es 7 u 8 veces mayor.

Con este sistema de pulverización, las gotas reciben una cantidad de energía cinética que les permite alcanzar por sí solas al objeto. Esta energía procede de la necesaria para la pulverización, suministrada en forma de presión en el líquido.

La energía para la pulverización expresada en julios depende de la presión de trabajo y matemáticamente puede calcularse por la expresión:

$$E [\text{Julios}] = \text{volumen} [\text{m}^3] \times \text{presión} [\text{N/m}^2]$$

$$1 \text{ litro} = 0.001 \text{ m}^3; 1 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ bar}$$

$$E = 0.001 \times 10^5 \times p = 100 \times p$$

siendo:

E = Energía necesaria para la pulverización (julios) por litro de producto pulverizado; p = Presión de trabajo de la boquilla (bar)

Las gotas alcanzan una velocidad que les puede permitir llegar a su destino manteniendo una energía residual suficiente para penetrar en el interior del objeto. A mayor presión, mayor velocidad de salida y superior energía cinética en el líquido, pero cada gota se desplaza individualmente y su trayectoria está regida por las leyes que explican el comportamiento de un proyectil en la atmósfera.

Cuando las gotas son finas y salen lanzadas a gran velocidad, la deceleración que les produce el aire puede ser considerable. Experimentalmente se demuestra que toma valores intermedios entre,

$$a(\text{min}) = k \times (v/d^2) \text{ y } a(\text{max}) = k \times (v^2/d)$$

siendo:

v = velocidad de la gota.

d = diámetro de la gota.

Esto se puede expresar diciendo que la deceleración decrece más rápidamente que el cuadrado de la velocidad y que la inversa del diámetro de las gotas.

Las consecuencias de orden práctico y que limitan esta forma de pulverización son:

- 1) El alcance de las gotas y la fuerza de penetración no varían sensiblemente cuando la presión de la boquilla sobrepasa los 30 bar.
- 2) Las gotas pequeñas son rápidamente frenadas, incluso si salen lanzadas a gran velocidad.

Por ello las boquillas tienen que actuar próximas a la zona de tratamiento, sin que sea aconsejable, con este sistema de pulverización, procurar gotas demasiado finas o buscar directamente gran penetración.

No obstante, la forma en la que se produce la salida de las gotas permite una gran uniformidad en la distribución.

TIPOS DE BOQUILLAS

En el mercado se encuentran diferentes tipos de boquillas, de manera que se puedan conseguir las más apropiadas para cada tipo de aplicación. La distribución superficial producida y el tamaño de las gotas para un determinado nivel de presión del líquido que llega a la boquilla son los parámetros que determinan los criterios de selección.

- **Boquillas de hendidura, abanico o chorro plano:**

En ellas el orificio de salida no es circular, sino alargado en forma de hendidura. La pulverización se consigue por el choque de dos láminas líquidas convergentes en las proximidades de la hendidura. El chorro de pulverización es un chorro cónico muy aplastado, con forma de pincel y ángulo entre 60° y 120°, con gotas más gruesas en los extremos del abanico. El aumento de la presión entre 1 y 4 bar incrementa sensiblemente su caudal, el ángulo de abertura del chorro y su aplastamiento, pero modifica poco la finura de pulverización.

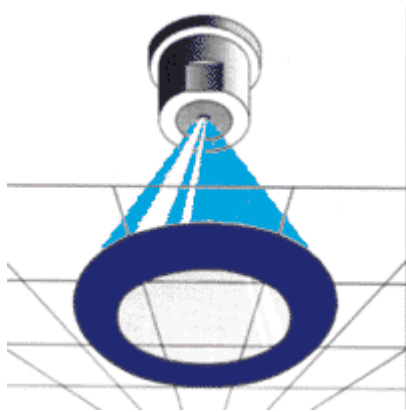
Proporcionan generalmente gotas de tipo medio, con presiones entre 2 y 4 bar, lo que las hace las más indicadas para aplicar herbicidas o siempre que se desee una buena distribución superficial sobre cultivos de poco desarrollo foliar. El perfil superficial de distribución de líquido es generalmente triangular, por lo que para conseguir una cobertura uniforme se recomienda el solapamiento de los chorros. También se comercializan boquillas de abanico con perfil de distribución uniforme, especialmente diseñadas para trabajar separadas en aplicaciones en bandas. Algunos fabricantes ofrecen boquillas de doble salida, lo que da lugar a dos chorros planos idénticos.

Por solapamiento de chorros de boquillas contiguas, en las condiciones anteriormente señaladas se pueden conseguir una alta uniformidad de distribución, pero deben estar montados de manera que los chorros de boquillas contiguas no choquen, para lo que se les da una ligera inclinación respecto al plano transversal en que están situadas.



- **Boquillas de turbulencia o de chorro cónico (cono hueco y cono lleno):**

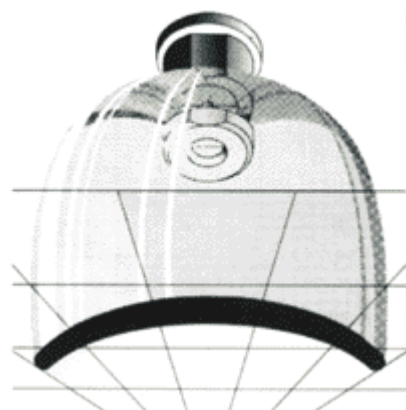
Estas boquillas dividen el líquido al convertir su energía potencial bajo presión en velocidad, por variaciones bruscas de sección y de dirección. Este movimiento, en forma de torbellino, lo provoca una cámara helicoidal o una hélice giratoria y un orificio calibrado en la placa de salida a la atmósfera. El propio movimiento helicoidal que toma el líquido en la boquilla se mantiene en el chorro de pulverización, dando lugar a un chorro cónico de gotas, más gruesas y con más cantidad de líquido en el exterior, y muy pocas y mucho más finas en el interior (cono hueco). En las cono lleno, en la parte interior del chorro se mantiene una pulverización abundante. El aumento de presión de la presión de trabajo modifica poco su caudal, pero aumenta la finura de pulverización. La finura de la población de gotas formada, en comparación con otros tipos de boquillas, hace que sean recomendadas cuando se busca fuerte penetración y cubierta densa sobre el vegetal. Se recomiendan para la aplicación de insecticidas y fungicidas, tanto en cultivos bajos como en los de gran desarrollo foliar (en los pulverizadores hidroneumáticos, también conocidos como atomizadores), con presiones entre 5 y 15 bar.



- **Boquillas deflectoras, de choque, o de espejo:**

Proporcionan un perfil de distribución homogéneo y se pueden utilizar sin solapamiento para conseguir una distribución uniforme. Frente a la salida calibrada se presenta una superficie pulida e inclinada respecto a chorro (espejo) que provoca el estallido del mismo y su pulverización según un chorro plano de gran ángulo de abertura. Dan gotas gruesas de baja deriva y tradicionalmente se han venido aconsejando para tratamientos sobre suelo desnudo con abonos líquidos, o para herbicidas de acción sistémica en bajo volumen de agua. Con el mismo concepto de la pulverización por choque, recientemente han aparecido en el mercado unas boquillas de baja deriva, especialmente diseñadas para sustituir a las de abanico en la aplicación de todo tipo de herbicidas.

Las boquillas detectoras tienen una gran resistencia a la abrasión, pero es muy importante dejar de utilizarlas cuando se desgastan, ya que entonces la pulverización es mediocre y el reparto irregular. En las de diseño convencional, se trabaja generalmente a baja presión, pero los caudales nominales suelen ser altos, sólo se recomiendan para aplicaciones de herbicidas sistémicos (como el glifosato), en bajo volumen de agua, o bien abonos líquidos densos, ya que por la forma del orificio de salida permiten el paso de partículas gruesas.



- **De tres orificios, o chorros múltiples:**

Está constituida por una placa perforada con un orificio calibrado, sobre el que se coloca un cuerpo de plástico con tres o más perforaciones sobre una circunferencia que tiene su centro en línea con el orificio de la placa.

Salen tres chorros idénticos con una sucesión de gotas gruesas (0,5 a 2 mm) y cuyo impacto sobre el suelo produce una distribución aceptable para distribución de abonos líquidos. Las presiones de trabajo están entre 1 y 3 bar sin riesgo de obstrucción, incluso con productos densos. No son apropiadas para la aplicación de productos fitosanitarios

CAUDAL EN LAS BOQUILLAS

A las boquillas se aplica la fórmula general deducida para los orificios pequeños,

$$Q = C_d AV\sqrt{2gh}$$

PERFILES DE DISTRIBUCION

Las diferencias más significativas entre estos tipos de boquillas, desde el punto de vista de su utilización, son sus perfiles de distribución volumétrica.

Las boquillas de abanico plano dan generalmente un perfil de distribución trapezoidal o triangular; las cónicas (cono hueco) dan una distribución irregular, con un mínimo en la zona central y dos máximos en los extremos; las detectoras dan una distribución bastante uniforme en toda la anchura de esparcido, con una ligera disminución progresiva del centro hacia los

lados en algunas boquillas de diseño reciente.

Para el caso de las boquillas de abanico plano, realizando el conveniente solapamiento entre los chorros de las boquillas contiguas, se consigue una distribución muy uniforme. El solapamiento de los chorros de pulverización en las boquillas cónicas de chorro hueco, generalmente produce mayor irregularidad de la distribución.

Los ángulos de abertura mas utilizados en boquillas de abanico son las de 110 y 80° ; en las cónicas 65 y 85°, en las detectoras es frecuente que se superen los 140°.

Para el caso de las boquillas de abanico plano, realizando el conveniente solapamiento entre los chorros de las boquillas contiguas, se consigue una distribución muy uniforme. El solapamiento de los chorros de pulverización en las boquillas cónicas de chorro hueco, generalmente produce mayor irregularidad de la distribución.

La anchura teóricamente tratada (en cm) por una boquilla, en función del ángulo de pulverización mas frecuentes será la siguiente:

Ángulo abertura	Cobertura teórica en función de la altura de pulverización (cm)							
	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm
25	8.9	13.3	17.7	22.2	26.6	31.0	35.5	39.9
60	32.1	34.6	46.2	57.7	69.3	80.8	92.4	104
65	25.5	38.2	51.0	63.7	76.5	89.2	102	115
73	29.6	44.4	59.2	74.0	88.8	104	118	133
80	33.6	50.4	67.1	83.9	101	118	134	151
85	36.7	55.0	73.3	91.6	110	128	147	165
90	40.0	60.0	80.0	100	120	140	160	180
95	43.7	65.5	87.3	109	131	153	175	196
110	57.1	85.7	114	143	171	200	229	257
120	69.3	104	139	173	208	243		
140	110	165	220	275				

Por otra parte, se necesitaría un doble recubrimiento como mínimo para garantizar una distribución uniforme a pesar de las oscilaciones de las barras portaboquillas. También hay que tener en cuenta que a partir de una cierta distancia la energía de las gotas pulverizadas es insuficiente para alcanzar adecuadamente el objetivo. Sobre esta base puede construirse un gráfico que relacione las alturas limites en función del ángulo de abertura de las boquillas:

En consecuencia, el solapamiento recomendado estará en función del ángulo de abertura y del perfil de distribución de la boquilla. La mayoría de los fabricantes, para boquillas de abanico, situadas a 50 cm entre si, recomiendan una altura de trabajo entre 0.45 y 0.50 cm. El incremento de la presión de trabajo de la boquilla modifica el ángulo de abertura de la misma. A pesar de ello, por no tratarse de un aumento lineal con la presión, la abertura se puede considerar constante en el intervalo de presiones que se consideran normales para el trabajo.

ESPECTROS DE GOTAS

Además de por su perfil de distribución volumétrica, la boquilla se caracteriza por el espectro de gotas que proporciona. Este espectro se modifica con la presión de trabajo a la vez que lo hace el caudal -y la velocidad de salida del líquido pulverizado. Para cualquier boquilla, como ya se ha indicado, el caudal aumenta con el cuadrado de la presión, al igual que la velocidad de salida de las gotas, mientras que la dimensión media de las gotas formadas disminuyen con la raíz cuadrada de la presión.

Así, al pasar de 5 a 20 bar en una boquilla, el caudal aumenta de 2.2 a 4.4 L/min, la velocidad de salida de 20 a 40 m/s y la dimensión media de las gotas disminuye de 380 μ m a 240 μ m.

Esto no quiere decir que todas las gotas sean iguales; el 50% de las gotas pequeñas contienen

menos del 5% del líquido pulverizado y solo el 10% de las gotas mas grandes se llevan mas del 50% de la pulverización.

Utilizando como referencias la mediana volumétrica (VMD) y la mediana numérica (NMD), así como el grado de homogeneidad que define el "span" (VMD/NMD), caracterizando las poblaciones de gotas con analizadores de "no imagen" (tipo "Malvern"), como habitualmente hacen los fabricantes de boquillas, se pueden definir el comportamiento de las boquillas, completando esta información con el porcentaje de líquido que sale pulverizado en gotas de menos de 100 y de 200mm, que son las que quedan mas expuestas a la deriva.

Se consideran poblaciones de gotas:

muy gruesas: VMD > de 450 mm

gruesa: VMD comprendido entre 300 y 450 mm

medias: VMD comprendido entre 200 y 300 mm

finas: VMD comprendido entre 90 y 200 mm

muy finas: VMD < de 90 mm

Resumiendo, como valores orientativos, para el conjunto de boquillas existentes en el mercado, se pueden dar los siguientes valores medios (VMD) sobre la base de una boquilla de. 1 L/min trabajando a 3 bar de presión:

- Boquillas cónicas: 260 mm
- Boquillas de abanico (110°) 300 mm
- Boquillas de abanico (80°) 400 mm
- Boquillas detectoras: 650 mm

La dimensión del orificio de salida condiciona el tamaño de la población de gotas pulverizadas, de manera que entre una boquilla de hendidura con ángulo de 80°, de 1 L/min y otra del mismo tipo de 2 L/min, se pasa en VMD de 400 a 500 mm.

La relación con la homogeneidad, utilizando el cociente VMD/NMD, las diferencias entre los distintos tipos de boquilla son:

- De turbulencia: 1.8 a 5.0
- De abanico: 2.0 a 8.0
- Deflectoras: 1.0 a 3.0

A medida que se desea trabajar con menores volúmenes de caldo en pulverización hidráulica se debe ser mas exigente en la calidad de las boquillas, y especialmente en la homogeneidad del espectro de pulverización. A este respecto se exigen, para las boquillas de abanico de más alta calidad, que el coeficiente de homogeneidad se mantenga entre 1.5 y 2.5 para variaciones de presión entre 1 y 5 bar.

Esto permite de una manera general obtener, con presiones entre 1.5 y 2.5 bar una población de gotas mas gruesas "mojante", y, con presiones entre 2.5 y 5.0 bar, una población de gotas finas "cubriente".

En resumen, para presiones comprendidas entre 2 y 4 bar se producen la mayor cantidad de gotas en el intervalo de 200 a 300 mm, lo que resulta apropiado para aplicaciones sobre el suelo, o sobre cultivos con poco desarrollo foliar (cultivos bajos) de 150 a 300 L/ha.

También hay que indicar la influencia que tiene el ángulo de abertura del chorro en el porcentaje de gotas de escaso tamaño. Para las boquillas con ángulo de abertura de 80° el volumen de líquido pulverizado en gotas de menos de 100 y de 200 mm es muy inferior (menos de la tercera parte) que para abertura de 110°. La aparición de gotas de muy pequeño diámetro también se produce en las boquillas de bajo caudal.

En general, la baja uniformidad del espectro de gotas producido con la pulverización hidráulica, tiene consecuencias negativas para la eficacia de la pulverización.

Por ello, en toda la tecnología para el desarrollo de boquillas se busca un compromiso, de manera que se eviten las gotas mas pequeñas (menores de 100 mm) que se pierden por deriva, a la vez

que se reduce la heterogeneidad. Han sido con las boquillas de abanico plano con las que, por el momento, se han conseguido los mejores resultados, trabajando a presiones mínimas, aunque no es aconsejable bajar de 2 bar, las cuales, además, de evitar la atomización (producción de gota excesivamente fina), proporcionan energía apropiada para las gotas que llegan a la planta evitando su explosión en el impacto y su pérdida por escurrimiento.

Actualmente se comercializan boquillas conocidas como de "baja deriva", especialmente desarrolladas para las aplicaciones en bajo volumen, que obligan a utilizar boquillas de bajo caudal, las cuales, por el tipo de pulverización que producen, aumentan el riesgo de deriva. Esto se consigue montando un restrictor calibrado por delante de la salida en las boquillas de abanico, lo que aumenta el tamaño de las gotas pulverizadas con bajos caudales, a la vez que reduce su velocidad de salida.

Dado que la deriva está relacionada con la energía cinética de las gotas (dependiente del tamaño y de la velocidad de las gotas) y no solo del tamaño de las gotas, hay fabricantes que prefieren las boquillas "normales" y controlan la deriva, que podría producirse con bajos volúmenes, recurriendo a otros sistemas como los de "cortina de aire".

Puede decirse que:

- * Las boquillas de "baja deriva" permite obtener pequeños caudales con pulverización gruesa.
- * A caudales elevados las ventajas de las boquillas de "baja deriva frente" a las convencionales desaparece totalmente.
- * Una gota procedente de una boquilla de baja deriva es mas lenta que otra, del mismo tamaño, procedente de una boquilla normal.
- * La deriva es menor en la boquilla de "baja deriva" si el tipo de pulverización es mas grueso que el que se consigue con la boquilla "normal".
- * La deriva es menor en la boquilla "normal" si el caudal proporcionado es igual o superior al de la boquilla de "baja deriva".

En consecuencia, la elección de la boquilla mas apropiada para una determinada aplicación debe hacerse en función del volumen de caldo (L/ha) y de la cobertura necesaria, lo que condiciona el tamaño y el tipo de boquilla y la presión de trabajo. Es conveniente utilizar para ello las tablas que proporcionan los fabricantes de las boquillas, ya que si bien, en líneas generales, se cumplen las indicaciones expuestas con anterioridad, las técnicas de fabricación ofrecen particularidades que pueden ayudar a mejorar la eficacia de una aplicación determinada.

TAMAÑO DE LAS BOQUILLAS

El tamaño de la boquilla viene definido por el caudal que proporciona a la presión de referencia. Se encuentra en estudio una Norma Internacional para facilitar el acceso a los manuales de boquillas y su utilización en el medio agrícola sobre la base de unos códigos de color. En el citado documento se establece que las boquillas deben tener, cuando trabajan a 3 bar de presión, las siguientes colocaciones en función de su caudal nominal (se admiten desviaciones del $\pm 5\%$ respecto a los caudales nominales, pero se exige, en principio, que todas las boquillas de la "serie" estén en le rango del $\pm 5\%$ del caudal nominal):

Color	naranja	verde	amarillo	azul	rojo	marrón	gris	blanco
Caudal nominal	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2

Esto permite que se pueden considerar dentro de la misma categoría de color las boquillas que tengan un caudal nominal del $\pm 5\%$, por lo que, a partir de los caudales establecidos como referencia se establecerían los siguientes rangos:

Color	naranja	verde	amarillo	azul	rojo	marrón	gris	blanco
Caudal mínimo	0.38	0.57	0.76	1.14	1.52	1.90	2.28	3.04
Caudal máximo	0.42	0.63	0.84	1.26	1.68	2.10	2.52	3.36

Por el momento no todos los fabricante utilizan los colores normalizados, e incluso es frecuente encontrar fabricantes que caracterizan las boquillas utilizando 2 bar como presión de referencia, o que se ofrezcan boquillas con caudales nominales

superiores o inferiores a las gamas ofrecidas por el proyecto de norma ISO, por lo que es conveniente disponer de los catálogos comerciales de los fabricantes que ayuden en la selección del tipo de boquilla.,

Para seleccionar la boquilla que se necesita utilizando un catálogo de boquillas se debe buscar la que proporcione el caudal mas próximo al calculado para la presión a la que se va a trabajar. El caudal de salida por boquilla para conseguir un determinado volumen se calcula por la expresión

$$q = D \times v \times e / 600$$

Siendo: q caudal de salida, en L/min; D volumen de aplicación, en L/ha; v velocidad real de trabajo, en km/h; y e separación entre boquillas, en m

La separación entre boquillas para los equipos de barras de fabricación europea normalmente de 0.5 m. Si el tratamiento se realiza en bandas, el valor de la separación entre boquillas -e- debe sustituirse por la anchura de la banda que cada boquilla cubre.

Como norma general se recomienda que las velocidades de trabajo no superen los 10 - 12 km/h con campo libre, ni los 6 - 8 km/h para aplicaciones sobre cultivos en línea, para evitar la deriva producida por el viento que aparece como consecuencia del propio desplazamiento del vehículo, pero sobre todo por el efecto que pueden producir las vibraciones del vehículo en las barras portaboquillas.

Sobre esta base se pueden presentar una tabla que relacione los caudales nominales de las boquillas (según proyecto ISO) con las velocidades de trabajo y el volumen de aplicación para un espaciamento entre boquillas de 0.50 m:

Volúmenes de aplicación (L/ha) conseguidos con boquillas espaciada 0.50 m

Caudal boquilla [L/min]	Velocidad real de avance [km/h]									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0,40	120	96	80	69	60	53	48	44	40	
0,60	180	144	120	103	90	80	72	65	60	
0,80	240	192	160	137	120	107	96	87	80	
1,20	360	288	240	206	180	160	144	131	120	
1,60	480	384	320	274	240	213	192	175	160	
2,00	600	480	400	343	300	267	240	218	200	
2,40	720	576	480	411	360	320	288	262	240	
3,20	950	768	640	549	480	427	384	349	320	

ELECCIÓN DE LA BOQUILLA CORRECTA Y DE LA PRESIÓN DE TRABAJO

En relación con el tipo de boquilla hay que tomar como base lo que resulta mas apropiado para el producto que se va a utilizar. Como norma general, se recomiendan los tipos de boquillas que permitan obtener una cobertura superficial y un tamaño medio de las gotas como sigue:

Tipo de producto	Cobertura [gotas/cm ²]	Tamaño gota VMD [m m]
Herbicidas preemergencia postemergencia (contacto)	20 - 30 30 - 40	400 - 600 200 - 400
Insecticidas	20 - 30	200 - 350
Fungicidas	50 - 70	150 - 250

Como valores de referencia se recomienda, para la aplicación de herbicidas, utilizar boquillas de chorro plano a presiones entre 1.5 - 3.0 bar (en casos especiales se puede admitir presiones hasta de 5.0 bar), o boquillas detectoras (espejo) para la aplicación de herbicidas sistémicos de acción total en bajo volumen (50 a 1 00 L/ha). La aparición en el mercado de boquillas detectoras (de baja deriva) diseñadas de manera que pueden sustituir a las boquillas de chorro plano clásico, amplía el campo de utilización de las boquillas detectoras.

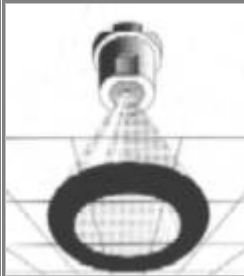
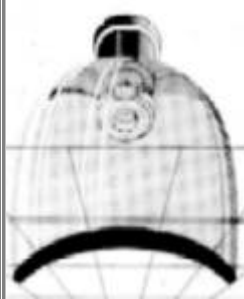
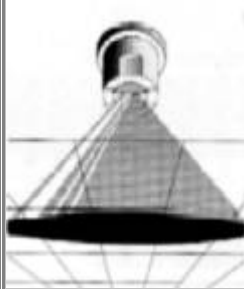
Para aplicaciones insecticidas y fungicidas se recomienda el empleo de boquillas de hendidura trabajando a presiones entre 3.0 y 5,0 bar (en algunos casos se puede reducir la presión hasta 1.5 bar) y boquillas de chorro cónico trabajando a presiones

entre 3.0 y 5.0 bar.









Cuando se trabaja con presiones mas altas aumenta considerablemente el número de gotas de pequeño diámetro y el riesgo de pérdidas por deriva. Para las boquillas de chorro cónico cuando se superan los 10 bar las gotas se frenan en la salida, por lo que no se producen incrementos en su velocidad inicial y por tanto en su energía cinética.





La velocidad del viento atmosférico puede dificultar que el tratamiento sea correcto, perdiéndose por deriva una buena parte del producto. Para evitarlo se recomienda utilizar boquillas adecuadas que consigan una pulverización fina para el caso de viento en calma o brisa muy ligera, o pulverización gruesa cuando se superen los 5 a 6 m/s de velocidad del viento. Si el viento supera los 7 m/s se debe evitar la aplicación. En condiciones normales, con velocidades de viento entre 1.5 y 5 m/s, la pulverización de finura media, con los tamaños de gota anteriormente señalados, es la que proporciona los mejores resultados.

Las boquillas que se utilizan en los pulverizadores hidroneumáticos deben de producir una pulverización adaptada a la corriente de aire que impulsa el ventilador, ya que la gota debe de integrarse en la corriente de aire de manera homogénea y depositarse a medida que ésta reduce su velocidad, en función de su alejamiento y del efecto pantalla de la vegetación. Parece conveniente producir un espectro de gotas no demasiado homogéneo, de manera que estas se depositen progresivamente a medida que se reduzca la velocidad de la corriente de aire que las transporta.

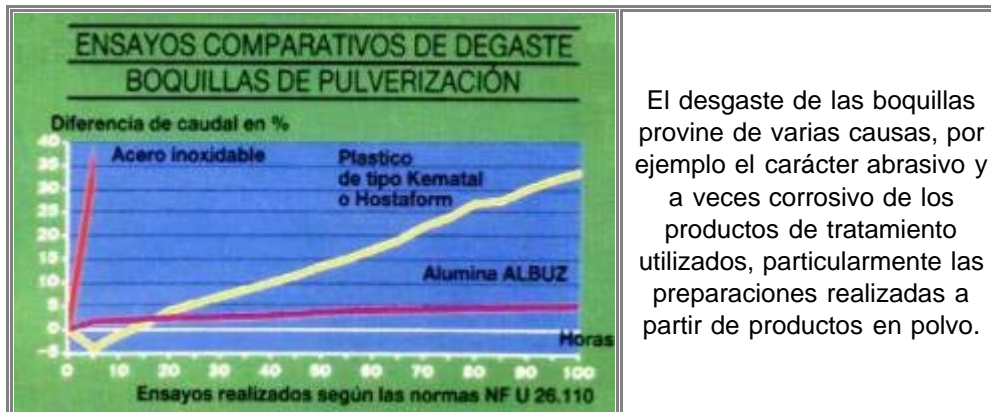
	Tipo Boquilla	Modelo	Material	Tipo de gota (micras)	Presión ideal	Trabajo
	Cono Hueco	ATR AMTP AMT	Cerámica Cerámica Cerámica	100 a 150	2 - 20 bar 70 - 87 psi	Fungicidas Viticultura, arboricultura y hortalizas, cultivos extensivos.
	Espejo	APM	Cerámica	400 a 500	1 - 3 bar 15 - 43 psi	Insecticidas Aplicados al suelo, cultivos extensivos.
	Abanico	AXI AVI Turbo-Drop	Cerámica Cerámica Cerámica	200 a 1000	1 - 5 bar 4.5 - 70 psi	Herbicidas pre-post germinación viticultura, arboricultura, hortalizas y cultivos extensivos.

BOQUILLAS CERÁMICAS

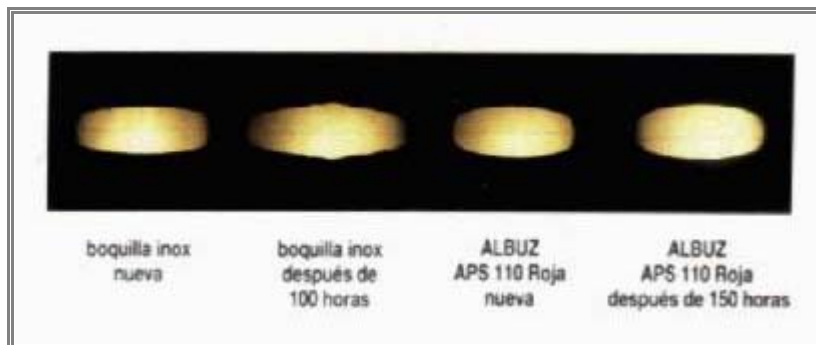
AXI	APM	AVI	ATR
			
Boquilla Abanico	Boquilla Espejo	Boquilla Antideriva	Boquilla Turbulencia
			

			
80° - 100°	120° - 60°	80° - 110°	80°
Tabla de gasto	Tabla de gasto	Tabla de gasto	Tabla de gasto

VENTAJAS DE LAS BOQUILLAS CERAMICAS



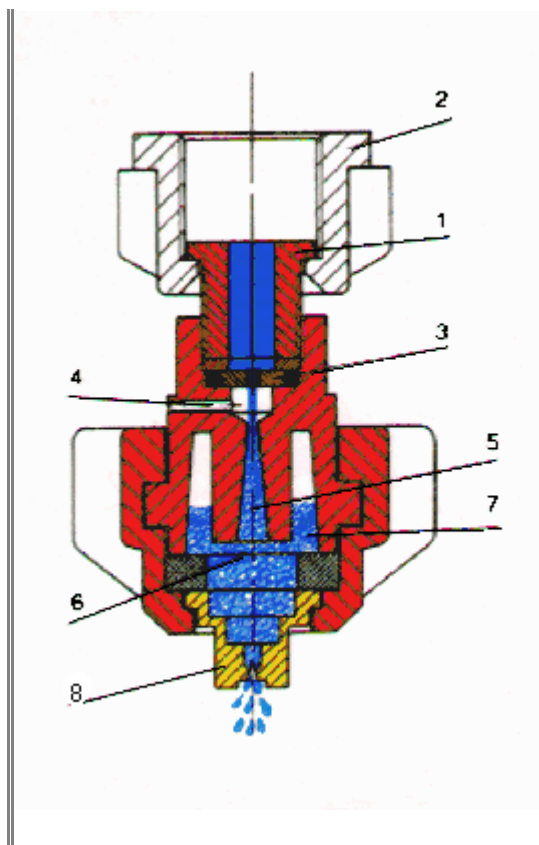
Estos productos alteran el orificio de la boquilla aumentando su diámetro de salida, por lo tanto deteriorando su ángulo, caudal, y reparto. En la siguiente fotografía se muestran los más recientes ensayos realizados por ALBUZ en donde se aprecian importantes disparidades según los ángulos.



Es así como el acero inoxidable se gasta más rápido que las resinas de síntesis (polyacetal, kematal, pvc). Pero solamente las boquillas ALBUZ en alúmina rosa fritada ofrecen una resistencia incomparable, garantizando una perfecta fiabilidad en la utilización, lo cual se traduce en aplicaciones perfectas, seguras y más económicas.

BOQUILLAS ANTIDERIVA TURBO-DROP

En el lugar de la tuerca estándar (1 y 2), se incorpora el sistema TurboDrop. Un disco de calibración en cerámica alúmina (3) controla el caudal de líquido a pulverizar. Este disco de control de caudal proyecta un chorro redondo en el inyector y arrastra el aire a través del orificio de aspiración (4). En la cámara (5) se mezcla finalmente el aire con el líquido de aspersión. Las turbulencias resultantes de este proceso son reducidas dentro de la zona de estabilización (6), y las pulsaciones de inyección son compensadas por la cámara de aire (7) de forma anular. Esto forma una mezcla homogénea aire-líquido, la que posteriormente es distribuida a través del orificio de la boquilla (8) abanico, cono hueco. Por lo tanto las gotas finas que se producen con una boquilla convencional son eliminadas completamente y reemplazadas por burbujas de agua aire,



en conclusión el volumen de la gota será mayor lo cual impide que existan gotas pequeñas que puedan ser arrastradas por el viento.

VENTAJAS DE LA BOQUILLA TURBO-DROP

Control de Caudal: El caudal es exclusivamente controlado por la presión de operación sobre la pastilla calibradora. El calibre de la boquilla de salida no tiene influencia sobre el caudal, modifica únicamente el tamaño de las gotitas. El tamaño de las gotitas cargadas de aire puede estar adaptado con precisión a cada aplicación y a cada ambiente (viento). El mejoramiento del tamaño de las gotitas es un medio eficaz para la lucha contra la deriva y para la precisión de pulverización.

Velocidad y Penetración: La mezcla de aire y líquido está comprimida antes de la boquilla de salida, al salir de la boquilla, el aire contenido en el líquido se dilata y aumenta la velocidad de las partículas. La alta velocidad de las gotitas aumenta la energía de las partículas y mejora la penetración.

Menor volumen de agua: A través del aire mezclado con el líquido, el tamaño de cada gotita es multiplicado por dos y permite reducir considerablemente el caudal pulverizado.

Mejor cobertura: Las gotitas cargadas de aire, parecidas a la espuma, aseguran una mejor y más grande cobertura de la superficie a tratar.

Mayor rango de presión posible: Las boquillas TurboDrop son fabricadas para trabajar con presiones de trabajo de 2 hasta 20 bar o kg/cm² sin problemas de deriva o grandes desgastes.

Alta resistencia al desgaste: El disco de control de caudal es fabricado en cerámica en alúmina altamente resistente al desgaste.

BOQUILLAS POLYACETAL



Las boquillas en polyacetal o kematal son una alternativa de alta eficiencia debido a sus excelentes características.

Alta resistencia a la abrasión (desgaste por el roce).

Resistencia a los productos químicos.

Bajo costo de reposición.

BOQUILLAS PARA SERVICIO AEREO

Las Boquillas aéreas eliminan la necesidad de las puntas de Fumigación y están diseñadas específicamente para aplicaciones aéreas. Tienen cuatro orificios y tres planos deflectores, que permiten al piloto marcar la capacidad de flujo deseada y el espectro de gotas sin cambiar de punta.

Las boquillas de corriente recta están diseñadas para una alta velocidad de vuelo o cuando las regulaciones locales prohíben cualquier clase de deflexión. En la mayoría de los casos todo lo que requiere para detener el goteo o limpiar las boquillas obstruidas es halar un vástago y ya.

PRODUCTO	No. de PARTE	DESCRIPCION
	CP-01-2	Boquilla de Servicio Aéreo, Deflectora de 2 Vías en Acero Inoxidable
	CP-01-3	Boquilla de Servicio Aéreo, Deflectora de 3 Vías en Acero Inoxidable
	CP-03	Boquilla de Servicio Aéreo de Polietileno
NO PICTURE AVAILABLE	CP-07-3	Boquilla de Servicio Aéreo de Corriente Recta con Deflexión de 5° y 30° en Acero Inoxidable
	CP-09-3E	Boquilla de Corriente Recta de Polietileno de Servicio Aéreo con Selector/Deflector en Acero Inoxidable con Deflexión de 5° y 30°
	CP-09-3P	Boquilla de Corriente Recta de Polietileno de Servicio Aéreo con Selector en Acero Inoxidable y Deflector en Polietileno con Deflexión de 5° y 30°

BOQUILLAS DE ORIFICIO VARIABLE PARA APLICACIONES TERRESTRES

Las Boquillas de Flotador : están disponibles en dos tamaños - de bajo volumen con 8 orificios, de 2.5 hasta 30, y de volumen regular con 8 orificios, de 5 hasta 60. Los orificios de la Boquilla son equivalentes a las boquillas de riego.



Las Boquillas de Turbo: para los flotadores y fumigadores generan gotas de gran tamaño consistentes con pequeñas partículas que se desplazan a través de una amplia capacidad de presiones. Estas boquillas tienen 8 orificios cada una en ambas versiones tanto bajo volumen como volumen regular para flotadores y con 6 orificios para los fumigadores. Las tres boquillas del deflector en acero inoxidable cada una se tiene 2 o 3 orificios. Los "Turbo" están disponibles también así como el Flotador Combo en ambas versiones del volumen (bajo y regular).



Combinación: incluyen válvulas de retención para la operación libre fugas. La combinación puede incorporar la boquilla seleccionable estándar, la boquilla de turbo o el Carrusel Flat Fan. Extraiga el vástago para lavar los desperdicios. La boquilla de combinación de bajo volumen viene con una malla de filtro removible.



Los Carruseles "Flat Fan" :son boquillas seleccionables con 6 Boquillas "Flat Fan" más un ajuste para el cierre. Para cambiar las capacidades de flujo, se gira el cuadrante a la boquilla necesaria. Las boquillas "Flat Fan" están especialmente diseñadas para acomodarse al Carrusel. Son fabricadas por Delavan®, ambas boquillas convencionales con núcleos de capacidad extendida y las puntas de las boquillas Raindron Ultra® de Delavan® están disponibles para el carrusel. Los cuerpos del carrusel vienen en 3 estilos – de rápida desconexión, con leva de seguridad y rosca de ¼". Los tamaños de las boquillas incluyen 80-1.5R, 80-2R, 80-3R, 80-4R, 80-5R, 80-6R, 80-8R (para las boquillas estándar) y para (las boquillas Raindrop Ultra®) 100-1.5, 110-2, 110-3, 110-4, 110-5, 110-6, 110-8. Todas son en colores ISO estándar.

EL DESGASTE DE LAS BOQUILLAS

Las boquillas se desgastan con el uso, aumentando el caudal que proporcionan para la misma presión y mortificándose el espectro de gotas producidas, por lo que se deben cambiar cuando esto suceda.

El desgaste depende del tipo de producto y de las condiciones en que se realiza la aplicación interviniendo en el mismo tanto la abrasión que producen los materiales que atraviesan la boquilla como los fenómenos electrolíticos consecuencia de la pulverización y también de la presión de trabajo.

Cuando se realizan ensayos acelerados utilizando materiales abrasivos como el corindón o el oxiclورو de cobre, las diferencias que aparecen según los materiales de que está construida la boquilla son bastante significativas.

A este respecto puede presentarse los resultados de unos ensayos realizados por Shell sobre boquillas de abanico de 110°:

Material	Caudal inicial	Caudal después de 40 horas	Variación
	[L/min]	[L/min]	[%]
latón	0.85	1.60	+ 88.2
kematal	0.84	1.20	+ 42.9
acero	0.90	1.10	+ 22.2
polipropileno	0.64	0.77	+ 20.3
acero templado	0.61	1.07	+ 17.6
aluminio	1.66	1.70	+ 2.4

En cualquier caso las boquillas de material cerámico (óxido de aluminio) son las mas resistentes, seguidas de las de material sintético de calidad, en las que en los comienzos de la prueba no solo no hay un aumento del caudal de salida, sino que se produce una reducción de mismo siguiendo posteriormente un desgaste mas rápido que el de las boquillas de cerámica. Las boquillas de metal y las de acero no templado sufren desgaste, para las mismas condiciones, mucho mas intensos.

Por todo ello no se debe admitir el empleo de boquillas sin "marca" y de materiales que sufren un desgaste rápido, como el

latón; se recomiendan las de material cerámico, plásticos endurecidos y acero templado, mas aún cuando se utilizan agroquímicos abrasivos, o se trabaja con muy altas presiones. Para evitar los efectos negativos que se producen al pulverizar con boquillas desgastadas es necesaria una verificación periódica de su estado (al menos cada 100 ha de cultivo tratado) y la sustitución en el momento en que el desgaste pueda afectar a la calidad de la pulverización.

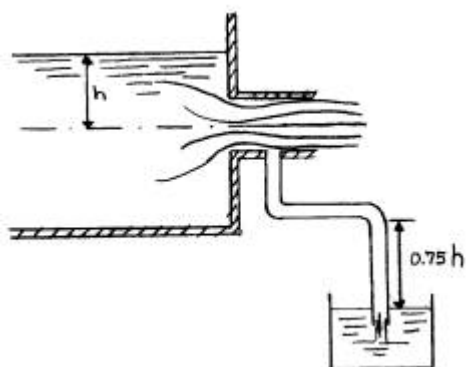
En las boquillas desgastada se produce un aumento del caudal concentrándose el chorro en el centro de la boquilla. En las boquillas con daños se produce un perfil de distribución irregular.

Un aumento del caudal del líquido pulverizado por la boquilla entre el 10 y el 15% (según la volumen que se utilice) es señal suficiente para su sustitución. En boquillas nuevas no se debe admitir una dispersión de caudal en el lote que alcance el $\pm 5\%$ para la presión nominal.

EXPERIENCIA DE VENTURI

Parece paradójico el hecho de que el caudal se eleve con la adición de una boquilla, pues con la misma se crean nuevos puntos para pérdida de carga. La explicación fue dada por Venturi en un célebre experimento.

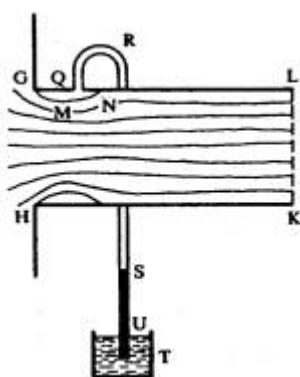
La presión media existente en la corona de depresión que envuelve la vena líquida dentro de la boquilla es menor que la presión atmosférica. Esto fue verificado por Venturi, quien introdujo en esa región, un tubo de vidrio, conforme muestra la Figura. Se observa que el valor $0,75 h$ tiene un límite teórico de 1 atmósfera (10 m H₂O).



En estas condiciones, la descarga que en un orificio se daría contra la presión atmosférica, con la adición de una boquilla contra una presión menor, se eleva el caudal. La existencia de la boquilla permite la formación y mantenimiento de la corona de depresión.

Venturi, abierto siempre a los problemas técnicos, se orientó hacia el estudio experimental de esto, e instaló en el "teatro físico" de una universidad un dispositivo para el estudio de los chorros, muy parecido al de Poleni y ejecutó en él experiencias, con la puerta de la sala abierta a todo público interesado o curioso. La maniobra se realizó con toda precisión con el auxilio de tres operadores: el primero contó en voz alta los segundos del péndulo, otro abrió el orificio en el instante de los 60 segundos, y el tercero se dedicó a regular la salida de agua del tanque superior, controlando que la ventana del intermedio dejara salir constantemente una lámina de agua muy delgada. El ensayo se repitió muchas veces seguidas hasta que la concordancia de los resultados eliminara todo temor de equivocación. Sin embargo, Venturi no se contentó con repetir los ensayos de Poleni, sino que perfeccionó detalles y concibió nuevas aplicaciones.

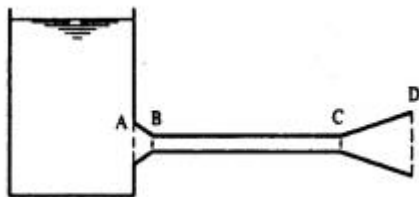
Por ejemplo; como se muestra en la figura:



Se sabía que la contracción del chorro se produce también cuando al orificio GH se le aplica un tubo adicional cilíndrico GK. No se disponía entonces, como hoy disponemos, de conductos transparentes de grandes dimensiones; ¿cómo pues comprobar su presencia y medir la depresión que nace en su interior? Al tubo adicional, Venturi le agrega una cánula de vidrio QRS, quedando su entrada Q dentro de la zona GMNQ donde la corriente se separa de la pared. La cánula, que termina con

su extremo inferior sumergido en el agua coloreada contenida en el vaso T, funciona como barómetro, equilibrando la presión atmosférica con la interior, que se puede así determinar con base en la altura de la columna US.

Otra investigación interesante es que se dedica a mejorar la forma del tubo adicional con el fin de conseguir que el gasto que, bajo una carga dada, puede sacarse del orificio, sea el más grande posible. Venturi descubre que, si al orificio se le aplica un tramo cónico AB convergente:



a fin de seguir la forma de la vena contraída, el gasto aumenta de 10 a 12.1; si además en el extremo C del tubo cilíndrico BC, de diámetro igual al de la contracción, se adapta un tramo cónico divergente CD, el gasto crece todavía de 12.1 a 24. Así, utilizando los dos aditamentos, se logra incrementar el gasto de 10 a 24, o sea, el 140 por ciento. ¡Con razón —comenta Venturi— en la antigua Roma, donde los particulares más adinerados podían adquirir el derecho de derivar a sus casas aguas provenientes de los depósitos públicos, no se les permitía ensanchar su cañería a un diámetro mayor de aquél que se había concedido para el orificio de toma! Realmente la cláusula prohibía que la expansión se efectuara a una distancia menor de 50 pies desde la toma; y el legislador —agrega Venturi— "no se había dado cuenta de que era posible estafar la ley de todos modos, aplicando el aditamento CD más allá de los 50 pies".

Para mayores informes sobre boquillas, su mantenimiento, precios u otros, consultar en:

<http://www.impac.cl/> , <http://www.spray.com/> , <http://www.terralia.com/revista3/pagina14.htm> , <http://www.nordair.es/boquillas.html> ,

<http://www.spray-cas.com/prod2.html> , <http://www.plastunivers.es/emitec/pc/guies/GR4/epr41218.htm>

<http://www.nordair.es/boquillas.html> , <http://www.spray-cas.com/prod2.html>

Referencias

AZEVEDO Netto, J.M. de y ACOSTA Álvarez, Guillermo. Manual de Hidráulica. Sexta edición. 1975. Editorial TEC-CIEN.