

5 PULVERIZACIÓN

5.1 TEORÍA

El instrumento utilizado para la atomización de líquido, desintegración del líquido en gotas, se denomina atomizador. Puede ser un instrumento independiente o formar parte de otro, como por ejemplo un inyector de motor diésel, un quemador, etc.

La atomización de un líquido se puede generar de otras formas, por ejemplo en el carburador de un motor o en la sección de baja presión de una turbina, se forman pequeñas gotas debido a la evaporación o condensación.

La clasificación de atomizadores se hace basa en el tipo de energía empleada. Las fuentes de energía son diversas. Los atomizadores a los que se hace referencia como varios tienen diversos principios de operación. En la Tabla 5.1 se muestra dicha clasificación.

Tabla 5.1. Clasificación de atomizadores según el tipo de energía empleado.

Tipo de energía	Tipo de atomizador	
Energía del líquido	Atomizadores de chorro(jet atomizers)	
	continuos	Intermitentes
	Atomizadores de remolino(swirl atomizers) (Jet-swirl atomizers)	
Energía del gas	Atomizadores neumáticos	
Energía mecánica	Atomizadores rotativos	
Energía eléctrica,	Varios atomizadores: acústicos, ultrasónicos, electrostáticos, etc.	

Los atomizadores a los que se hace referencia como varios tienen diversos principios de operación.

El proceso de atomización depende del tipo de fluido, el diámetro del orificio de descarga, la velocidad de descarga y condiciones de operación.

De todas las propiedades de los fluidos, sólo tres tienen influencia en el proceso de pulverización: densidad, viscosidad y tensión superficial.

Para los líquidos en general, de la influencia de las tres variables en el tamaño de gota se puede decir:

- Líquidos con una densidad mayor tienen una energía cinética mayor y consecuentemente se forman gotas más pequeñas.
- Líquidos con viscosidad mayor generan gotas más grandes.
- Líquidos con tensión superficial mayor se desintegran en gotas de mayor diámetro.

La densidad, al ser fluidos no compresibles, no varía mucho con la presión. Para líquidos con densidades muy distintas se puede observar que la desintegración se produce de forma muy diferente.

En el caso de la viscosidad, cuando su módulo es bajo la influencia es insignificante, pero no ocurre igual cuando el fluido es muy viscoso.

La tensión superficial ayuda a la desintegración del chorro en gotas, aunque no sean de pequeño tamaño.

La energía suministrada al atomizador está dada por la ecuación siguiente:

$$E = E_A + E_K + E_L$$

Donde:

E_A = energía empleada para vencer la resistencia de las fuerzas de tensión superficial

E_K = energía para poner al líquido en movimiento (trasnacional y rotacional)

E_L = energía empleada para vencer las fuerzas de fricción en el atomizador

La eficiencia de atomización se define como la relación entre la energía empleada para vencer la resistencia de las fuerzas de tensión superficial y la energía total aplicada. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{E_A}{E}$$

Para los atomizadores tradicionales tiene un valor muy bajo, en torno al 0,1 %. Depende principalmente del tipo de atomizador y de las propiedades físicas del fluido. En la siguiente tabla se muestra la cantidad de energía necesaria para atomizar un kg de fluido según el tipo de atomizador.

Tipo de atomizador	Energía (W/kg)
Atomizador de chorro	2-4
Atomizador de remolino	2-4
Atomizador neumático	50-60
Atomizador rotativo	15

Por último se incluye un modelo desarrollado para estimar el tamaño de gota en un atomizador neumático:

$$d_{50} = 0,7 \cdot \left(\frac{D^2 \cdot \sigma^3}{\Delta P_g^3} \right)^{1/5} \cdot \exp \left[6 \left(\frac{\rho \cdot Q^2}{D^4 \cdot \Delta P_g} \right)^{0,3} \right]$$

Donde:

d_{50} : diámetro medio

D : diámetro del orificio

σ : tensión superficial

ρ : densidad del líquido

ΔP_g : caída de presión en el gas

Q : caudal de líquido

Al interpretar la ecuación se concluye que:

- Al aumentar el caudal de líquido, aumenta el tamaño de gota.
- Al ser mayor la caída de presión en el gas, se forman gotas más pequeñas.
- Existe un diámetro de orificio óptimo para el cual el tamaño de gota aumenta ligeramente.

5.2 EQUIPOS

El problema del diseño de atomizadores radica en que el diseño es muy diverso.

El empleo de atomizadores requiere bastante instrumentación auxiliar: bombas, compresores, instalación de suministro de gas para atomizadores neumáticos, válvulas, instrumentación (medidores de caudal, medidores de presión), filtros, etc.

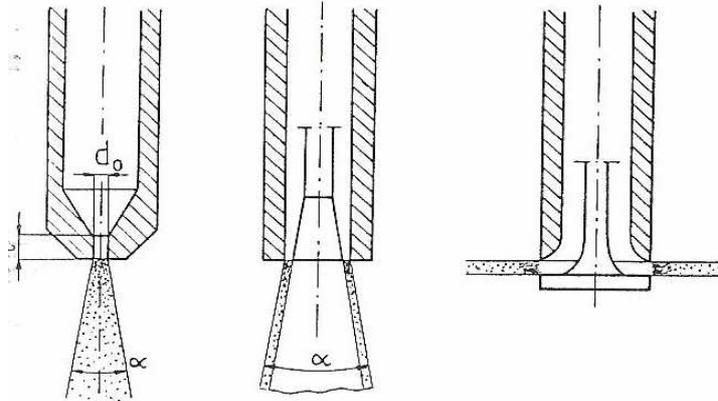
En este apartado se incluyen los tipos de atomizadores más comunes.

5.2.1 Jet atomizers (atomizador de chorro)

Jet atomizers con operación continua: este es el tipo de atomizador más simple. Dentro de este tipo se pueden distinguir:

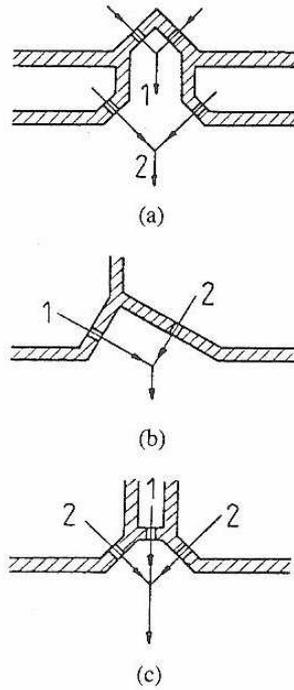
- Simple atomizers: en la figura 5.1 se muestran diferentes atomizadores de este tipo.

Figura 5.1. Atomizador de chorro simple



- Group atomizers.
- Atomizers with impinging jets: hay distintas configuraciones, como se puede ver en la figura 5.2.

Figura 5.2.



- Blast atomizers: los dos tipos se ven en las figuras 5.3 y 5.4, respectivamente.

Figura 5.3. Atomizadores con distintos tipos de deflectores

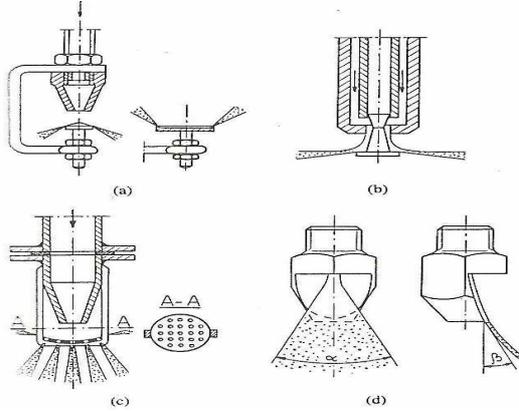
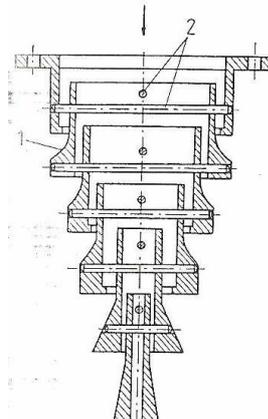
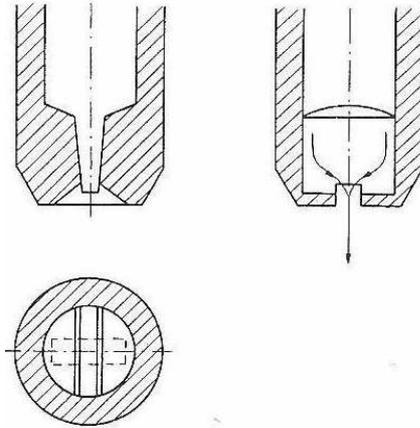


Figura 5.4. Atomizador de cascada



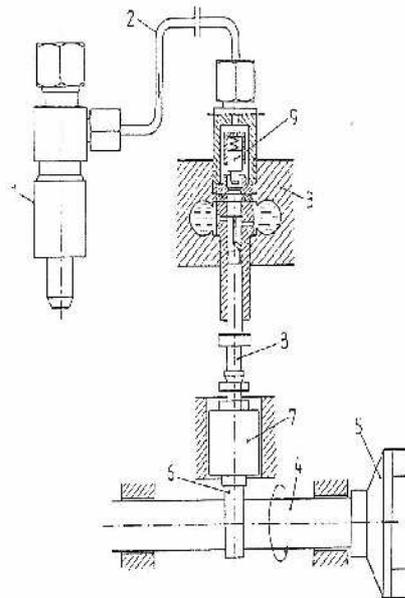
- Fan atomizers: se muestra en la figura 5.5.

Figura 5.5. Esquema de un atomizador



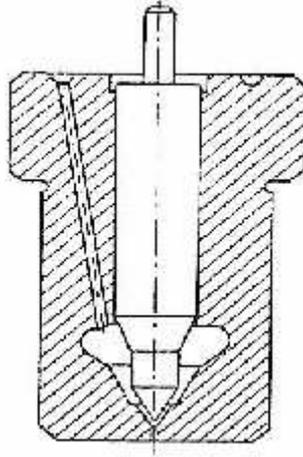
Jet atomizers con operación discontinua: se emplean en motores de pistón. Funcionan de la siguiente manera: un disco de leva actúa, a través de un seguidor, sobre el pistón de la bomba y produce la compresión del líquido. Una vez que se alcanza una presión de decenas de MPa, la válvula se abre y el combustible fluye hacia el inyector. La presión hace que se levante la aguja del inyector. La presión necesaria para la apertura está en el rango de 12 a 22 MPa. El bombeo de combustible dura hasta que se alcanza el orificio de desbordamiento, entonces la presión cae y la válvula se cierra bruscamente. Se clasifican en:

Figura 5.6. sistema de inyección del pistón de un motor



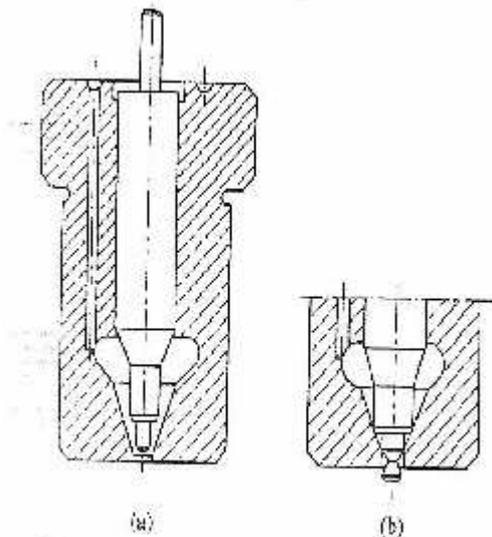
- Single-orifice nozzles. Ver figura 5.7.

Figura 5.7. Atomizador de un orificio



- Multiorifice nozzles: igual diseño que el anterior, pero con más orificios de salida,.
- Cylindrical pintle nozzles: producen un spray con gran penetración y pequeño ángulo., similar a los de un orificio (single- orifice nozzles).
- Conical pintle nozzles: tienen mayor ángulo y menor penetración que el spray generado por el anterior tipo. En la figura 5.8 se presentan ambos tipos.

Figura 5.8. Atomizadores cilíndrico y cónico



- Flat seat nozzles: en este caso el chorro se descarga en forma de una nube de gotas.

5.2.2 Swirl atomizers(atomizador de remolino)

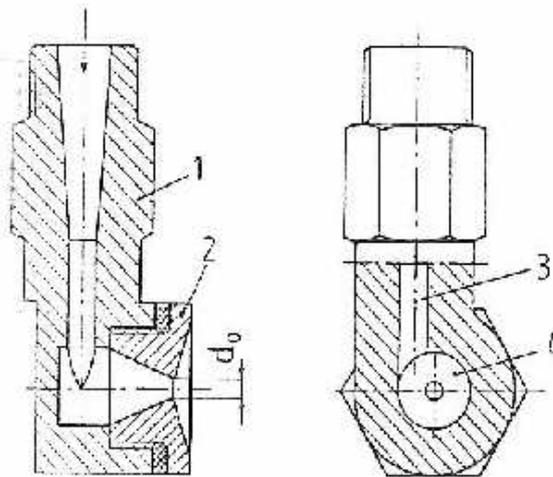
Es uno de los atomizadores más usados porque tiene grandes ventajas comparado con otros tipos, son las siguientes:

- Diseño sencillo
- Alta fiabilidad
- Buena calidad de atomización
- Requiere poca energía

Simplex atomizers: se dividen en dos grupos: atomizadores angulares y axiales, la división se deriva del hecho de que en el primer caso, hay un ángulo recto entre la dirección del suministro líquido y la descarga líquida, y en el segundo caso, la entrada y la salida coinciden con el eje del atomizador. También se pueden dividir en atomizadores con orificios de entrada tangencial y atomizadores con entrada en remolino. En los primeros el fluido entra con una componente de velocidad, mientras en el segundo caso, tiene dos o tres componentes de velocidad.

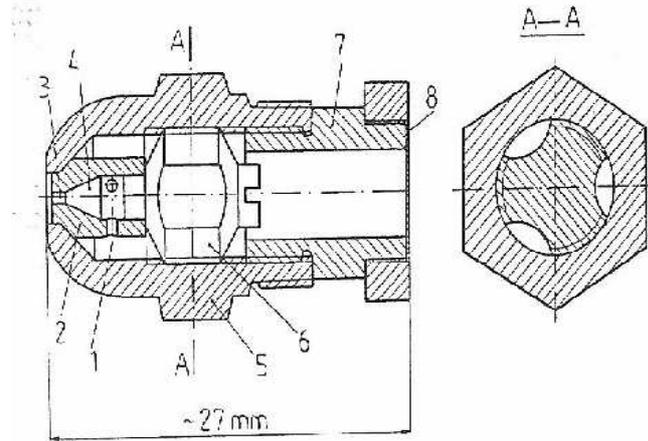
- Angular atomizers: se ve en la figura 5.9.

Figura 5.9. Atomizador angular



- Axial atomizers: en la figura 5.10 se muestra un atomizador de este tipo.

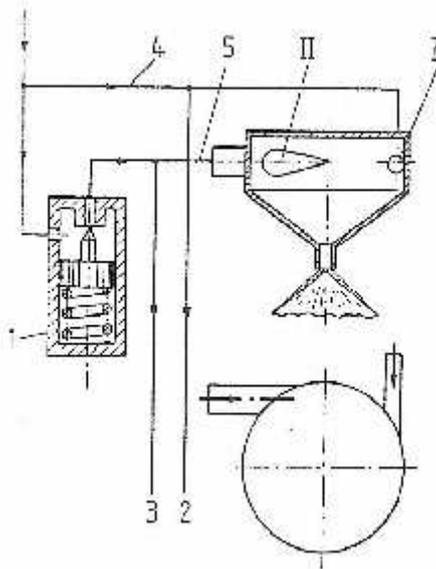
Figura 5.10. Atomizador axial



Duplex atomizers: estos atomizadores amplían el rango de flujo. Se emplean en turbinas de aviones. Se dividen en:

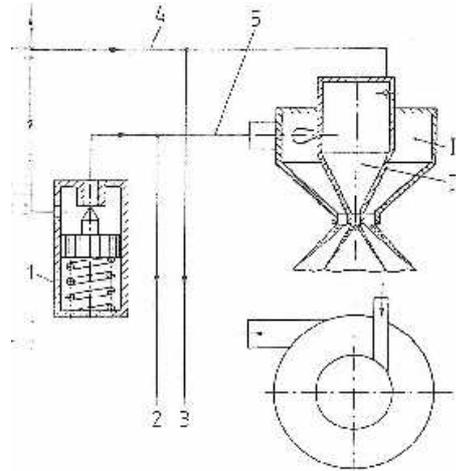
- Two manifold duplex atomizers: se puede ver un esquema en la figura 5.11.

Figura 5.11.



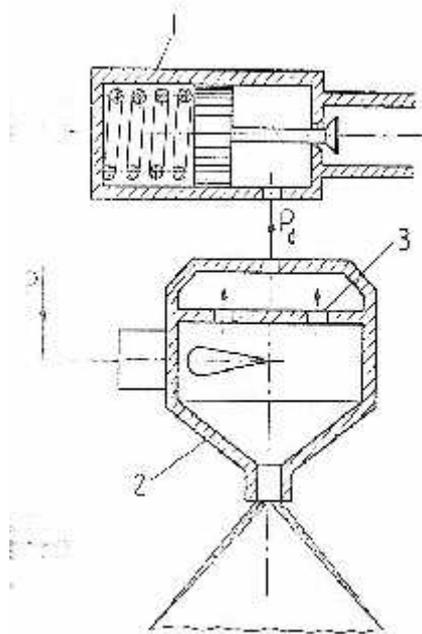
- Two orifices atomizers: consiste en dos simplex atomizers conectados en paralelo. Se puede observar en la figura 5.12.

Figura 5.12. Atomizador de dos orificios



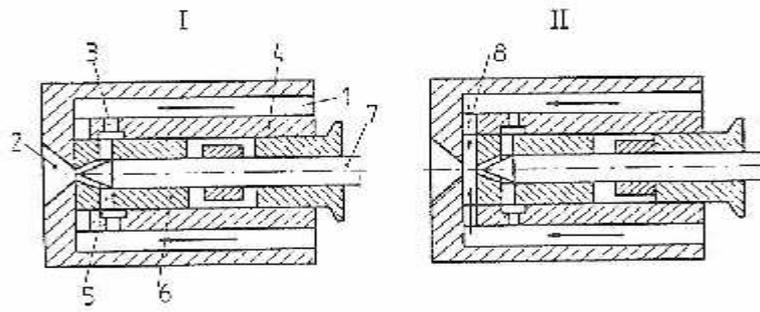
Spill-return atomizers: es un simplex swirl atomizer que sólo atomiza una parte del líquido que se suministra. Ver Figura 5.13.

Figura 5.13.



Variable geometry atomizers: su funcionamiento está basado en el hecho de que los orificios tangenciales son bloqueados o abiertos por una aguja, que se mueve axialmente en la cámara de remolino. El área de los orificios cambia al moverse la aguja. El movimiento de la misma está provocado por la presión del combustible. En la Figura 5.14 se muestra un esquema.

Figura 5.14. Atomizador con área de entrada de aire regulada



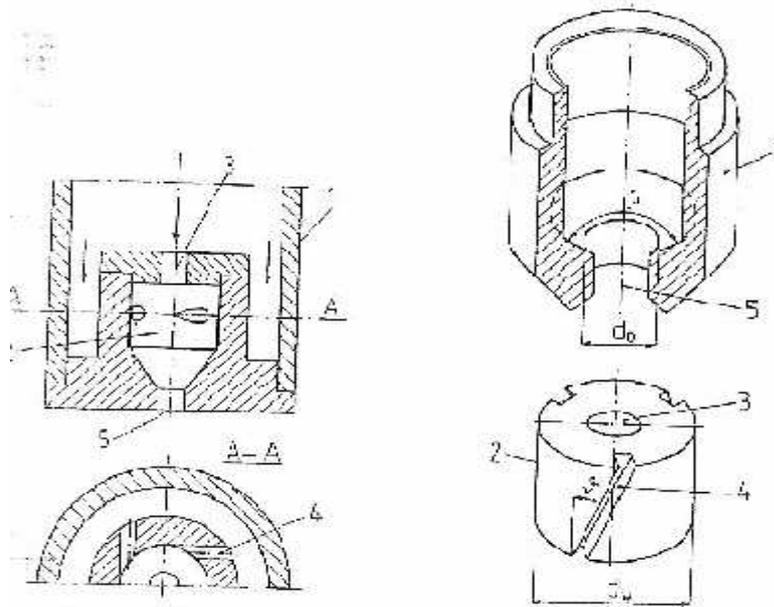
5.2.3 Jet-swirl atomizers

Es una combinación del atomizador de chorro y el de remolino. El chorro fluye con vórtice libre en el eje del atomizador y el chorro de remolino fluye cerca de la pared de la cámara. Los dos interactúan dentro de dicha cámara y al salir por los orificios, se produce la rotura en gotas. Si se elige correctamente la proporción de los orificios, el chorro de líquido tiene una distribución radial. Hay alrededor de 30 diseños para este tipo de atomizador.

- Atomizers with tangential inlet orifices.
- Atomizers with a swirling insert.

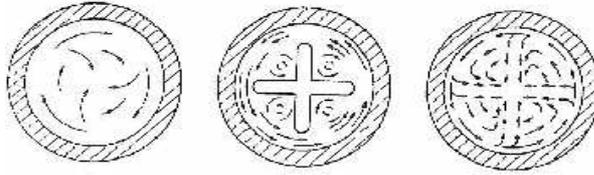
En la Figura 5.15 se pueden ver estos dos tipos de atomizadores.

Figura 5.15.



- Atomizers with special structural components. En la figura 5.16 se pueden ver.

Figura 5.16. movimientos del fluido en un atomizador

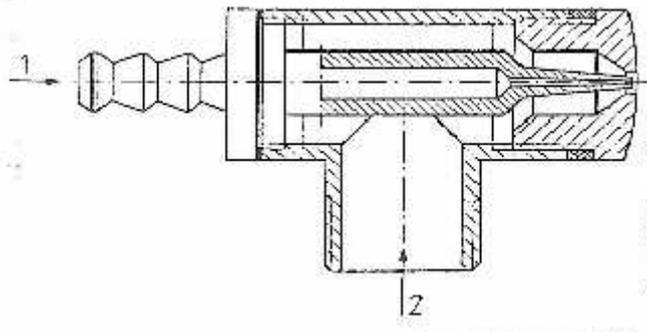


5.2.4 Pneumatic (twin fluids) atomizers (atomizador neumático, de dos fluidos)

Este es un tipo de atomizador en el que la energía de un gas, la mayoría de los casos aire o vapor, es usada para la desintegración del líquido.

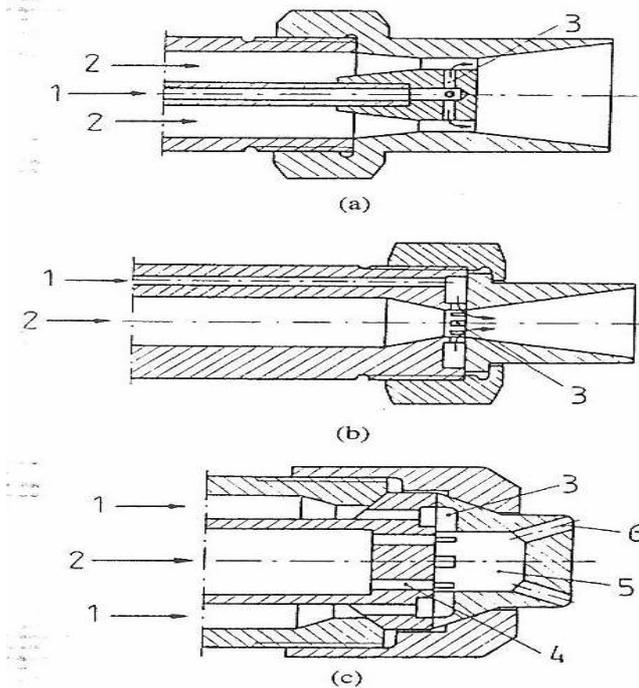
Parallel flow atomizers: en este caso el líquido y el gas tienen la misma dirección en el momento en el que se produce el contacto entre ambos. Grandes fuerzas transversales se desarrollan a lo largo de la superficie de contacto y causan la desintegración del chorro de líquido. La Figura 5.17 representa un esquema.

Figura 5.17. Atomizador neumático de flujo paralelo



Cross-flow atomizers: el principio básico de funcionamiento está basado en la formación de un chorro de líquido que se introduce en la corriente de gas. Se puede introducir con varios ángulos, comúnmente a 90° . Cuanto más fino es el chorro, mejor es la atomización. A continuación se exponen tres tipos, en la Figura 5.18.

Figura 5.18. Atomizadores neumáticos de flujo cruzado



Swirl-flow atomizers: al introducir una lámina fina o un chorro fino de líquido en una corriente de gas turbulento se produce una atomización de gran calidad. La interacción entre el líquido y el gas puede tener lugar dentro o fuera del atomizador.

5.2.5 Rotatory atomizers(atomizador rotativo)

En este caso la atomización se produce por la energía mecánica aportada por un elemento rotativo. El diseño se centra en conseguir una transferencia efectiva de dicha energía al fluido. Las ventajas que tiene: puede atomizar líquidos muy viscosos y sucios, permite una baja presión del líquido, permite un buen control del caudal sin afectar a la calidad de la atomización, admite caudales altos de fluido y consume poca energía. Algunas de sus desventajas: el diseño es complicado, necesita un elemento rotativo y lubricante. Se dividen en dos grupos.

Disk atomizers: un rasgo común de estos elementos es que tienen una superficie lisa sobre la cual el líquido crea una película delgada. La película líquida se separa del borde del atomizador y se desintegra en gotitas. Dependiendo del flujo, se distinguen tres regímenes de desarrollo de gotas, éstos son:

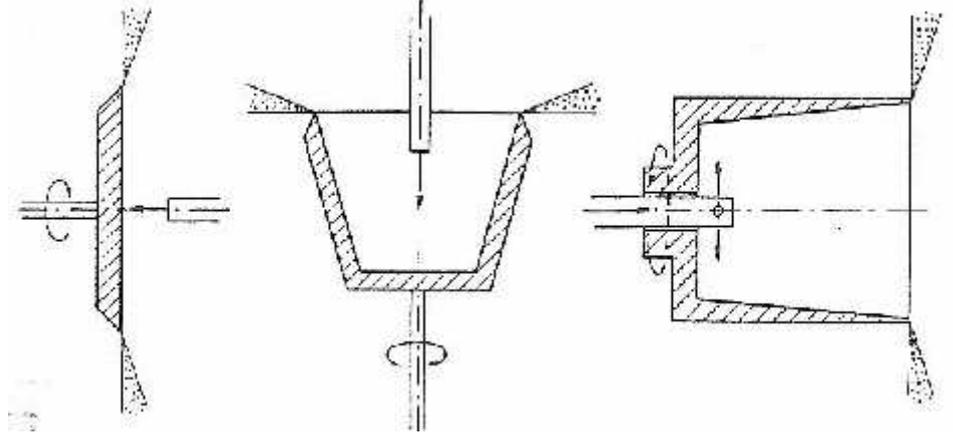
- Régimen de gota: para caudales pequeños.
- Régimen de formación de **ligament**: caudal mayor
- Régimen de formación de lámina

- Flat disk atomizers.

- Bowl atomizers.
- Cup atomizers.

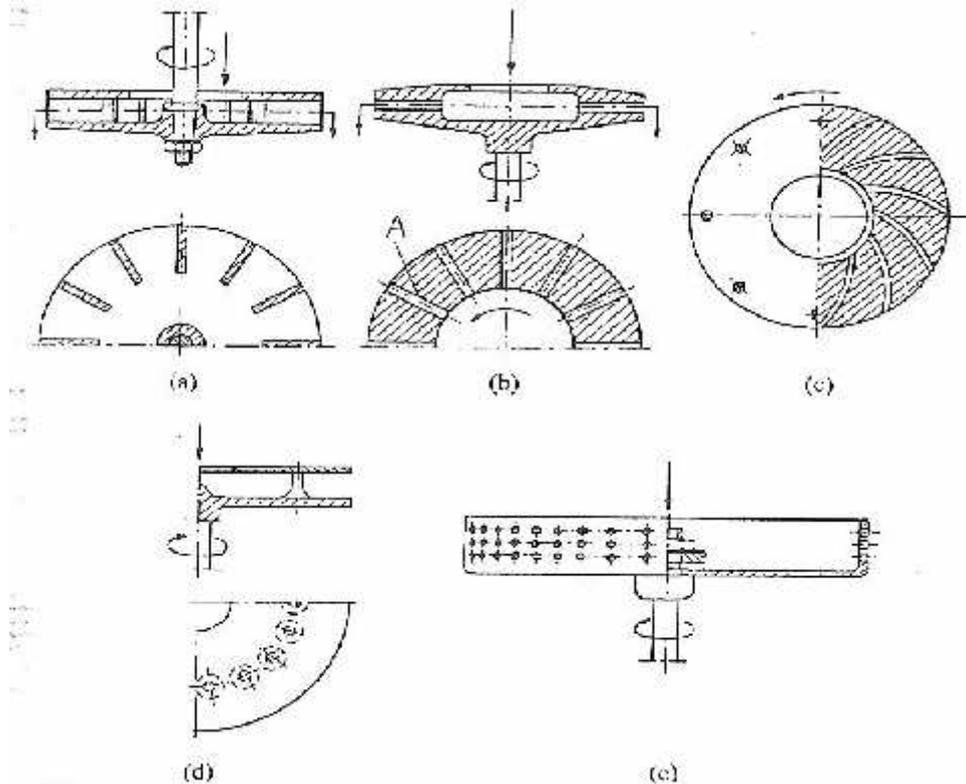
Estos tres atomizadores de disco se muestran en la figura 5.19.

Figura 5.19. Atomizadores de disco



Impeller atomizers: tienen una gran variedad de diseño. Encuentran su aplicación en la industria de pinturas, manufacturera, farmacéutica, industria cerámica. En la Figura 5.20 aparecen los 5 tipos.

Figura 5.20. Atomizadores centrífugos



- Vaned atomizers:
- Atomizers with radial channels.
- Reaction atomizers.
- Atomizers with pin-type wheels.
- Atomizers with a perforated periphery.

5.2.6 Miscellaneous atomizers

Este tipo de pulverizador se ha desarrollado para satisfacer ciertos requerimientos impuestos por la industria, por ejemplo: atomización de grandes flujos de líquidos, atomización de líquidos químicamente agresivos o contaminados, atomización de pequeñas cantidades de líquido en una cámara de inhalación o atomización de fluidos no newtonianos.

Acoustic atomizers: el principio de operación se basa en la superposición de las vibraciones acústicas generadas por un gas que fluye con velocidad supersónica por el fluido.

- Acoustic atomizers with a Hartmann generator.
- Acoustic atomizers with a static generator.
- Acoustic atomizers with a dynamic generator.
- Acoustic atomizers with a rotating generator.

Ultrasonic atomizers: el líquido entra en contacto con un elemento del generador que vibra a una frecuencia ultrasónica (más de 20 kHz) desintegrándose en gotas de pequeño tamaño.

Electrostatic atomizers: es una nueva técnica para generar sprays finos, donde la desintegración se produce de una manera controlada. El spray puede ser desviado electrostáticamente hacia una posición precisa de un objetivo (por ejemplo la impresión con chorro de tinta). Usando un diseño apropiado del inyector y controlando el flujo y el campo electrostático, el líquido se desintegra en muchos chorros que generan gotas de tamaño muy pequeño. El mecanismo de atomización es el siguiente: cuando el líquido en forma de chorro o lámina entra en un fuerte campo electrostático, se desarrolla una distribución de presiones en la superficie del líquido que provoca la deformación y desintegración en gotas. Las gotas se cargan eléctricamente y como resultado, su presión interna y tensión superficial disminuyen. En esta situación

actúan las fuerzas aerodinámicas y su tendencia a la dispersión aumenta.

Pulsatory atomizers: en este tipo de pulverizador se superponen perturbaciones que producen pulsaciones en el flujo o presión del líquido, en la mayoría de los casos ambos. El resultado es una aceleración de la pérdida de estabilidad en el líquido y mejora la calidad de la atomización.