

## Ingeniería Energética General

### Boquillas de atomización. Quemadores

Preguntas, respuestas, información técnica sobre este pequeño pero decisivo dispositivo en el resultado de la combustión.

**¿Conoces la función que realiza la boquilla de atomización?  
¿Sabes cómo funciona e incide en el rendimiento energético de la combustión?  
¿Y qué puedes decir de los tipos de atomización, sus características y comportamientos?  
¿Conoces la relación entre el flujo o cantidad del combustible, presión y diámetro de las boquillas?  
¿Y sabes cómo supervisar en Planta el comportamiento de las boquillas?  
¿Sabes qué daños puede causar el mal funcionamiento de las boquillas sobre el medio ambiente? ¿Conoces estas cifras?**

**Esas y muchas más preguntas se responderán en este artículo.**

Para complementar los conocimientos anteriores se puede consultar la documentación que acompaña a los Calculadores Energéticos publicados en nuestra web, [Ingeniería Energética General](#), en Libre Acceso. Estas herramientas facilitan los complejos y dificultosos cálculos de combustión, reportando los indicadores de eficiencia energética. Los vínculos son los siguientes:

[Emisiones de CO2. Combustibles fósiles. Calculador](#)  
[Combustión. Aire primario para la combustión de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos](#)  
[Combustión. Cálculo de los productos de la combustión o humos generados](#)  
[Combustión. Cálculo del Poder Calórico de los combustibles.](#)  
[Combustión. Cálculo de la temperatura de la combustión](#)  
[Ciclo Vapor en Plantas Térmicas. Su eficiencia energética y variaciones con los parámetros del vapor recalentado](#)  
[Generadores de Vapor - Balance Energético. Fundamentos técnicos.](#)  
[Grados API y gravedad específica de los combustibles líquidos](#)  
[Viscosidad. Absoluta, cinemática. Tipos, variación con la temperatura, instrumentos y unidades.](#)  
[Viscosidad. Convertidor de unidades](#)

## Boquillas de atomización.

### Los quemadores y el proceso de la combustión. La boquilla en el quemador

El propósito principal de un quemador es generar la energía en forma de calor al sistema donde esté instalado. **El quemador** se encarga de intervenir directamente en el proceso de la combustión y es el equipo mecánico destinado a generarla. Sucede que la combustión es, sin lugar a dudas, el proceso de transformación de energía que más se utiliza hasta hoy en todo nuestro Planeta para generar calor. Y a la vez el proceso de la combustión es el mayor contaminante atmosférico y causante del calentamiento global.

Hasta el día de hoy se han ido realizando avances tecnológicos para mejorar la eficiencia y reducir, mitigar, el efecto nocivo de la combustión, pero a pesar de todos nuestros avances en las distintas ramas de la ciencia, algunos que nos asombran, aún no se ha encontrado una forma barata, limpia y eficiente de generar calor mediante la combustión.

Entre los principales contaminantes de la combustión está el gas CO<sub>2</sub> y desfavorablemente para todos, la relación entre la masa de combustible quemado y el gas desprendido es de consideración, la naturaleza no lo diseñó diferente y cada vez que se quema 1 kg de combustible fósil, se emiten más de 2 kg de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

Por otra parte las cantidades de hidrocarburos fósiles que se destina a quemar son enormes. Más adelante se destacan en rojo. Así que son los quemadores los dispositivos que están en el centro de esta desagradable problemática de la humanidad donde intervienen la sostenibilidad, el desarrollo y la vida de todos. Concluimos que:

*Saber de quemadores, que hacen y como operarlos bien, es de suma importancia.*

La selección correcta de un quemador toma en cuenta la potencia que tendrá que desarrollar, el tipo de combustibles a quemar, el diseño y las dimensiones de la cámara de combustión donde funcionará. La eficiencia de un quemador puede ser considerada desde dos puntos de vistas: primero, la energía que hay que suministrarle para asegurar una buena atomización del combustible y que pueda desarrollar su potencia nominal y segundo, el nivel de atomización del combustible líquido que es capaz de garantizar a plena capacidad. En la medida que el quemador garantice inyectar el combustible dentro de la cámara de combustión con diámetros de partículas más pequeñas, finas, micrométricas, se requerirá una menor cantidad de aire para realizar la combustión y la temperatura de salida de los gases será menor, lo que significa menos energía perdida y expulsada a la atmósfera.

**La boquilla** es un dispositivo que forma parte del quemador y está colocado en el extremo que penetra dentro de la cámara de combustión del horno o caldera, por lo que está sometida a un régimen agresivo, caracterizado por la alta turbulencia, temperatura, hollín y gases corrosivos.

A pesar de estas condiciones severas, su trabajo es el de realizar la atomización del combustible correctamente, pulverizarlo en partículas finas o nieblas, forzándolo en un movimiento dinámico de rotación para buscar el íntimo contacto entre las pequeñas partículas (entre 10 y 100  $\mu$ ) y el oxígeno del aire, favoreciendo la reacción de la

combustión. Hay que prestar especial atención a este dispositivo, pues la gran mayoría de las boquillas en operación no logran gotas de partículas inferiores a 80  $\mu$ , valores que empiezan a favorecer una combustión ineficiente. Se admite como un buen atomizador aquel que produce más del 85 % de las gotas con diámetro inferior a 50  $\mu$ .

Su eficiencia está en asegurar todo el tiempo que estas condiciones de sean constantes y garantizar la combustión. Diríamos que es el corazón del quemador.

Llegamos a una conclusión idéntica a la anterior respecto a los quemadores:

*Entonces saber de boquillas o toberas de atomización (pulverización), que hacen y como operarlas bien, es de suma importancia.*

Se comprenderá que es un componente muy sensible, pequeño, pero soporta sobre sus hombros una gran responsabilidad, a pesar de realizar su trabajo en condiciones extremas.

A través de las boquillas de los quemadores pasan millones de toneladas de combustible líquido y gaseoso que se alimentan a las Calderas de las Termoeléctricas, Calderas de Vapor instaladas en las industrias, Calderas de Agua Caliente, Generadores de Calor instalados en los Edificios, en localidades, en los consumidores domésticos, etc.

Para tener una idea en el año 2010 el consumo mundial de Fuel-Oil fue de 4028.1 millones de toneladas y de Gas Natural 2858.1 millones de toneladas. Refiriéndonos al Fuel Oil, podemos aproximarnos a la verdad sin temor diciendo que todo esa energía química almacenada se destinó a la combustión para generar potencia o calor, en Hornos, Calderas y en Motores de Combustión Interna. Refiriéndonos ahora al Gas Natural, la mayor cantidad de su energía se quema para generar calor, potencia. Una pequeña parte se destina a la industria como materia prima, fuente para la producción de hidrógeno y otros productos petroquímicos, pero la gran mayoría se quema y todas estas cantidades de líquido o gas, pasan por boquillas o toberas de atomización.

En cada una de las aplicaciones el combustible tiene que fluir en el quemador, alcanzar la boquilla o tobera y pulverizarse. Y esa es la razón que tenemos para dar prioridad relevante al proceso de facilitar los conocimientos técnicos, la experiencia acumulada y las buenas prácticas sobre este pequeño pero universal dispositivo mecánico, *la boquilla o tobera de atomización*, que tiene bajo su responsabilidad ser un fiel amigo de la naturaleza cuando aseguramos que funcione óptimamente, y que por el medio agresivo en el que trabaja requiere de suma atención de las personas que estamos relacionadas con la selección, la operación, el mantenimiento y el control de los sistema energéticos.

Por ser un dispositivo pequeño, las dimensiones que definen su estructura son también pequeñas, de unidades milimétricas, al igual que los conductos por donde se inyecta o retorna el combustible. Cómo tiene que garantizar una dinámica de flujo pre-establecida y en ritmo con la aplicación donde funcionará, necesita que las superficies interiores de las ranuras por donde circulará el líquido o gas estén pulimentadas, no presenten rugosidades, que las dimensiones circulares sean simétricas, que los conductos de circulación del combustible o gas se mantengan limpios durante la operación y no obstruyan el paso del líquido o del gas o distorsionen su movimiento pre concebido.

Por lo anterior tenemos que **aprender a tratar a las boquillas de atomización** durante todo su ciclo de vida, desde que nos comprometemos en un proyecto que tiene relación con la generación de potencia y calor y para ello requerimos de los quemadores de combustibles y gas. Aunque los inyectores en las bombas de combustibles y de los carburadores de los Motores de Combustión Interna tienen igual peso en los procesos de combustión y muchas de estas experiencias son aplicables en común, en este artículo nos referiremos a las boquillas que forman parte de los quemadores industriales y domésticos.

## La boquilla y su liderazgo en el proceso de la combustión de los equipos generadores de calor.

Una pequeña boquilla instalada en un quemador de una caldera de vapor tubular de 100 BHP sorprendentemente procesará significativas cifras de combustible, energía y generará considerables volúmenes de gases nocivos. Su comportamiento se puede comparar con el de una hormiga, que multiplica el peso que transporta en relación con su tamaño.

El generador de vapor de 100 BHP clasifica entre los de mediana a pequeña capacidad. Los encontramos frecuentemente instalados en los servicios auxiliares de los hoteles, edificios administrativos, hospitales, localidades para calefacción, y plantas de procesamiento de alimentos de mediana capacidad productiva. 100 BHP desarrolla una capacidad de evaporación equivalente a 3,450 lb/h (a 212°F y 0 psig) procesando 180 lb de Fuel-Oil/h tipo calderas (No.2) que tiene un poder calorífico aprox. de 18 000 BTU/h. Por lo que en cada hora fluirá a través de la boquilla del quemador 180 lb de un líquido viscoso, por lo general con impurezas que es el combustible que será quemado.

Si asumimos que opera con una eficiencia del 85 %, un valor de rendimiento común en la mayoría de los casos, transformará la energía del combustible en **3.2 millones de BTU/h de calor** bruto y transferirá al vapor 2.7 millones de BTU/h o calor útil. La diferencia de 500 000 BTU/h se escaparán al ambiente exterior, en forma de pérdidas de calor y principalmente acompañando a los productos de la combustión o humos. El calor útil generará unas **2300 lb/h de vapor saturado a 150 psia**.

En el proceso de combustión de este productor de vapor de mediana capacidad, cada hora se generarán unas **2600 lb de humo formado por gases y hollines**, destacándose entre sus componentes contaminantes el azufre, el dióxido de nitrógeno, partículas de hidrocarburos no quemados y el componente de mayor peso contaminante, el dióxido de carbono o **CO2 del cual se emitirán unas 500 lb**, agravando el calentamiento global actualmente presente.

El vapor saturado producido tendrá las siguientes características termodinámicas:

Temperatura	360.00 , °F	182.22 , °C
Presión	153.04 , psia	10.41 , kg/cm2 abs
Vol. esp. líquido, vf	0.0181 , pie3/lb	0.0011 , m3/kg
Vol. esp. gas, vg	2.9570 , pie3/lb	0.1846 , m3/kg
Entalpía del líquido, hl	332.18 , Btu/lb	184.56 , kcal/kg
Entalpía del gas, hg	1194.40 , Btu/lb	663.61 , kcal/kg

Entropía del líquido, sl	0.5158 , Btu/lb- °F	0.5158 , kcal/kg- °C
Entropía del gas, sg	1.5677 , Btu/lb- °F	1.5677 , kcal/kg- °C

Si revisamos con detenimiento las cifras anteriores, notamos que en este proceso de pequeña dimensión y muy común en todos los países del mundo, están actuando cantidades considerables de energía en forma de calor, flujo de combustible y volúmenes de gases contaminantes. Imaginemos un escenario en que multipliquemos este efecto por los miles de eventos de su tipo que puedan estar ocurriendo a la vez en este instante.

Y el quemador que está instalado en este pequeño generador de vapor es el que tiene la función de realizar el proceso de la combustión. Si es un quemador mecánico le bastaría una boquilla de atomización cuyo diámetro de orificio fuera aproximadamente entre unos 1.0 a 1.5 mm de diámetro (considerando una presión de inyección del combustible en el sistema de alimentación entre 70 a 80 psig) para quemar un combustible de 0.85 g/cm<sup>3</sup> de densidad, generar el calor anterior y emitir a la atmosfera los volúmenes de humos y contaminantes ya vistos.

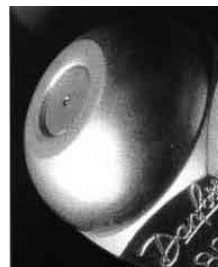
Si realizamos el ejemplo anterior para efectuar cálculos de consumo de combustible, generación de calor y emisiones de CO<sub>2</sub> tomando como partida las grandes calderas de combustible líquido, sólido o gas de las Plantas Termoeléctricas, o las grandes instalaciones industriales, los números son aplastantes, aterradores.

Magnitudes tan grandes se producen en un dispositivo cuyos conductos son pequeñísimos, es curioso, verdad.

De ahí que podamos sin temor afirmar que es un dispositivo en extremo sensible por la tarea que realiza bajo condiciones de extrema agresividad y la incidencia decisiva que tiene su comportamiento en la eficiencia del proceso de la combustión, reconociendo que la combustión es el proceso de transformación energética que mayor impacto negativo deja en la atmósfera de nuestro Planeta.



Dimensiones  
32 long x 15 Ø, mm



Boquilla y el orificio

La foto anterior ilustra el tamaño de este dispositivo y el pequeño orificio cuyo diámetro puede variar entre 0.5 y 4 mm, en función del flujo de combustible a inyectar y la presión manométrica en la línea de alimentación.

## ¿Qué debemos conocer acerca de las boquillas atomizadoras?

La respuesta es todo.

Una boquilla atomizadora que funcione correctamente tiene que garantizar una atomización efectiva, dosificación exacta, un ángulo y cono de atomización constantes. Sus principales cualidades deben ser:

- a) atomización perfecta del combustible líquido
- b) no producir goteos de combustibles
- c) producir una llama que no toque las paredes laterales y el fondo de la cámara de combustión para evitar formación de hollines
- d) favorecer la mezcla efectiva del combustible con el aire en las proporciones correctas
- f) su unión con el porta boquillas debe ser hermética y no producir salideros.
- g) su capacidad de inyección corresponderse con la potencia que tiene que generar el equipo donde esté instalada.

En resumen, influir con su comportamiento en una combustión eficiente.

## Condiciones agresivas que se generan dentro de la cámara de combustión

Ya vimos que al quemar el combustible se generan enormes cantidades de humos y de gases contaminantes. En la cámara de combustión y en las zonas cercanas a la boquilla del quemador donde se está realizando el proceso químico, los gases que se producen alcanzan temperaturas altísimas, entre 3000 a 3500 °F por lo que su volumen se dilata generando altísimas velocidades de flujo. La turbulencia y la temperatura elevada de los gases producen un régimen crítico dentro de la cámara. Los gases calientes, a lo largo de su trayectoria dentro del generador de vapor, chocan con las superficies refractarias de los conductos erosionándolas y con las superficies frías metálicas donde transfieren su calor. Los gases en su trayectoria se le hacen rotar, cambiar su curso, su velocidad y con ellos se van modificando sus propiedades físicas en cada momento y en cada punto por donde van fluyendo. Es un régimen gaseoso que está variando constantemente y sus características están en función del lugar o punto de su trayectoria y del momento en el tiempo que se mide. Si el comportamiento de este régimen es eficiente, el resultado de la eficiencia del generador también lo será. La boquilla es el dispositivo que influye en gran medida en el comportamiento eficiente de este régimen.

## Diferentes tipos de boquillas atomizadoras.

1-Los atomizadores que emplean la presión para inyectar el chorro de combustible  
*Encontramos las toberas con orificio central, de presión con y sin retorno, de presión con ranuras regulables, de pistón, y de doble circuito de presión.*

2-Los atomizadores que emplean un fluido auxiliar como agente pulverizador.  
*De aire o vapor a alta presión, a media presión y a baja presión*

3- Atomizadores que emplean la fuerza centrífuga  
*discos giratorios  
copas rotatorias*

La tabla siguiente resume los atomizadores según su clasificación, mostrando sus principales características.

# INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

Ingeniería Energética General - General Energetic Engineering ISSN 2326-6880  
IEG-09032013

[www.energianow.net](http://www.energianow.net)

Tipo atomizador	presión F/O en la boquilla, atm	Viscosidad requerida en la boquilla, $\mu$ E	Campo de regulación	Fluido auxiliar, kg/kg combust.	Presión fluido aux. de atomización, atm	Potencia requerida para atomizar 1 kg de F/O, kWh	Control de la forma del chorro	Medidas a tener en cuenta		
pulverización mecánica	de presión directa	14 - 20	2 - 3	Muy limitado de 1 : 1..2	No	No	0.05	Limitado. Se puede variar el ángulo entre 45 y 80 °	Necesita una limpieza perfecta en las toberas. Realizar la inspección frecuentemente principalmente con fuel oil densos	Garantiza un la carga con tobera. Co buen
	con retorno	20 - 30	2 - 3	bueno: 1 : 3 normal 1 : 4 tipos especiales 1 : 8 con dispositivos para mejorar el chorro	No	No	Algo superior a la anterior	Limitado. Se puede variar el ángulo entre 45 y 80 °	Necesita una limpieza perfecta en las toberas. Realizar la inspección frecuentemente principalmente con fuel oil densos	Puede ma atomizaci siempre que ángulo del c regulación
pulverización con fluido auxiliar	vapor alta presión	0.5 - 12	3 - 8	Muy bueno 1 : 6	0.1 - 0.15 (Vap de 7 a 10 ata) 0.2 - 0.3 (Vap. Presiones más bajas)	0.5 - 10	0.1 - 0.15	Muy bueno. Superior al que se obtienen con los pulverizadores mecánicos	Poco frecuente	Característ campo de ruidosa. La n válvulas es calderas con necesario me
	presión directa con fluido aux.	20	2 - 3 Puede soportar ligeras variaciones	Muy bueno. Puede llegar de 1 : 10	0.03 con aire a 6 ata 0.06 con vapor de 6 a 8 ata	aire 1.5 - 6 vapor 3 - 10	0.07	Muy bueno. Variando la disposición de los orificios se pueden conseguir chorros planos.	Menos frecuente en comparación con los pulverizadores mecánicos sin fluido auxiliar.	Característ campo de reg negativos hogares a a tobera se pu Oil y haciend
	aire a alta presión	0.5 - 7	3 - 8	bueno 1 : 5	0.3	1.5 - 8	0.1 - 0.15	bueno	Poco frecuente	Característ campo de re poco ruidosa aire deben es
	aire a media presión	0.1 - 1.5	2 - 8	bueno 1 : 5	0.4 - 0.5	0.5 - 1.5	0.08 - 0.1	bueno	Poco frecuente	Se pueden atomización buen
	aire a baja presión	0.1 - 0.5	2 - 8	bueno 1 : 5	15 - 30% del aire total de combustión	500 - 1000 mm H2O	0.08 - 0.15	bastante limitado	Poco frecuente	buenas ca campo. In secundario p la llama se h del
pulverización con fuerza centrífuga	rotatorio	La suficiente para mantener el caudal requerido por la copa	3 - 8	1 : 4	10 al 15% del aire total de combustión	250 - 300 mm H2O	0.07	bastante limitado. Tendencia a chorro ancho	poco frecuente	Atomizador s atomizaci funcio

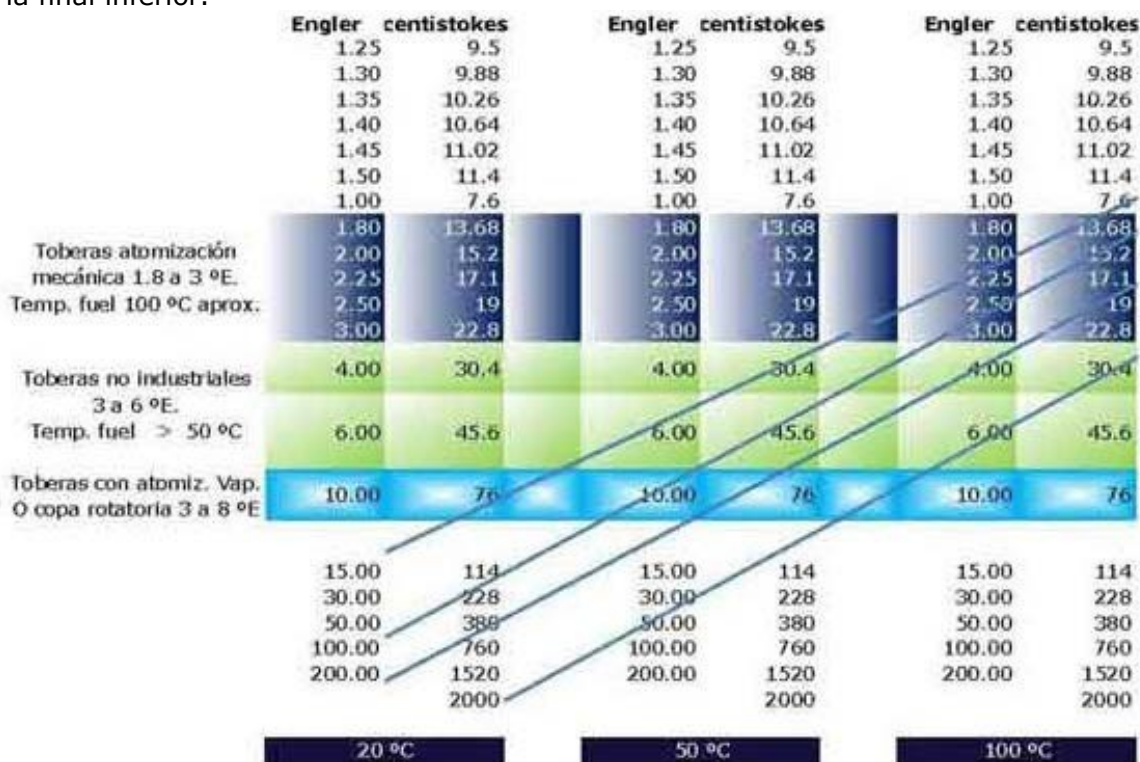
El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General  
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como  
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General - Año 2013  
[info@energianow.net](mailto:info@energianow.net)



## Atomización de Fuel-Oil viscosos.

Mientras mayor sea la viscosidad del combustible, mayor será la distancia para que se desintegre el líquido en finísimas gotas a partir de la salida del orificio del atomizador. El caudal que fluye por un orificio resulta inversamente proporcional a la quinta o sexta potencia de la viscosidad. Es por ello que los aceites viscosos no pueden ser atomizados a temperatura ambiente y requieren de precalentamiento previo para poderlos quemar, dada la dificultad de fluir el líquido.

En la figura siguiente se muestra el campo de viscosidad referente al empleo, en condiciones óptimas de las diferentes tipos de toberas o boquillas de atomización. La gráfica se refiere a las variaciones de viscosidad respecto a la temperatura de cuatro combustibles, numerados 1, 2, 3 y 4, donde 1 se corresponde con la línea azul de pendiente positiva superior, 2 con la siguiente y hasta el 4 que es la final inferior.



Un combustible viscoso tiene que ser precalentado para poder quemarse en condiciones óptimas, de acuerdo al tipo de quemador y el dispositivo de atomización que emplee. Las toberas de atomización mecánica requieren de viscosidades bajas. Así que si un combustible a temperatura ambiente tiene una viscosidad de 600 cst, no queda otra alternativa que precalentarlo para reducir su viscosidad y poder inyectarlo a un quemador sea del tipo rotatorio, de atomización con vapor o de atomización mecánica.

En las Plantas industriales que requieren quemar combustibles existen sistemas tecnológicos auxiliares que preparan el combustible antes de inyectarlo al quemador y sus toberas. Estos sistemas están compuestos por filtros, pre-calentadores del combustible y válvulas reguladoras de presión. Así que antes de quemarlo lo filtran, precalientan para ajustar la viscosidad a los valores aceptables según el tipo de atomizador e inyectan el combustible a una presión constante, buscando



asegurar una combustión óptima. Estos sistemas auxiliares se conocen como Plantas de preparación de Combustible y por su importancia e impacto sobre el proceso de la combustión, pronto nos ocuparemos de redactar un artículo técnico sobre su esquema, equipamientos y condiciones que deben asegurar en el combustible que procesan.

Una vez que se cuenta con los resultados del análisis de viscosidad de su certificado de calidad o registrados en la factura comercial, pudiera ser necesario realizar conversiones de las unidades.

Para poder conocer más sobre la viscosidad, tipos, variación con la temperatura, instrumentos de análisis y unidades en que se reporta, en el siguiente link podrá encontrar documentación al respecto y el Libre Acceso.

a) [Viscosidad. Absoluta, cinemática.](#)

Y si requiere realizar conversiones entre unidades de viscosidad, le recomendamos visite el Calculador, también en Libre Acceso:

b) [Convertidor de unidades de viscosidad.](#)

### Relación entre el flujo, diámetro de la boquilla, presión del combustible.

Existe una relación entre el flujo que inyectan (l/h), la presión absoluta del combustible a la entrada de la boquilla o tobera (kg/cm<sup>2</sup>) y el diámetro del orificio (en mm). La velocidad del combustible a través de la boquilla puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$V, \text{ m/s} = C_v \sqrt{\frac{2g \text{ (m/seg}^2\text{)} * \Delta P \text{ (kg/m}^2\text{)}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}}}$$

Donde  $\Delta P$  es la presión a la entrada de la boquilla,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $\rho$  la densidad del combustible y  $V$  la velocidad de atomización.  $C_v$  es un coeficiente adimensional que es propio de cada tipo de orificio, variando entre 0.8 a 0.95.

Si conocemos el diámetro interior del orificio, podemos determinar su área como  $a = 0.0785 d^2$ , m<sup>2</sup>.

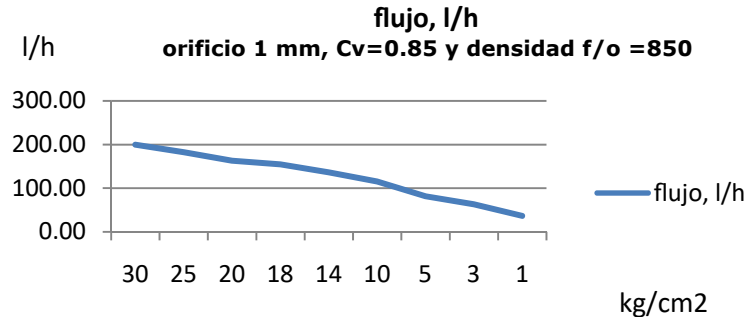
Conocida el área y la velocidad del flujo, se calculará la cantidad de combustible que en una unidad de tiempo fluye por la boquilla.

$$q = a, \text{ m}^2 * V, \text{ m/s} = \text{m}^3/\text{s}$$

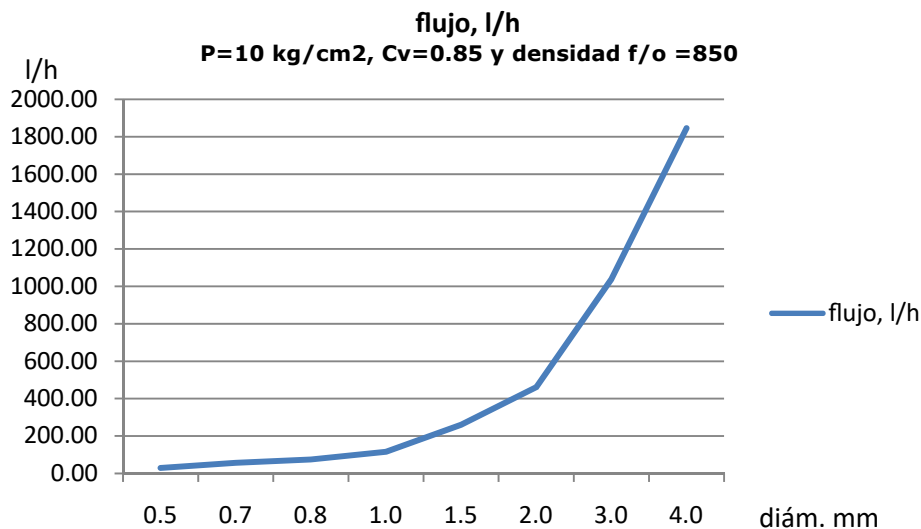
### Flujo de combustible en l/h para atomizadores de pulverización mecánica, asumiendo un $C_v = 0.85$ y una densidad del combustible de 0.85 g/cm<sup>3</sup>.

Presión, kg/cm <sup>2</sup>	Diámetro de orificios, mm							
	0.5	0.7	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
30	49.95	97.90	127.86	199.79	449.52	799.15	1798.10	3196.61
25	45.60	89.37	116.72	182.38	410.36	729.52	1641.43	2918.10
20	40.78	79.93	104.40	163.13	367.03	652.51	1468.14	2610.02
18	38.69	75.83	99.04	154.76	348.20	619.02	1392.80	2476.09
14	34.12	66.88	87.35	136.48	307.08	545.93	1228.33	2183.70
10	28.84	56.52	73.82	115.35	259.53	461.39	1038.13	1845.57
5	20.39	39.97	52.20	81.56	183.52	326.25	734.07	1305.01
3	15.79	30.96	40.43	63.18	142.15	252.71	568.61	1010.86
1	9.12	17.87	23.34	36.48	82.07	145.90	328.29	583.62

Si graficamos la variación del flujo en relación con la presión a la entrada del atomizador para un diámetro de orificio constante, obtenemos la siguiente relación:

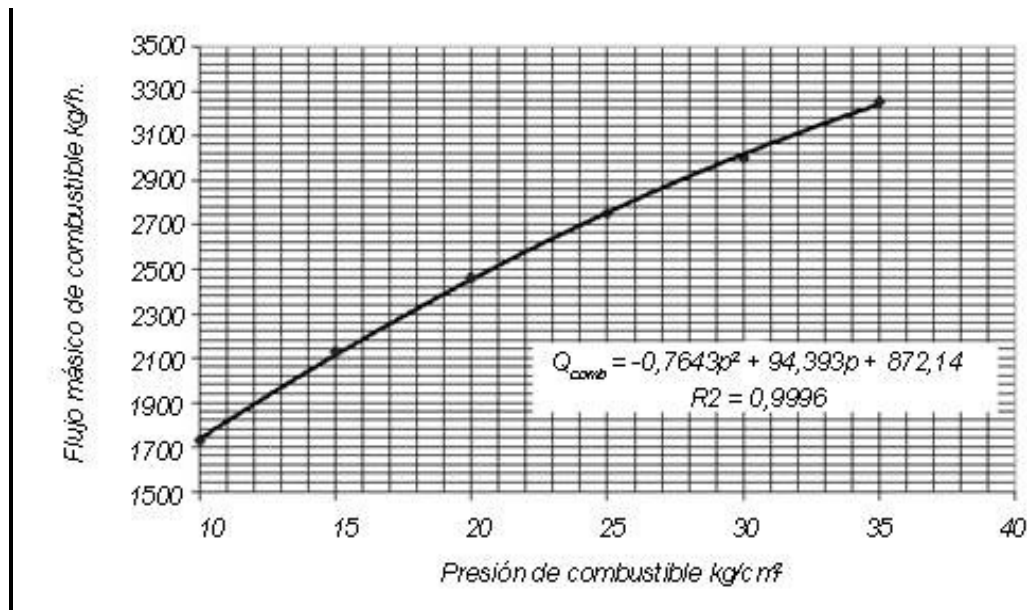


Si mantenemos la presión constante y vamos ampliando el diámetro del orificio, la relación que obtenemos entre el flujo y el diámetro creciente es la siguiente:



Con esta información quedan demostradas las relaciones de flujo, presión, diámetro del orificio para el combustible.

Los fabricantes de los quemadores y boquillas de atomización siempre acompañan sus modelos con las hojas de especificaciones técnicas. La siguiente figura nos muestra el comportamiento del atomizador multitoberas tipo «Yjet», desarrollado por la Babcock, que como se aprecia en la escala de flujo, es una boquilla que garantiza flujos hasta de 3.5 t/h. Este tipo de atomizadores tipo «Yjet» proporcionan una calidad de atomización superior, sobre todo para combustibles pesados.



*Comportamiento del flujo de combustible en función de la presión de atomización (atomizador original ref. M-40).*

La calidad del combustible, su viscosidad y limpieza son factores que hay que tener en cuenta para el óptimo funcionamiento de las boquillas y de la calidad de la atomización. La supervisión constante de las boquillas, su limpieza, operación que hay que realizar con sumo cuidado, evitando dañar las superficies interiores por donde circula el combustible, es una tarea diaria.

Cuando tuve que asegurar el trabajo óptimo de los quemadores de la Planta en que trabajaba, construí una herramienta para comprobar el funcionamiento de los quemadores, principalmente de las boquillas. En esa Planta funcionaban quemadores mecánicos de hasta 4 t/h de Fuel-Oil y de atomización con vapor. Por su potencia y consumo, requerían de extrema atención. La herramienta construida fue un Banco de Prueba de Quemadores, empleando agua y aire en sustitución del combustible y el vapor de atomización respectivamente, empleados en las condiciones reales de combustión. De esta manera podía probar tanto los quemadores mecánicos como los de atomización con fluido auxiliar.

Lo formaban un trípode ajustable para portar el quemador en posición horizontal, una plancha metálica de 1.5 x 1.5 m de superficie soportada por una tubería que a la vez facilitaba su desplazamiento sobre ella, alejándola y acercándola a la boquilla del quemador y que se encontraba en un plano perpendicular al eje del quemador, es decir, en posición frontal.

Una bomba centrífuga y un tanque de suministro de agua, con sus líneas de alimentación y retorno, incluyendo una válvula reguladora de presión y su manómetro a la entrada del quemador, completaban el sistema de alimentación de agua. En el interior del tanque había colocado una regleta interior para dividida en cm que me servía para medir la altura antes y después de cada corrida y contando con el diámetro, calcular el consumo de agua del quemador para cada experimento.

Al Banco hice llegar una línea de aire comprimido, del propio servicio de la Planta y a la que le instalé un plato orificio con su manómetro diferencial y su reguladora de presión, con el fin de medir presión y cantidad de aire para la atomización.

Las corridas de comprobación consistían en medir principalmente el ángulo del cono, la dispersión, estimar el grado de pulverización del agua para cada valor de presión de inyección y los flujos y presiones de agua y aire de atomización.

El ángulo del cono lo calculaba midiendo el diámetro del líquido pulverizado sobre la plancha, conocida la distancia que separaba la superficie metálica de la boquilla del quemador. Como no teníamos los instrumentos que miden el diámetro de las partículas atomizadas y la dispersión, tanto la uniformidad del cono como la dispersión y calidad de la pulverización, los estimaba con la observación cuidadosa. La calidad de la atomización era determinada visualmente por la experiencia que fui adquiriendo, priorizando homogeneidad de la atomización y ausencia de filamentos indeseables de líquido en el cono, calificándolo de Malo (M), de Regular (R) y de Bien (B)

En la medida que fui realizando corridas y acumulando experiencia, llegué a ser un eficiente calificador del comportamiento de la boquilla basándome en los resultados de las pruebas y la observación de la calidad de la atomización.

De cada corrida registraba en Tablas y graficaba los datos, correlacionando la presión, el ángulo del cono, los flujos y la apreciación de la pulverización. A pesar de que el líquido utilizado en el Banco de Pruebas era agua a temperatura ambiente, el fluido auxiliar aire y no vapor, la simulación resultaba suficientemente aproximada al funcionamiento con Fuel\_Oil por lo que los resultados eran aplicables al régimen real de operación.

Con estas pruebas posteriormente se ajustaban las presiones de operación de los quemadores y la temperatura de alimentación del combustible, buscando una atomización óptima para cada tipo de boquilla. Este Banco de Prueba ahorra mucho dinero al facilitar el control operacional sobre los quemadores y saber que boquillas debíamos reponer. En las primeras pruebas de una boquilla se hacía evidente si era necesario descartarla. Las que abrían bien el cono, sin grandes distorsiones, se observaba una buena pulverización, decidíamos mantenerlas. A estas se le realizaba una limpieza química con solventes, soplado con vapor y aire, cuidando no dañar los conductos y ranuras interiores. Entonces se volvían a comprobar en el Banco, constatar como habían mejorado y volverlas a colocar en su quemador.

Hay que evitar raspar mecánicamente el carbón que puede estar adherido al cabezal o a la zona alrededor del orificio de atomización. Si se desarma la boquilla y se procede a rasparla, es casi seguro que altere el ángulo y el cono de distribución de partículas. En las boquillas de pequeña capacidad estas superficies interiores son imposibles de ver bien, por su diminuto tamaño.

Este dispositivo es tan delicado que es preferible sustituirlo por uno nuevo que ahorrarse lo que vale. Una limpieza mecánica de seguro dañará parte del dispositivo y posteriormente, durante la operación, funcionará fuera de las condiciones óptimas, generando pérdidas mayores que su precio de recambio. Y sobre el Banco de Pruebas de Quemadores y la Planta de Preparación de Combustible para inyectarlos a los quemadores, pronto publicaremos un artículo.

Fin del artículo...

## Bibliografía e información base utilizada:

- La combustión La Combustión, Teoría y aplicaciones – Gulliano Salvi – Madrid, Ed. Dossatt
- The role of air and fuel properties in mean drop size correlations for airblast atomized gas turbine”. 19th ILASS EUROPE , Nottingham, United Kingdom. 2004. p.31-37. Jasuja, Arvind K..
- Atomization of high-viscous liquid jet by internal mixing twin-fluid atomizer” 19th ILASS EUROPE , Nottingham, United Kingdom. 2004. p. 405 . Tamaki, N., Shimizu, M., Hiroyasu, H
- Performance diagnostic for nozzles fed with multiphase flow. 18th ILASS EUROPE . Spain. 2002. p. 369-374 . Kirpalani, D.M., Mc Cracken, T.W.
- Información técnica, tablas, datos para facilitar la construcción de un Sistema para Alimentar Fuel\_Oil – RRD
- Uso Eficiente de la Energía en Calderas y Redes de Fluidos – IDAE
- Viscosidad. Viscosidad absoluta, cinemática, instrumentos para determinarla, unidades y convertidor de unidades – RRD
- Salvador Escoda S.A. Catálogo Técnico Boquillas Danfoss
- Atomizadores para la pulverización de los combustibles pesados. Kulagin, L. V. y M. I –
- Cálculos térmicos de agregados de caldera (métodos normativos). 1973.
- Calderas de vapor y su mantenimiento. Deev, L. V. y N. A. Balafnichov. Moscú 1990.
- Investigation of droplet collisions of viscous process fluids by imaging techniques” 19th ILASS EUROPE. Nottingham, United Kingdom.2004. p 100-105. Blei, S., Sommerfeld M.
- Influence of some geometrical parameters on the characteristics of effervescent atomization”. 18th ILASS EUROPE. Spain. 2002. p.345-350. . Jicha, M., Jedelsky, J., Otahal, J., Slama, J.”



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene más de 40 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.