



ISSN 1029-3450



Banco de pruebas de atomizadores de la Universidad de Matanzas y caracterización experimental del atomizador CECYEN.

Test bench of atomizers at the university of Matanzas and experimental characterization of CECYEN atomizer.

Evelio Donate Carta
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
Cuba

Email: evelio.donate@umcc.cu

Tuan Tran Anh
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
Cuba

Oswaldo Fidel García Morales.
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”

Email: osvaldo.garcia@umcc.cu

Eduardo Lincheta Mesa
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
Cuba

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen los resultados y análisis de la experimentación en frío del atomizador tipo CECYEN de la CTE “José Martí”, realizada en el banco de prueba de la Universidad de Matanzas. Se expone también una reseña sobre estos atomizadores y sobre la fabricación de dicho banco de pruebas. Se presenta además, el comportamiento de los flujos de gas y de líquido de este atomizador, así como la relación gas – líquido a diferentes presiones de trabajo. Fueron valorados también los errores de las mediciones para mejorar futuros ensayos de diferentes tipos de atomizadores, que servirán para precisar coeficientes de ajuste de la metodología de dimensionamiento de los mismos, en el proceso de su generalización para diferentes centrales termoeléctricas.

Palabras claves: Atomizadores, banco de prueba, combustión



ISSN 1029-3450



ABSTRACT

In the present work the results and analyses of the experimentation in laboratory conditions of the CECYEN atomizer type of "José Martí " power plant, made in the test bench of the University of Matanzas are exposed. A review on these atomizers and the manufacture of this test bench is also exposed. One appears in addition, the behavior of the gas and liquid flows of this atomizer and the gas - liquid relation to different work pressures. Also the errors of the measurements were valued to improve futures tests of different types of atomizers, which they will serve to precise the adjustment coefficients of the methodology sizing of them, in the process of generalization for different thermal power stations.

Key words Atomizers, test bench, combustion

INTRODUCCIÓN

En Cuba una parte importante de la energía eléctrica se obtiene en Centrales Termoeléctricas (CTE), trayendo como consecuencia un gran gasto por concepto de consumo de combustible, por lo que el país buscó alternativas para la disminución de sus costos de producción. Una de ellas fue la adaptación de éstas para el consumo del crudo nacional, de menor costo que el fuel oil que era el empleado tradicionalmente, pero de elevada viscosidad, lo que dificulta su atomización y posterior combustión [1,2,3] Por lo antes expuesto, el Centro de Estudios de Combustión y Energía (CECYEN) de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" (UMCC), ha desarrollado un nuevo atomizador, que por su originalidad, ha dado lugar a una patente [4] en Cuba y España, con extensión internacional que cubre a los países de la Unión Europea y los EE.UU. Los resultados en frío[5], con aplicación de difracción láser, demostraron que con este nuevo diseño de atomizador se consigue reducir un 37% el diámetro medio de gotas y un 23% el coeficiente de descarga; con un flujo de gas auxiliar atomizante, un 12,7% inferior que el requerido con las boquillas comerciales tipo "Y". Comprobándose por INEL en la CTE "José Martí" [6] y durante más de un año de uso continuo, que se logra una reducción de 9,8 g-eq/kWh de consumo específico de combustible, con eficiencia en caldera superior en dos puntos porcentuales [7].

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con este atomizador, se desarrolló una metodología de cálculo de sus parámetros constructivos basada en el cumplimiento de los parámetros de semejanza obtenidos en la prueba del modelo, con vistas a su generalización en las CTE del país[8]. Para facilitar el estudio del comportamiento de sus principales parámetros de trabajo, así como su comparación con los diferentes modelos de atomizadores existentes en el mercado mundial y validación de la metodología desarrollada, se diseñó y fabricó en la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", un nuevo banco



ISSN 1029-3450



de pruebas de atomizadores con características semindustriales, cuyo diseño posibilita dicho análisis.

Boquillas de atomización de combustibles pesados CECYEN.

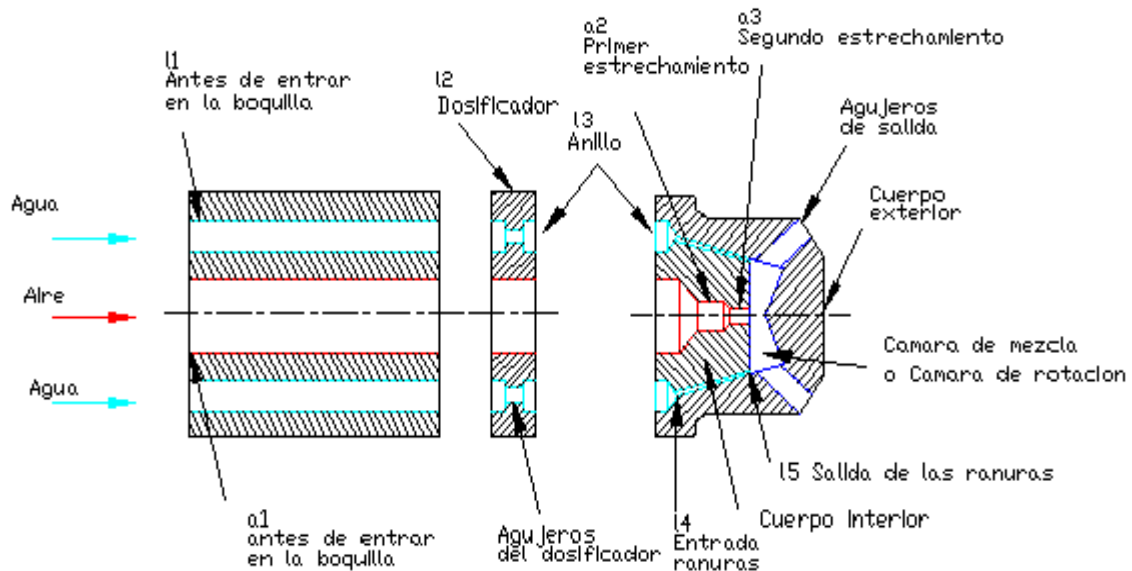


Figura #1 Diagrama de recorrido de los fluidos en la boquilla CECYEN. Secciones y partes fundamentales.

Las boquillas de atomización de combustibles pesados CECYEN se caracterizan por estar compuestas por dos elementos, boquilla exterior y boquilla interior, que se ajustan entre sí para su funcionamiento, las que se montan al quemador de igual forma que las de tipo "Y", por lo que no se requieren modificaciones al mismo [9].

La boquilla interior presenta ranuras angulares de sección variable por las que se desplaza el combustible a presión, imprimiéndole a éste mayor velocidad, sentido de rotación y le disminuye el espesor de lámina al comprimirse contra la pared cónica de la boquilla exterior.

Además posee un orificio central pasante con dos diámetros, por el que pasa el vapor a presión que se impacta en el cono invertido de la cámara de desintegración de la boquilla exterior para el rompimiento de la lámina de combustible en gotas y la descarga de la mezcla vapor-combustible (spray) al exterior. La boquilla exterior presenta el orificio cónico de ajuste para la boquilla interior, la cámara de rotación-desintegración y los orificios angulares para la descarga a la atmósfera de la mezcla vapor-combustible [9].

Estudios experimentales realizados con ambas boquillas [5,10,11] arrojan como resultado que a pesar de que los valores de la relación del flujo másico de aire-



ISSN 1029-3450



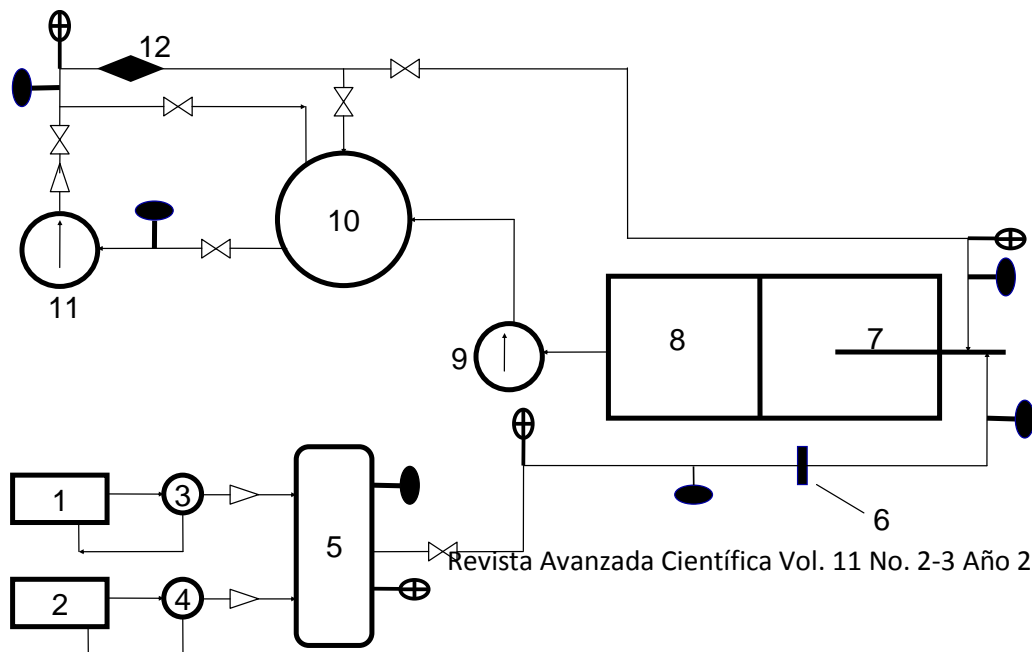
líquido obtenido era aproximadamente igual y que con la boquilla tipo “Y” se obtiene un mayor coeficiente de descarga, la diferencia radica en que a iguales parámetros de prueba, se obtiene un mayor flujo de agua (sustituto del combustible para las pruebas en frío) con una diferencia del 13% con respecto a la boquilla tipo “Y”, cuestión planteada teóricamente con anterioridad en trabajos realizados sobre el tema [12]. Característica que favorece al proceso de atomización [13] pues al aumentar el flujo de aire necesario para dicho proceso, este tiende a bloquear el área de los orificios de salida. Por otra parte, es necesario un mayor valor de presión absoluta de aire para alcanzar diferentes condiciones operacionales, resultando en un incremento de la velocidad del aire a la salida de los orificios del atomizador. Estas condiciones contribuyen a la formación de una nube de gotas con un menor diámetro de gotas promedio que el generado por las boquillas tipo “Y” comerciales.

DESARROLLO

Banco de pruebas para atomizadores de combustibles pesados.

En el mundo actual los estudios de atomizadores exigen equipos sofisticados de láser computacional al costo de miles de dólares, dificultando su accesibilidad a los institutos de los países del Tercer Mundo interesados en este campo de investigación. En las CTE del país, los bancos de prueba de quemadores existentes, no rebasan los métodos tradicionales de comprobación de los parámetros fundamentales de trabajo, valorando solamente mediante la medición del flujo de líquido, los desgastes interiores que provocan un aumento en el consumo de combustible, sin considerar la importancia de la medición del flujo de gas (vapor de proceso), ni tienen instalados equipos para la evaluación de este parámetro.

Para posibilitar un mejor estudio de los atomizadores diseñados por el Centro de Estudios de Combustión y Energía (CECYEN) de la UMCC y para la corrección de la metodología de cálculo de diseño elaborada, se diseñó y fabricó un nuevo banco de pruebas de quemadores[14], empleando agua y aire en sustitución del combustible y el vapor de atomización respectivamente, empleados en las condiciones reales de combustión.





ISSN 1029-3450



Figura #2 Instalación experimental

1 y 2 – Compresores de aire. 3 y 4 – Separadores de aceite. 5 – Depósito de aire. 6 – Placa orificio. 7 – Caña de quemador. 8 – Banco de planchas de acero. 9 – Bomba de agua secundaria. 10 – Tanque para almacenamiento de agua. 11 – Bomba de agua principal. 12 – Medidor del flujo de agua. - Válvulas. - - Puntos de medición de presión.- - Puntos de medición de temperatura.



Para la construcción y montaje del banco, se instalaron los siguientes equipos:

- ❖ Bombas de agua (dos).
- ❖ Compresores de aire.
- ❖ Banco de pruebas de atomizadores.
- ❖ Tanques y tuberías para agua y aire.
- ❖ Instrumentación para mediciones de temperatura, presión y flujo.
- ❖ Equipos y dispositivos eléctricos.

Para el bombeo de agua a presión hasta el atomizador se instaló una bomba centrífuga multietápica con capacidad de 120 lt / min, 165 m de carga y 7.5 kW de potencia, la cual cumple con los requisitos necesarios para la prueba de una amplia gama de atomizadores. Para la recirculación del agua al tanque principal se emplea otra bomba más pequeña que la anterior, evitando así la acumulación de agua en el interior del banco lo que facilita su uso repetidas veces.

Los compresores seleccionados son de tipo alternativo diseñados para trabajar en un ciclo de refrigeración con amoníaco, por lo que fue necesario realizar las modificaciones pertinentes para emplearlos en la compresión de aire. El flujo volumétrico de aire manipulado por los compresores es de 98 Kg / h con presión de trabajo hasta 10 bar.

El banco se construyó con planchas de acero donde se soporta la caña de quemador y la boquilla de atomización en estudio. Las tuberías de aire y agua se sujetan por los laterales. Las presiones de ambos fluidos se regulan mediante válvulas de operación manual. Su disposición permite visualizar el cono de pulverización de la boquilla con cámara digital en vistas superior y trasera con la mayor amplitud posible. La caña empleada es similar a la de los quemadores de la Central Termoeléctrica Antonio Guiterras, pero con la longitud reducida a un metro. De esta manera se posibilita estudiar los atomizadores diseñados para esta unidad, así como los de la CTE José Martí, pero estos últimos mediante el uso de un dispositivo de acoplamiento, diseñado específicamente con este fin.

Para el almacenamiento del agua se dispone de un tanque cilíndrico de acero situado en posición vertical con capacidad de 1 m³, el cual tiene conectadas



ISSN 1029-3450



las tuberías de succión y descarga de la bomba con todos los accesorios imprescindibles, así como la de recirculación desde el banco de pruebas y las de llenado y vaciado.

Como depósito de aire se dispone de un tanque de acero situado en posición horizontal firmemente anclado y con calzos de goma ubicados entre los apoyos y el piso para absorber posibles vibraciones. En la parte superior se instaló una válvula de seguridad para evacuar el aire a la atmósfera en caso de aumento excesivo de la presión y un drenaje en el fondo para extraer posibles acumulaciones de agua por condensación. Su capacidad es de 0.34 m^3 .

La selección de las tuberías para conducir el aire y el agua desde los compresores y la bomba hasta el atomizador situado en el banco, se realizó teniendo en cuenta los flujos y velocidades recomendadas, obteniendo así los diámetros correspondientes para las caídas de presión mínimas, comprobándose mediante el cálculo hidráulico de cada tubería.

Para la realización adecuada del estudio de cada atomizador, es necesario medir un grupo de parámetros en diferentes puntos de la instalación, tales como:

- Presión de agua en la entrada de la caña.
- Presión de aire antes de la placa orificio y en la entrada de la caña.
- Temperatura del aire antes de la placa orificio.
- Temperatura del agua antes de la caña.
- Flujo de agua al atomizador.
- Flujo de aire al atomizador.

Para la medición del flujo de aire se empleará un medidor de placa orificio. La diferencia de presión que provoca la placa es captada por una columna diferencial con la escala en milímetros de agua y empleando agua como líquido indicador. El flujo de agua se mide con un contador volumétrico ubicado en la salida de la bomba.

Las mediciones de temperatura se realizarán empleando sondas de resistencia (termo resistencias), ubicadas en cada punto con aditamentos roscados y según las indicaciones para instalar estos dispositivos. La señal es enviada a un equipo electrónico digital alimentado con corriente eléctrica de 220 V. El valor de temperatura se muestra en una pantalla con una precisión de $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los equipos y dispositivos eléctricos se han seleccionado según los parámetros de trabajo de los compresores y las bombas, conociendo los datos de cada



ISSN 1029-3450



motor eléctrico. Tomando como base el consumo de corriente de cada motor se seleccionaron los cables eléctricos, disyuntores o breakers, arrancadores magnéticos y protecciones térmicas.

Diseño experimental.

Teniendo en cuenta los requisitos de operación real en la CTE “José Martí”, la presión de trabajo para el combustible oscila en el rango de 4 - 6 bar y la presión de vapor de atomización de 6 bar, para un consumo de 10 t/h de combustible con 6 quemadores funcionando a carga máxima. Los límites de trabajo de los equipos del banco diseñado, son: 8 bar presión de líquido y 7 bar presión de gas. La diferencia de presión entre el líquido y el gas, debe ser menor que 1,5 debido a la restricción de la medición del flujo de aire con la placa orificio instalada [2]. Teniendo en cuenta lo antes planteado, se planificó el siguiente diseño de experimentos:

Diseño factorial completo (4^2) con 2 variables independientes, presión de líquido y presión de gas, a 4 niveles: 4,5(bar);5 (bar); 5,5(bar);6(bar) respectivamente.

El número de experimentos a realizar, fue determinado a partir de la siguiente ecuación:

$$N\# \text{ experimentos} = K^p * m \quad (2.1)$$

donde: K = # de niveles

p = # de variables independientes

m = # de réplicas

Primeramente se realizaron tres(3) réplicas, dando como resultado cuarenta y ocho(48) experimentos, pero al obtenerse un elevado valor de incertidumbre experimental, se decidió realizar cinco(5) réplicas para un número final de 80 experimentos a realizar.

Métodos de la medición de los parámetros.

Los parámetros a determinar en la experimentación son el flujo de agua y el flujo de aire a los diferentes niveles de presiones fijadas con anterioridad.

Para determinar el flujo de aire, es necesario medir la diferencia de presión existente en la columna diferencial que mide la caída de presión en la placa de orificio instalada, la presión de aire aguas arriba de la placa orificio y la temperatura del fluido. Quedando la ecuación [6] de la siguiente manera:



ISSN 1029-3450



$$Q = K \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P}{T}} \quad (2.2)$$

Q → Flujo de aire que pasa por la placa orificio (m^3 / h) estándar.

K → Coeficiente de ajuste para el cálculo del flujo de aire igual a 63,136 [adimensional]

ΔP → Caída de presión en la columna diferencial ($mbar$)

P → Presión antes de la placa orificio (bar)

T → Temperatura (K)

El flujo de agua se determina a partir de la ecuación 2.3. Para la medición del volumen se emplea un contador de volumen modelo PKM 32 del tipo rotor de paletas, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$Q = \frac{V}{T} \cdot 3600 \quad (2.3)$$

Q → Flujo de agua trasegado (l/h).

V → Volumen de agua que pasa (l)

T → Tiempo que demora (s)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos fueron calculados a partir de los promedios de los valores experimentales y de las réplicas realizadas. En las gráficas a continuación se muestran los resultados de mayor importancia para la evaluación del comportamiento del atomizador.

En la Figura 3 se aprecia un aumento del flujo de líquido al incrementar su presión, al mismo tiempo para una determinada presión de líquido, el flujo se comporta de manera inversamente proporcional a la presión de aire. A las presiones más bajas de aire (4,5 y 5 bar), el flujo de líquido aumenta de forma brusca para valores más pequeños de presión de líquido y de forma más lenta para los valores más elevados. Con los niveles más elevados de presión de aire (5,5 y 6 bar) se observa un comportamiento inverso.



ISSN 1029-3450

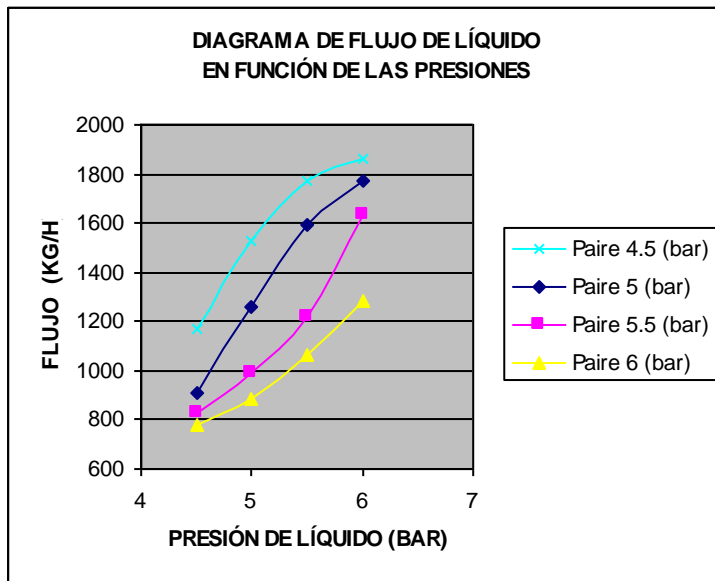


Figura #3 Comportamiento de flujo de líquido

La Figura #4 muestra una disminución del flujo de aire con el aumento de la presión de líquido, observándose los mayores valores a las mayores presiones de aire. En el caso de la curva correspondiente a 6 bar de presión de aire, el flujo disminuye gradualmente de forma lenta, lo que se puede explicar por la alta presión existente en el conducto de aire, la cual reduce el efecto que ejerce la alta presión de la cámara de mezcla sobre dicho flujo, no siendo así para las presiones bajas de aire, a las cuales el flujo sufre una brusca disminución.

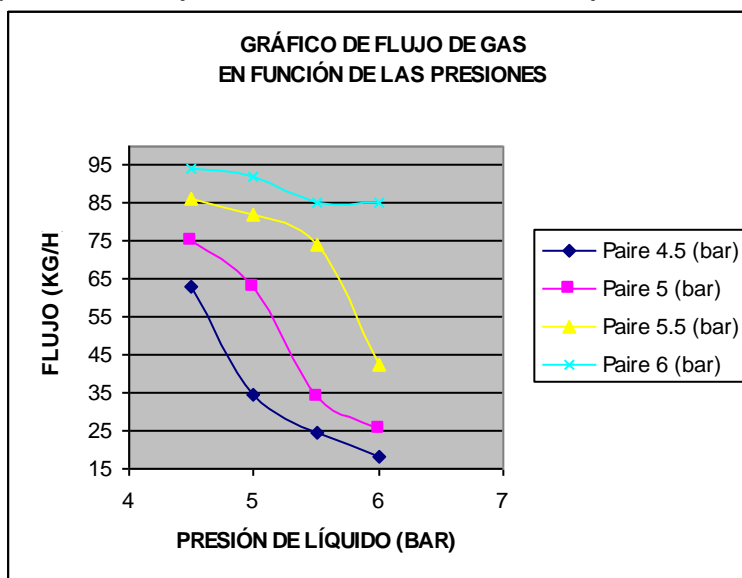


Figura #4 Comportamiento de flujo de gas

Un parámetro de gran utilidad según las referencias especializadas es la relación gas-líquido [7]. Esta relación másica de los flujos refleja un aumento en la calidad de la atomización en la medida de que su valor sea más pequeño.



ISSN 1029-3450



Los resultados reflejados en Figura #5, muestran que la mayor calidad de atomización del atomizador CECYEN diseñado para la CTE “José Martí”, se obtiene a una presión de líquido de 6 bar, independientemente del valor de la presión de aire a la cual se esté trabajando.

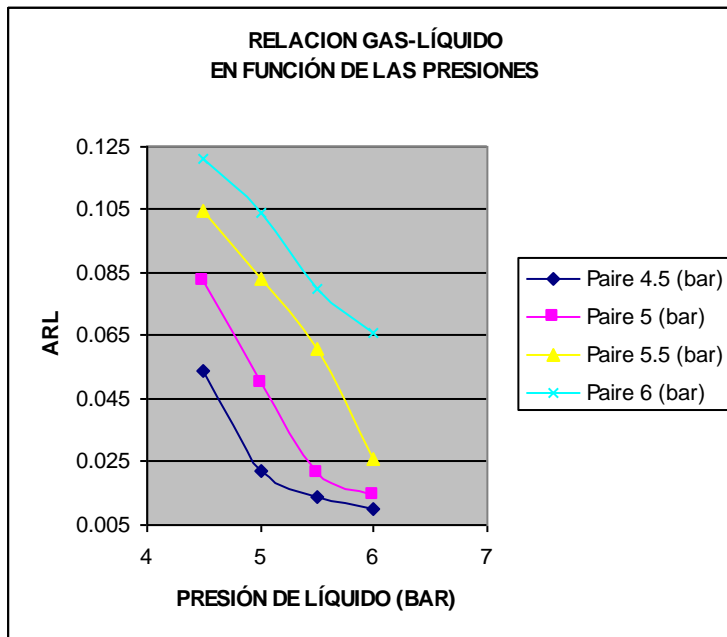


Figura #5 Relación gas-líquido en función de las presiones.

Incertidumbre Experimental:

Las incertidumbre de la experimentación se muestra en las tablas que aparecen a continuación:

Tabla #1 Incertidumbre experimental para 3 réplicas

Medición	Flujo aire	Flujo agua
Error sistemático (ΔX_{sist}) (%)	5,4	0,351
Error casual (ΔX_{cas}) (%)	0,026	5,4
Error total de la medición (ΔX_t) (%)	5,4	5,4
Error relativo (Γ_x) %	5,4	5,4



ISSN 1029-3450



Tabla #2 Incertidumbre experimental para 5 réplicas

Medición	Flujo aire	Flujo agua
Error sistemático (ΔX_{sist}) (%)	3,73	0,351
Error casual (ΔX_{cas}) (%)	0,020	3,27
Error total de la medición (ΔX_t) (%)	3,73	3,27
Error relativo (Γ_x) %	3,73	3,27

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos con cinco(5) réplicas, arrojan una menor incertidumbre experimental, por lo que es recomendable para futuros estudios en el banco de prueba, realizar cinco(5) réplicas de la experimentación a realizar.

CONCLUSIONES

El banco de pruebas construido permite la determinación de los flujos principales de trabajo de los atomizadores de doble fluido, con una incertidumbre experimental dentro de los valores permisibles.

Los comportamientos de los flujos de trabajo son similares a los obtenidos en instalaciones de laboratorios de prestigio internacional.

Se observa un valor mínimo de la relación gas – líquido para la mayor presión de líquido alimentado.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Blei, S., Sommerfeld M. Investigation of droplet collisions of viscous process fluids by imaging techniques” 19th ILASS EUROPE. Nottingham, United Kingdom.2004. p 100-105.
2. Jasuja, Arvind K. 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.
3. Tamaki, N., Shimizu, M., Hiroyasu, H. Atomization of high-viscous liquid jet by internal mixing twin-fluid atomizer” 19th ILASS EUROPE , Nottingham, United Kingdom. 2004. p. 405 .
4. Lincheta E., Suárez J., Barroso J., Lozano A., Barreras F. Cabezal atomizador de alta eficiencia para líquidos viscosos y su uso. Registro de Patente 2002-0322.Cuba. aprobada en diciembre 2004 .
5. Barreras F., Lozano A., Lincheta E. Performance of twin-fluid nozzles with an internal swirl chamber”. 19th ILASS EUROPE. Nottingham, United Kingdom p .623-628.



ISSN 1029-3450



6. Fernández D.; López, H.; Hernández J. Pruebas Evaluativas de Quemadores. CTE José Martí. Informe Técnico. INEL-UNE Julio 2003.
7. Lincheta Mesa, Eduardo. Nuevos atomizadores para la pulverización eficiente de petróleos pesados. Tesis doctoral 2005. Matanzas. Cuba.
8. Donate Cartas, E.: Estudio para la generalización de los atomizadores CECYEN. Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias. Universidad de Matanzas. Matanzas, 2005. 49 p.
9. Lincheta Mesa, Eduardo, et al Desarrollo de atomizadores para petróleos pesados. III Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica. 2003.
10. Lincheta Mesa, Eduardo. Estudio para elevar la eficiencia en los atomizadores de fuel-oil pesado mediante la optimización de su diseño geométrico". Informe técnico. Matanzas. Cuba. 2003
11. Sánchez Sánchez, L.M.: Estudio de la estructura turbulenta de un inyector coaxial. Resumen de la Tesis de Doctorado en Tecnologías Industriales]. Disponible en: <http://www.uc3m.es/>
12. Kirpalani, D.M., Mc Cracken, T.W. Performance diagnostic for nozzles fed with multiphase flow. 18th ILASS EUROPE . Spain. 2002. p. 369-374 .
13. Jicha, M., Jedelsky, J., Otahal, J., Slama, J. "Influence of some geometrical parameters on the characteristics of effervescent atomization". 18th ILASS EUROPE. Spain. 2002. p.345-350 .
14. Donate Cartas, Evelio. Suárez Boza, Sergio Marlon. García Morales, Osvaldo. Lincheta Mesa, Eduardo. Banco de pruebas y metodología para el dimensionado de atomizadores de doble fluido. Foro Internacional de Energía y compromiso ambiental. Coatzacoalcos, México. 2006.

Fecha de recepción: 14/09/2008 **Fecha de aprobado:** 21/09/2008