

## CARACTERÍSTICAS TURBULENTAS DE UN CHORRO CIRCULAR CON RECTIFICADOR DE FLUJO

O. García Aranda, H. López Martínez. y F. Solorio Ordaz<sup>(1)</sup>  
Departamento de Termofluidos, DIMEI  
Facultad de Ingeniería, UNAM  
Ciudad Universitaria  
04510, México, D.F.

(1) E-mail: [fjs@servidor.unam.mx](mailto:fjs@servidor.unam.mx)

### RESUMEN

Se presenta un estudio experimental en el que se comparan las características turbulentas de un chorro circular simple con las de un chorro múltiple proveniente de un rectificador formado por un aglomerado de pequeños tubos o popotes colocado a la salida de un tubo de sección circular. Se concluye que el efecto del rectificador en los perfiles de velocidad medio y turbulentos se pierde rápidamente, pudiéndose afirmar que a partir de una distancia de tres veces el diámetro, no hay una diferencia significativa entre el chorro simple y el múltiple o rectificado.

### ABSTRACT

The mean velocity and the turbulent characteristics of a simple and a multiple circular jet are compared in this work. The multiple jet is obtained with a flow rectifier formed with drinking straws placed in the exit of a circular tube. The effect of the flow rectifier is quickly lost and from  $x/D=3$  there is no difference between the profiles of the simple and the multiple jets.

### NOMENCLATURA

D	diámetro del tubo
$U_m$	velocidad media temporal en el centro del chorro
$u_{rms}$	raíz cuadrática media de la componente en x de la velocidad
$u' v'$	esfuerzos de Reynolds
x	coordenada en la dirección del eje del chorro
y	coordenada en la dirección normal al eje del chorro
$y_{0.5}$	distancia desde el centro del chorro hasta donde $u=U_c/2$
s y c	subíndices que indican sin y con rectificador

### INTRODUCCIÓN

Los chorros son flujos que se encuentran en múltiples aplicaciones en ingeniería y en la naturaleza. Se presentan en chimeneas, en los escapes de los automóviles, en cámaras de combustión, en procesos de enfriamiento de superficies, en las descargas de agua o productos industriales, entre otras. La forma en que los chorros se mezclan o diluyen en el medio que los rodea es de suma importancia en estudios de contaminación ambiental.

Las características hidrodinámicas de los chorros circulares están bien estudiadas, como se puede ver en algunos libros clásicos [1-3]. Otro tipo de geometrías de la sección transversal también se encuentran bien documentadas en la literatura especializada [4-6]. En algunos procesos es necesario el uso de varios chorros interactuando entre ellos, por ejemplo en el suministro de aire y combustible gasificado en una cámara de combustión, lo que crea la necesidad del estudio de los llamados chorros múltiples. En este sentido se tiene el trabajo de Krothapalli et al. [7] quienes obtienen, mediante anemometría de hilo caliente, el perfil de velocidades promedio y los esfuerzos de Reynolds para un arreglo de chorros que provienen de tubos de sección rectangular alargados, llegando a la conclusión de que después de cierta distancia, el perfil de velocidades es muy similar al de un chorro proveniente de un solo tubo de sección rectangular y la turbulencia se hace prácticamente isotrópica. Por otro lado, Mostafa et al. [8] realizan un estudio numérico y experimental de un chorro múltiple formado por la descarga de aire desde tres conductos de sección transversal rectangular contiguos. Comparan sus resultados numéricos y experimentales para la velocidad media, la energía cinética turbulenta y los esfuerzos de Reynolds, en varias localidades, encontrando buena concordancia. Encuentran que existe una fuerte interacción entre los chorros producto del transporte turbulento que

favorece el mezclado o intercambio de masa entre ellos.

En el presente trabajo se estudia una variante de los chorros múltiples, en la que estos chorros se obtienen mediante un rectificador de flujo a la salida de un tubo circular. Dicho rectificador se forma con un aglomerado de pequeños tubos o popotes para beber líquidos que llenan completamente la sección del tubo (ver Figuras 1 y 2), lo que da origen a un número igual de pequeños chorros adyacentes y paralelos entre sí. El objetivo es comparar los perfiles de velocidades promedio y turbulentas del chorro múltiple con los del chorro simple circular, y a partir de ello determinar la distancia a la que se pierde el efecto del rectificador.

## DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente el equipo experimental usado. El flujo se genera mediante un turbocompresor centrífugo, que descarga el aire a un tanque de atenuación, que sirve para quitar al flujo algunas irregularidades u oscilaciones generadas por el turbocompresor, y que además incluye un manómetro inclinado y un orificio calibrado para propósitos de aforo. Del tanque pasa el aire a un tubo recto de PVC de 3m de longitud y de 71mm de diámetro, en el extremo del cual se coloca el rectificador de flujo que genera el chorro múltiple. Este rectificador está formado por popotes de plástico de 5mm de diámetro y 12mm de longitud, colocados de tal forma que llenan completamente la sección de salida.

Los perfiles de velocidad medios  $U$  y turbulentos ( $u_{rms}$  y los esfuerzos de Reynolds  $u'v'$ ) se obtienen mediante un anemómetro de hilo caliente de dos componentes de velocidad, que incluye un dispositivo de calibración automática. El anemómetro cuenta con una interfase para su conexión a una computadora, que incluye el software para procesamiento de los datos. El sensor se monta en un sistema de posicionamiento 3D, que permite moverlo en los nodos de un mallado previamente programado.

## RESULTADOS

Los perfiles de velocidad se obtienen a lo largo de una línea transversal al flujo que pasa por el centro

del chorro, reportándose sólo la mitad dado que son simétricos. Se usa un mallado fino, de 1mm de separación entre nodos, para tener una buena resolución espacial en la medición. El número de nodos se varía de una sección a otra para asegurar que se abarca completamente el chorro, dado que su ancho aumenta con la distancia desde la salida. Se hicieron mediciones para las siguientes distancias:  $x/D=0, 1, 3$  y  $5$ .

Los perfiles de velocidad media y la  $u_{rms}$  se adimensionalizan con la velocidad en el centro del chorro para cada localidad de medición ( $U_m$ ), y los esfuerzos de Reynolds con el cuadrado de esta velocidad. La coordenada transversal  $y$  se adimensionaliza con  $y_{0.5}$ , que se define como la distancia desde el centro hasta donde la velocidad es igual a la mitad de la central, que en la mayoría de los casos es a su vez la máxima.

En la Figura 3a se muestran los perfiles de velocidad media para  $x/D=0$  y  $1$ . Se observa que el perfil es prácticamente plano en  $x/D=0$  para el chorro simple, como corresponde al flujo turbulento en una tubería, con un número de Reynolds aproximado de 47 000. El perfil rectificado en esta misma posición muestra claramente los picos que corresponden a los chorros individuales que salen desde cada popote. Para  $x/D=1$  se empieza a borrar la huella de los chorros individuales en el flujo medio y a partir de  $x/D=3$  los perfiles sin y con rectificador son prácticamente iguales, con la típica forma de campana de Gauss (Figura 3b).

En la Figura 4a se muestra la  $u_{rms}$  adimensional. Para  $x/D=0$  el chorro simple muestra una curva aplanada con un mínimo en el centro y un máximo cerca de la frontera del chorro. Como en el caso del perfil medio, para esta posición el chorro rectificado deja ver en los picos del perfil de la  $u_{rms}$  a los chorros individuales. Para  $x/D=1$  desaparece la huella de los chorros individuales y se tienen perfiles semejantes para los chorros simple y múltiple, con un mínimo en el centro y un máximo cerca de  $y/y_{0.5}=1.5$ , que es mayor para el chorro rectificado. A partir de  $x/D=3$  desaparece el efecto del rectificador en la  $u_{rms}$ , y ambos perfiles conservan un mínimo en el centro y un máximo en  $y/y_0=1$ .

Los esfuerzos de Reynolds tienen un comportamiento similar: sólo a la salida del tubo se nota la presencia del rectificador. A partir de  $x/D=1$  el chorro simple y el rectificado presentan prácticamente los mismo

perfiles, con un valor de cero en el centro y un máximo cerca de  $y/y_{0.5}$ , cuyo valor aumenta con la distancia desde la salida. Para el caso de los esfuerzos de Reynolds el efecto del rectificador se pierde a una menor distancia.

## CONCLUSIONES

El efecto del rectificador en los perfiles de velocidad media y turbulentas se pierde rápidamente, pudiéndose afirmar que a partir de una distancia de tres veces el diámetro no hay una diferencia significativa entre el chorro simple y el múltiple o rectificado. La difusión de cantidad de movimiento generada por las fluctuaciones turbulentas es la responsable de que se borre la huella del rectificador de esa manera.

De lo anterior se concluye que un rectificador de este tipo puede ser un dispositivo eficiente para mezclar dos fluidos diferentes, alimentados de forma independiente entre popotes contiguos. Para estudiar su eficacia rectificando el flujo sería necesario introducir una perturbación corriente arriba de su posición y observar si es capaz de eliminarla o atenuarla.

## REFERENCIAS

- [1] Schlichting, H., *Boundary-Layer Theory*, 7<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill, 1987.
- [2] White, F.M., *Viscous Fluid Flow*, McGraw-Hill, 1991.
- [3] Abramovich, G.N., *The theory of turbulent jets*, The MIT Press, 1963.
- [4] Mi, J., Nathan, G.J., Luxton, R.E., *Centreline mixing characteristics of jets from nine differently shaped nozzles*, Experiments in Fluids, Vol. 28, pp 93-94, 2000.
- [5] Gutmark, E., Schadow, K.C., Parr, T.P., Hanson Parr, D.M, Wilson, K.J., *Noncircular jets in combustion systems*, Experiments in Fluids, Vol. 7, pp 248-258, 1989.
- [6] Quinn, W.R., *On mixing in an elliptic turbulent free jet*, Physics of Fluids, A1, pp 1716-1722, 1989.
- [7] Krothapalli, A., Baganoff, D., Karamcheti, K., *Development and structure of a rectangular jet in a multiple jet configuration*, AIAA Journal, Vol 18, No. 8, pp 945-950, 1980.
- [8] Mostafa, A.A., Khalifa, M.M., Shabana, E.A., *Experimental and numerical investigation of multiple rectangular jets*, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 21, pp 171-178, 2000.

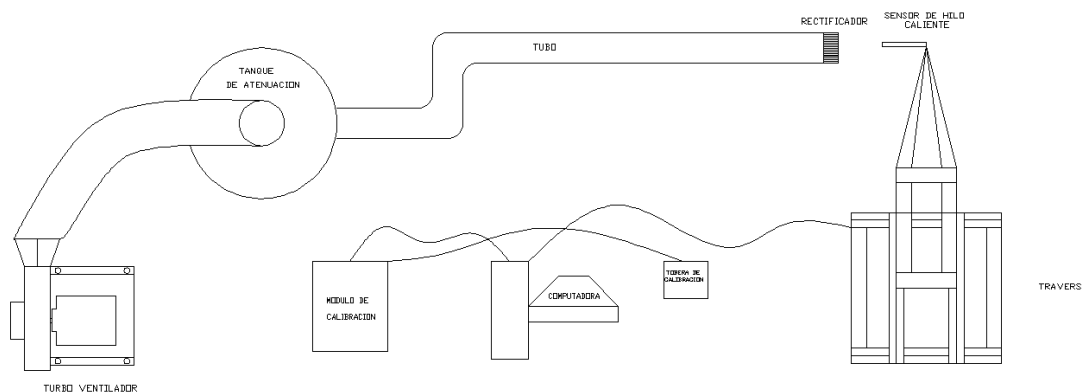


Figura 1. Sistema experimental

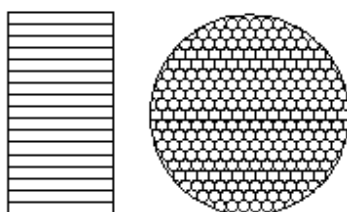
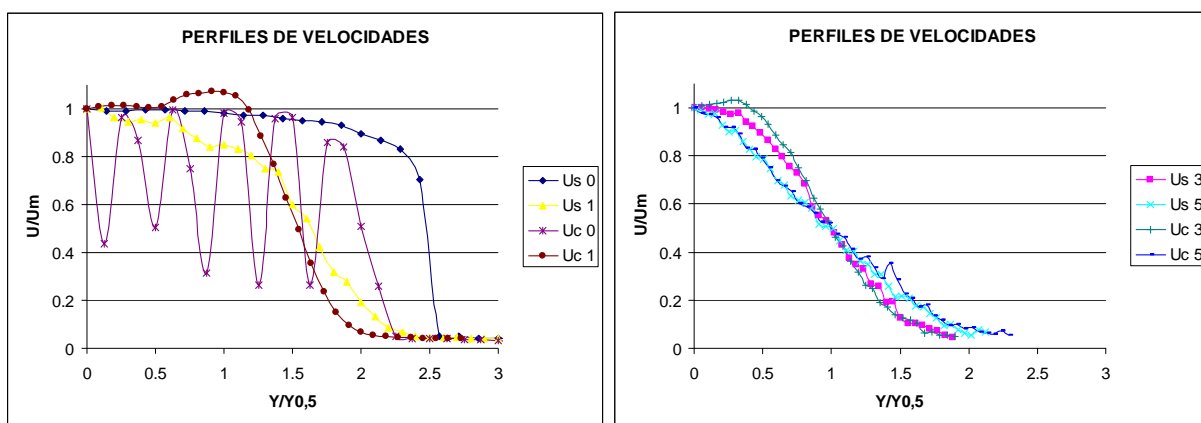


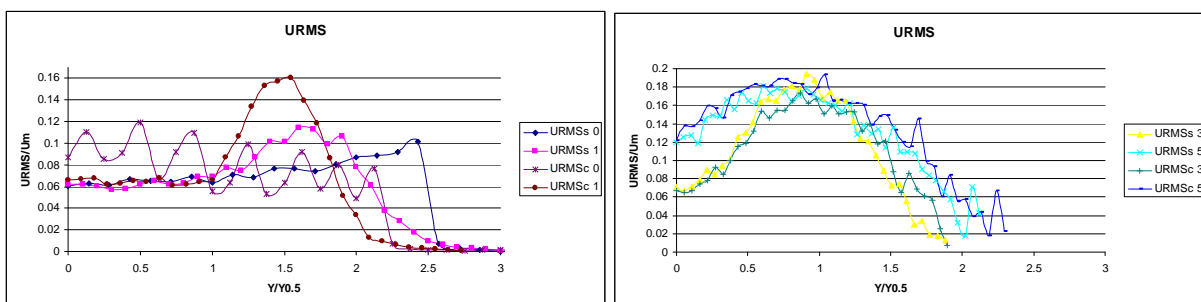
Figura 2. Rectificador de flujo



a)  $x/D=0$  y  $x/D=1$

b)  $x/D=3$  y  $x/D=5$

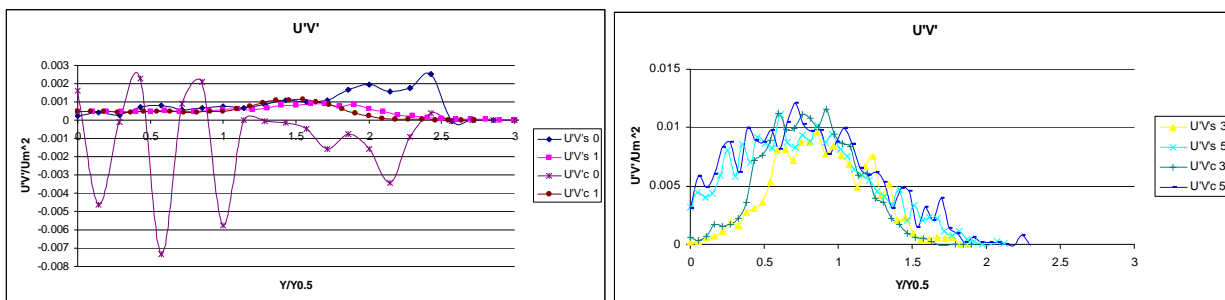
Figura 3. Perfiles de velocidad media del chorro sin y con rectificador



a)  $x/D=0$  y  $x/D=1$

b)  $x/D=3$  y  $x/D=5$

Figura 4.  $u_{rms}$  sin y con rectificador



a)  $x/D=0$  y  $x/D=1$

b)  $x/D=3$  y  $x/D=5$

Figura 5.  $u'v'$  sin y con rectificador