

12º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Guayaquil, 10 a 13 de Noviembre de 2015

ANÁLISIS NUMÉRICO DE UN EYECTOR DE EFECTO COANDA.

Sierra J.*, Hincapié D., Vélez S., Maya D.

*ITM, Instituto Tecnológico Metropolitano, Calle 73 No 76A – 354, Medellín, Colombia.

*e-mail: jorgesierra@itm.edu.co

RESUMEN

Se presenta la optimización de un eyector de efecto Coanda comercial mediante simulación numérica computacional en ANSYS FLUENT® V16.0. Para el procedimiento de simulación se realizaron 2 modelos CAD del modelo comercial ZH30-X185 de la marca SMC® en los cuales se variaron la apertura c que comunica la cámara de alta presión y la cámara de mezcla, donde c está en un rango de $0.3 < c < 0.8$ mm. Las condiciones de operación del eyector de efecto Coanda corresponden a una presión de alimentación de 0.20, 0.25 y 0.30 MPa para dos configuraciones con apertura c de 0.30 y 0.80 mm. Para el análisis numérico se implementó el modelo de turbulencia k -RNG con tratamiento de paredes. Aumento en la relación de flujo másico secundario (extraído) respecto al flujo másico primario (inyectado) fueron encontrados cuando se disminuyó la apertura c que comunica la cámara de alta presión y la cámara de mezcla.

PALABRAS CLAVE: Eyector Coanda, CFD, optimización, flujo compresible, experimental.

INTRODUCCIÓN.

El efecto Coanda fue descubierto por Henri-Marie Coanda (1885-1972), el cual representa la capacidad de un flujo de seguir una superficie curva sin presentar desprendimiento de la capa límite. El efecto Coanda ha sido estudiado e implementado en diferentes campos de la ingeniería. Aplicaciones aeroespaciales como el control de capa límite en aeronaves de corto despegue y aterrizaje, aplicaciones industriales como el transporte neumático de material particulado [1], sistemas de ventilación de bajo nivel amplificadores y extractores de aire son algunas de las aplicaciones industriales más comunes en las cuales se aplica el efecto Coanda. Estos dispositivos presentan algunas ventajas respecto a los sistemas convencionales de ventilación que utilizan sopladores o ventiladores, entre las cuales se puede resaltar el bajo mantenimiento debido a que no poseen partes móviles, no generan vibración, no requieren estructuras especiales de montaje debido a su ligero peso, fácil regulación de operación, solo basta regular la presión de inyección de aire comprimido, no requiere una instalación eléctrica y por ende menor costo de funcionamiento. Según D. Valetin et al.[1], a pesar de presentar mayores ventajas respecto a los sistemas de ventilación convencional, el estudio y su implementación industrial es poca debido a la falta de estudios que caractericen mejor su funcionamiento y la incidencia de parámetros operativos tanto geométricos como operativos.

El principio de operación de los eyectores de efecto Coanda es el siguiente, un flujo primario a alta presión es inyectado a la zona de mezcla mediante un canal curvo de hacia la zona de mezcla, esto debido al efecto Coanda. La transferencia de cantidad de movimiento entre el flujo primario (inyectado) y el flujo secundario (arrastrado) se presenta debido al esfuerzo de cizallamiento viscoso que se presenta en la capa de mezcla de los dos fluidos, a su vez un diferencial de presión se presenta en la zona de mezcla debido a la alta velocidad de salida del flujo primario, lo cual genera un arrastre de aire atmosférico a través del eyector. El rendimiento de este dispositivo está fuertemente influenciado por parámetros geométricos y operativos, específicamente la geometría del canal de inyección de aire primario, el radio de curvatura en la zona de mezcla y la relación entre la presión del aire primario respecto a la presión del aire secundario determinan la eficiencia del dispositivo. Pocos trabajos de modelación han sido realizados sobre los eyectores de efecto Coanda, lo cual da pie para realizar mejoras en algunos dispositivos existentes. Ameri, M [2] formuló un código de cálculo para el estudio de eyectores de efecto Coanda, este se apoya principalmente en las mediciones experimentales realizadas para dos geometrías de eyectores utilizando anemómetros de efecto Doppler. En la formulación de las correlaciones, se asume el fluido primario como isotrópico en la zona de mezcla con el fluido secundario y este aplica correctamente para las geometrías propias del estudio. Este modelo de cálculo puede ser aplicado satisfactoriamente en aplicaciones de baja presión donde las condiciones isotrópicas en la zona de mezcla se aproximan considerablemente a la naturaleza del flujo. Orioux [3], en vista a la limitación de régimen de flujo subsónico, el autor presenta dos modelos de cálculo a régimen subsónico y supersónico. Este encuentra que para régimen subsónico y supersónico no se replican correctamente los efectos de compresibilidad del aire primario y no se caracterizan los efectos de pared en la generación de la capa límite. Guerriero [4] realiza un estudio paramétrico mediante simulación computacional de fluidos y experimental con el fin de optimizar un eyector de efecto Coanda. Según el autor, la dimensión de apertura del canal de inyección del aire primario hacia la cámara de mezcla es fundamental respecto al desempeño del eyector. En este estudio se presenta la simulación numérica de un eyector de efecto Coanda comercial referencia ZH30-X185 de la marca SMC® (Ver Figura 1). El objetivo principal consiste en verificar, para este eyector en particular la incidencia de la variación de la apertura c en la relación de flujo másico secundario respecto al flujo másico primario inyectado.



Figura 1: Eyector comercial referencia ZH30-X185 de la marca SMC®.

MODELO NUMÉRICO.

Geometría y volumen de fluido.

La geometría de las piezas y el volumen de control de fluido se realizaron en el módulo DesignModeler® del software comercial ANSYS V16.0® (Ver

Figura 2). Para garantizar una réplica exacta de la geometría en la zona de mezcla, se realizó un procedimiento parcial de escaneo 3D con el equipo Artec Spider™ y previo tratamiento de la nube de puntos para verificar el radio de curvatura R a la salida de la zona de alta presión. La apertura entre la zona de alta presión y la zona de mezcla se obtiene por construcción y se denota por c.

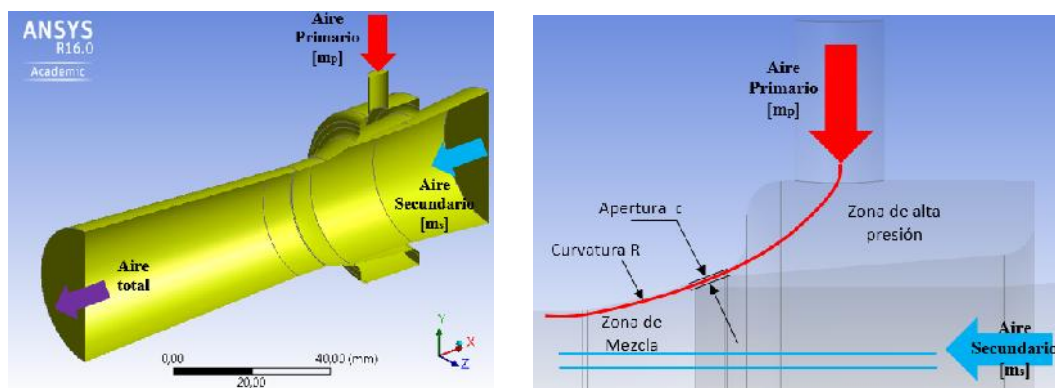


Figura 2: Isométrico del volumen de fluido del eyector de efecto Coanda comercial ZH30-X185.

Proceso de Discretización y condiciones de frontera.

El proceso de discretización del volumen de control se realizó en el módulo Meshing® del software comercial ANSYS V16.0®, aproximadamente 2.5 millones de elementos hexahedrales y prismas representan el volumen de aire al interior del eyector. Para el ajuste del número de elementos que conforman el volumen de control, se utilizó una adaptación dinámica de la malla cada 250 iteraciones teniendo como valor de ajuste el gradiente de velocidad normalizado entre 0 y 0,5, es decir que se realiza un proceso de refinación de la malla en aquellos elementos con gradiente de velocidad normalizado superior a 0,5. Para garantizar el correcto tratamiento de la capa límite cercano a las paredes del eyector (Wall), se utilizó un tratamiento para mejorar el mallado próximo a las paredes y se establecieron valores de y^+ entre 5 y 30.

Las condiciones de frontera asociadas al volumen de control se muestran en la Figura 3 y se establecieron de la siguiente manera: Presión total de 0.2-0.3 MPa para el suministro de aire comprimido- m_p , Presión total de 0.1 MPa para de ingreso del aire secundario- m_s , presión manométrica a la salida de 0 Pa. Se estableció una temperatura total del aire de 300 K en las 2 zonas de ingreso y a la salida del volumen de control. Condición de pared sin deslizamiento se estableció como representación de las superficies del eyector.

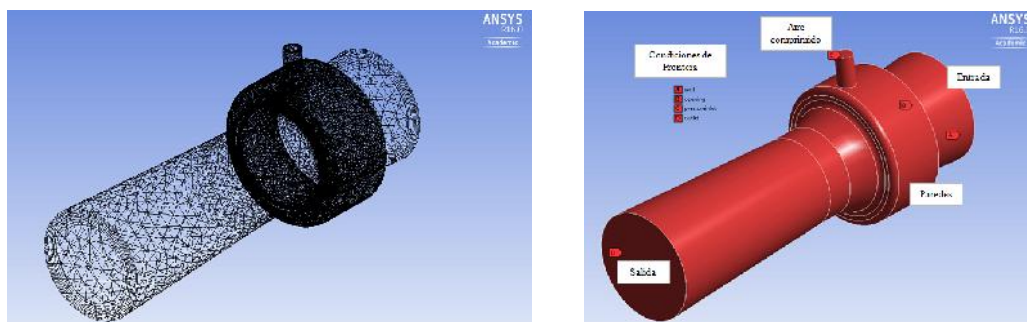
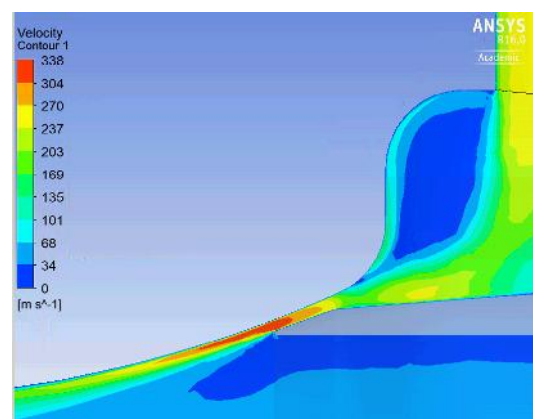
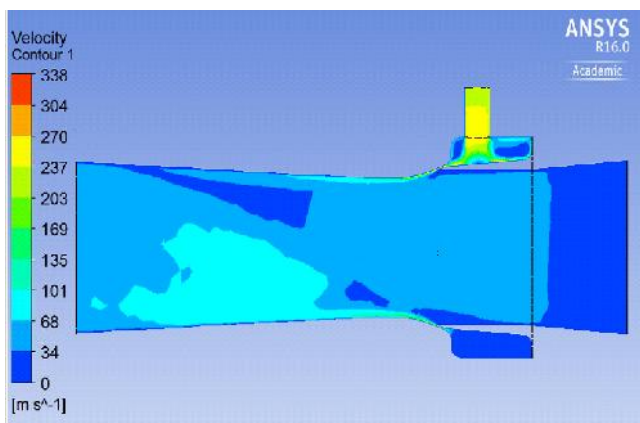


Figura 3: Discretización y condiciones de frontera del volumen de aire al interior del eyector
Análisis computacional

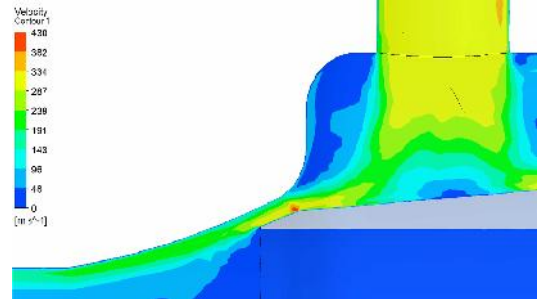
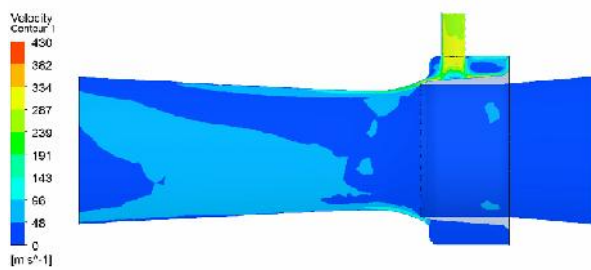
El proceso de solución de las ecuaciones de Navier Stokes para un flujo tridimensional y compresible se realizaron en el programa ANSYS Fluent® V16.0. Un método de solución implícito, de tipo de flujo Roe-FDS y discretización espacial de segundo orden garantizan una solución confiable. El fluido seleccionado es aire como gas ideal. El modelo de turbulencia corresponde al k- RNG en conjunto con la ecuación de energía para tener en cuenta la variación en la densidad del fluido. Para inicializar el sistema de ecuaciones, se selecciona la opción de inicialización híbrida, al cual disminuye el tiempo de cálculo considerablemente para un flujo compresible. El proceso de simulación se realizó en una Workstation Dell® Precision T7600 perteneciente al centro de cómputo del grupo Materiales Avanzados y Energía del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (MATyER-ITM). Los procesos de simulación se realizaron entre 40 y 140 horas según el caso analizado. Los criterios de convergencia para los procesos de simulación se determinaron en base a los residuos por mínimos cuadrados (RMS) y adicionalmente se monitorearon constantemente los flujos másicos para garantizar estabilidad del balance de masa en el volumen de control. La configuración del modelo se realizó de manera progresiva con el fin de evitar divergencia en los residuos. Discretización de primer orden, Courant Number de 0.1, término de relaxation de 0.15 fueron establecidos como solución inicial del sistema, luego se incrementaron progresivamente cada uno de los términos de configuración al igual que la presión del aire comprimido la cual se estableció inicialmente de 0.15 MPa con incrementos de 0.5 MPa hasta alcanzar el valor de la presión deseada.

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

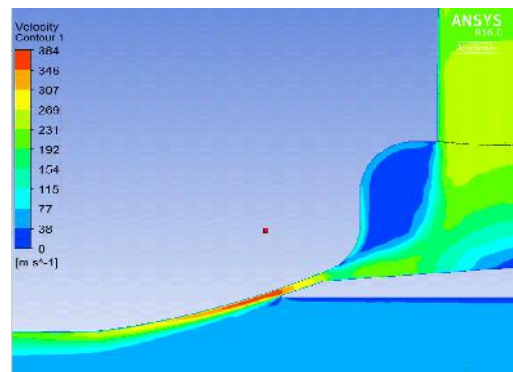
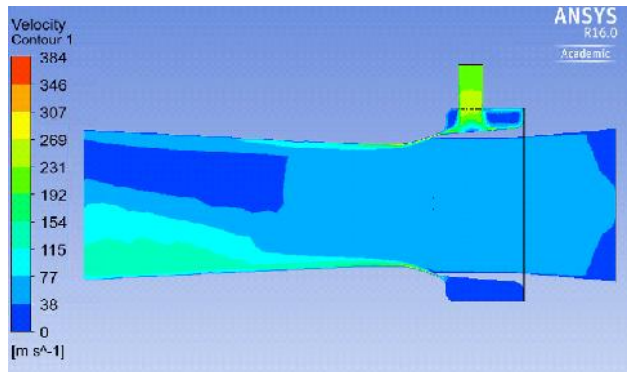
Contornos de velocidad se muestran en la **Figura 4** para las diferentes configuraciones. Se puede ver que el perfil de velocidad corresponde con los perfiles típicos de eyectores de efecto Coanda. Debido a las condiciones de operación del eyector, el aire se comporta como un gas ideal, teniendo esto en cuenta y sabiendo que la apertura c que comunica la cámara de alta presión con la zona de mezcla se asemeja a una tobera, se debe garantizar que el fluido en esta región sea sónico, y así garantizar condiciones de velocidad y presión supersónicas en la zona de mezcla. Analizando los contornos de velocidades para cada una de las configuraciones mostradas, se puede concluir que la mejor configuración del eyector corresponde para una $Ma = 1$ en la reducción (Ver **Figura 4** a y c).



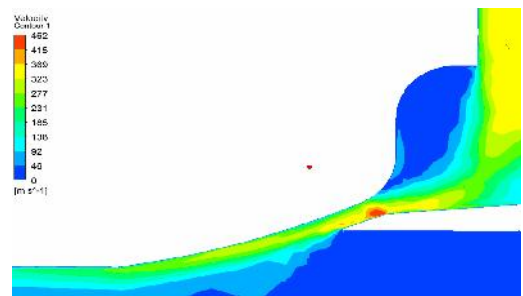
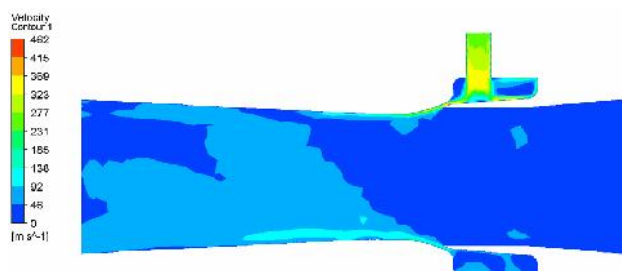
a) $c = 0.3 \text{ mm}$ y $P_{\text{aire comprimido}} = 0.2 \text{ MPa}$



b) $c = 0.8 \text{ mm}$ y $P_{\text{aire comprimido}} = 0.2 \text{ MPa}$



c) $c = 0.3 \text{ mm}$ y $P_{\text{aire comprimido}} = 0.25 \text{ MPa}$



d) $c = 0.8 \text{ mm}$ y $P_{\text{aire comprimido}} = 0.25 \text{ MPa}$

Figura 4: Contornos de velocidad en el plano de simetría y detalle en apertura c .

Los perfiles de velocidad obtenidos para las diferentes configuraciones son similares a los perfiles obtenidos experimentalmente para eyectores que funcionan bajo el mismo principio pero con dimensiones diferentes. En la Figura 5 se realiza una comparación cualitativa de los diferentes perfiles de velocidad en la zona de mezcla obtenidos para las diferentes configuraciones y presiones de operación. Se puede constatar que el perfil de

velocidad cercano a las paredes del eyector en la zona de mezcla y de la tobera es mayor que para la región central del eyector, es por esta razón que en la zona de mezcla se presenta una caída de la presión y por ende un empuje de masa de aire desde la zona de succión (Opening) hacia la salida del eyector (Outlet).

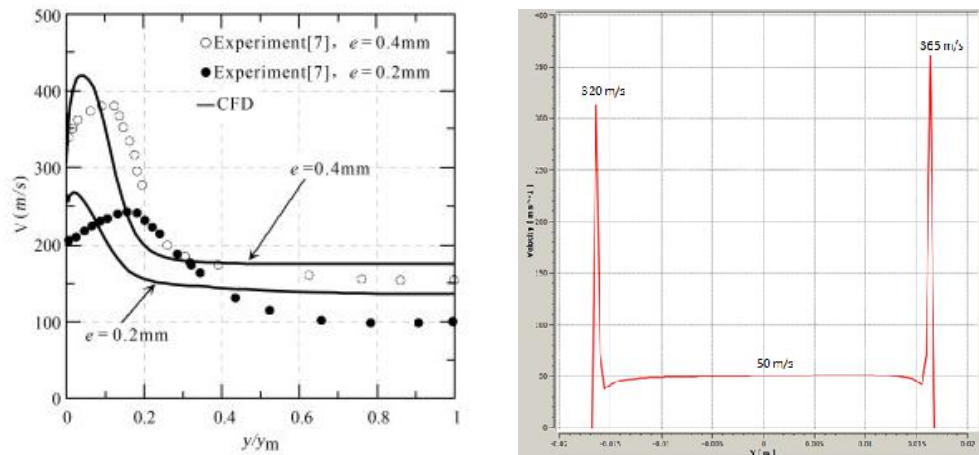


Figura 6 Comparación cualitativa del perfil de velocidad en la zona de mezcla. a) 0.6 MPa-c= 0.2- 0.4 adaptado de [6]; b) Presente simulación para c=0.3 y 0.25 MPa.

Cualitativamente el comportamiento de la presente simulación corresponde con los resultados experimentales utilizados por [6], sin embargo se puede observar una diferencia de velocidad entre la zona superior e inferior, esto se debe principalmente a que el aire en la cámara de alta presión presenta alta recirculación y por ende pierde energía cinética considerablemente, este fenómeno se observa claramente en la Figura 7.

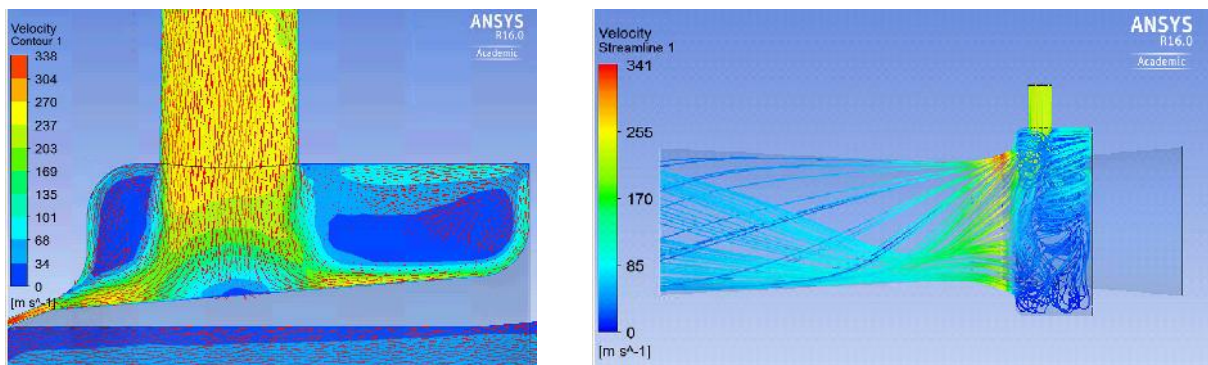


Figura 7: Contorno de vectores y líneas de flujo. Recirculación del aire en la cámara de alta presión.

Según H. D Kim et al. [6], el factor w determina bajo una perspectiva energética la eficiencia del eyector de efecto Coanda, el cual se define como la relación entre el flujo másico arrastrado o secundario respecto al flujo másico inyectado o primario. Luego de analizar los resultados de la Tabla 1, se puede ver que la apertura c , la cual comunica la cámara de alta presión con la zona de mezcla es inversamente proporcional al factor w , esto quiere decir que el eyector es mas eficiente cuando la apertura c disminuye, aclarando que existe una apertura c mínima a respetar con el fin de evitar el estrangulamiento del aire comprimido hacia la zona de mezcla.

Tabla 1: Resultados del proceso de simulación del eyector de efecto Coanda.

Apertura c [mm]	Presión Aire Comprimido [MPa]	Flujo másico en Pressure Inlet-mp [kg/s]	Flujo másico en Opening-ms [kg/s]	Flujo másico en Outlet [kg/s]	$w = \frac{m_p}{m_s}$
0,8	0,20	1,24E-02	3,42E-02	4,66E-02	2,76
	0,25	1,56E-02	3,31E-02	4,88E-02	2,12
	0,30	1,88E-02	4,76E-02	6,64E-02	2,53
0,3	0,20	1,19E-02	3,49E-02	4,68E-02	2,94
	0,25	1,45E-02	4,70E-02	6,15E-02	3,24
	0,30	1,83E-02	5,15E-02	6,98E-02	2,81

CONCLUSIONES.

La simulación numérica computacional de fluidos (CFD) ha demostrado la gran importancia del parámetro geométrico c en el funcionamiento del eyector de efecto Coanda. Para valores de c cercanos a 0.3 mm, el eyector presenta una relación entre el aire arrastrado respecto al aire inyectado cercana a $w = 3$. Otro factor importante en el funcionamiento del eyector, consiste en garantizar un flujo sónico (Mach 1) a través del canal que comunica la cámara de alta presión con la zona de mezcla, esto para garantizar condiciones de flujo supersónico en la tobera de salida del eyector y por ende aumentar la masa de aire arrastrado. Se puede concluir que para aplicaciones como el transporte de material particulado o sistemas de ventilación convencionales de bajo tamaño, el eyector de efecto Coanda presenta grandes ventajas respecto a los sistemas convencionales, tales como bajo mantenimiento, poco ruido, fácil instalación y mantenimiento.

REFERENCIAS

1. D. Valentin, A. Guardo, E. Egusquiza y P. Alavedra. Use of Coanda nozzles for double glazed facades forced ventilation. *Energy & Buildings*, vol. 62, pp. 605-614, 2013.
2. M. Ameri, An experimental and theoretical Study of Coanda Ejectors, Ph.D. thesis, Case Western Reserve University, 1993.
3. S. Orieux, Study and modelisation of coanda ejectors and associate devices, Ph.D. thesis, National Institute of Applied Sciences-Toulouse France, 1999.
4. V. Guerriero, Experimental and numerical study of coanda ejectors for pneumatic solid transport, Ph.D. thesis, National Institute of Applied Sciences-Toulouse France, 2008.
5. D. Valentin, A. Guardo, E. Egusquiza y P. Alavedra. Use of Coanda nozzles for double glazed facades forced ventilation. *Energy & Buildings*, vol. 62, pp. 605-614, 2013.
6. H. D, Kim, G. Rajesh, T. Setoguchi y S. Matsuo. Optimization Study of a Coanda Ejector. *Journal of Thermal Science*, vol. 15, pp. 331-336, 2006.