

# **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PLATOS BIPOLARES PARA UN PROTOTIPO DE CELDA DE COMBUSTIBLE PEM**

**P. Poot.<sup>1</sup>, P. Herrera.<sup>1</sup>, Y. Verde.<sup>2</sup>, M. Smit<sup>1\*</sup>.**

<sup>1</sup> Centro de investigación Científica de Yucatán., <sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Cancún  
Tel 999-9428330 ext 322, [mascha@cicy.mx](mailto:mascha@cicy.mx)

## **RESUMEN**

Uno de los componentes más importantes en una celda de combustible tipo PEM son los distribuidores de gases reactivos, que son llamados platos finales en una celda y platos bipolares cuando separan varias celdas en un stack. Entre sus funciones principales destacan: distribuir de forma uniforme los gases reactivos sobre la superficie de los electrodos, conectar eléctricamente en serie las celdas, separar los gases entre las celdas adyacentes, y proveer una estructura de soporte al stack. Debido a la baja temperatura de operación de la PEMFC (30° - 100°C) la humedad excesiva puede dar como resultado la condensación del vapor de agua. Eso causaría el bloqueo del flujo de gas dando como resultando una baja tasa de flujo de aire en el lado del cátodo e incrementando las pérdidas de voltaje debido al transporte de masa.

En este trabajo se presenta el diseño y evaluación de los canales de flujo de los platos bipolares para un prototipo de celda de combustible tipo PEM, tomando en cuenta las caídas de presión, y el desalojo de agua debida a las reacciones electroquímicas. Esta evaluación se llevó a cabo mediante simulación usando el método del volumen finito, que es empleado para resolver problemas de ingeniería y matemática física que incluyen, transferencia de calor, flujo de fluidos, transporte de masa y reacciones químicas. El software utilizado fue Ansys Fluent 12.0. que cumple con las requerimientos citados anteriormente.

## **1.- Introducción**

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte eficientemente la energía química de un combustible directamente a energía eléctrica, siendo el hidrógeno el combustible con el que se obtiene la más alta eficiencia, ligeramente mayor al 50% y aprovechando el calor que se genera para calentar agua y producir electricidad con una

turbina de vapor la eficiencia alcanza hasta un 85%. Entre los tipos de celdas o pilas de combustible se encuentran los siguientes [2], [16]:

- Celda de combustible de metanol directo (DMFCs): Usa metanol como combustible en vez de hidrógeno en forma directa. Esta celda trabaja a temperaturas que van de los 50 a los 120°C y logran una eficiencia de hasta 40%, y se usan en aplicaciones de baja potencia.
- Celda de combustible con membrana de intercambio de protones (PEMFC): Este tipo de celda, emplea hidrógeno como combustible y oxígeno como oxidante. Opera en un rango de temperaturas de 30 a 100°C y se emplea principalmente en vehículos y en dispositivos de potencia portátiles.
- Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC): Esta celda es la más comercializada la emplean hospitales, escuelas, casas, oficinas, etc. El ánodo y el cátodo funcionan de forma similar que en las celdas PEM, pero a temperaturas del orden de 150 a 200°C y la eficiencia total entre electricidad y calor alcanza hasta un 85%.
- Celdas de combustible de óxido sólido (SOFCs): La temperatura de operación de estas celdas es del orden de los 800 a 1000°C. La alta temperatura de operación elimina la necesidad de utilizar metales preciosos como catalizador. La eficiencia de este tipo de celda es del orden de 45 a 55% pero también puede aumentar aproximadamente a 85% si se aprovecha el calor que se desperdicia durante su funcionamiento.
- Celdas de combustible de carbonato fundido (MCFCs): La temperatura que alcanza durante su funcionamiento es del orden de 600 a 750°C y utiliza una mezcla fundida de carbonato como un electrolito. La eficiencia eléctrica es aproximadamente de 50 a 60% y aprovechando el calor que genera alcanzaría una eficiencia de entre 80 y 85%.

El presente trabajo se enfoca en el diseño y evaluación de platos bipolares para un prototipo de celda de combustible tipo PEM.

## **2.- Condiciones experimentales**

Se realizaron modelaciones de platos bipolares usando el Ansys Fluent 12.0. Las condiciones con las cuales se llevaron a cabo los modelados son las siguientes:

- Velocidad de entrada del gas 7 m/s
- Presión atmosférica a la salida
- Dimensiones del canal de entrada y salida 1mm x 1mm x 1mm.
- Dimensiones de los campos de flujo 7cm x 7 cm.

## **3.- Resultados y discusión:**

Los resultados que se presentan corresponden a la simulación del paso del hidrógeno a través de campos de flujo de tipo serpentín y de tipo cascada. La selección del diseño será con base al perfil en cual el campo vectorial de velocidad del **gas** muestre un comportamiento uniforme en toda el área del plato bipolar. Tanto en el perfil de serpentín como en el de tipo cascada se observó que existe un cambio en la velocidad del flujo del gas en donde ocurren cambios de dirección (en las curvas y en los obstáculos) e incluso existen regiones en donde la velocidad es mayor a la velocidad de entrada y regiones en donde la velocidad es cero. El perfil que presentó la distribución más uniforme del gas fue el tipo cascada, aunque se observa que la velocidad en la región central del plato decrece considerablemente, por lo que se pretende trabajar en él para mejorarlo.

Los resultados en este reporte están en el siguiente orden:

- Canales de flujo tipo serpentín
- Campo de flujo tipo cascada
- Simulación de una sección de canal recto con capa difusora

Los resultados de todas las simulaciones de este reporte se presentan en el plano  $z = 0.5$  mm, que es el plano simétrico de nuestros modelos, ya que la profundidad real de los campos de flujo es de 1 mm.

### 3.1.- Serpentín con esquinas cuadradas y con esquinas redondas

Las primeras dos simulaciones que se comparan una con otra son del tipo serpentín en 3D, con una longitud total de 115 mm, ancho y profundidad igual a 1 mm y con esquinas cuadradas en la primera simulación y esquinas redondeadas con un radio igual a 0.5 mm en la segunda.

Características del modelo:

- Longitud total = 115 mm
- Velocidad de entrada  $V_e=7$  m/s
- Presión de salida = presión atmosférica
- Fluido= hidrógeno

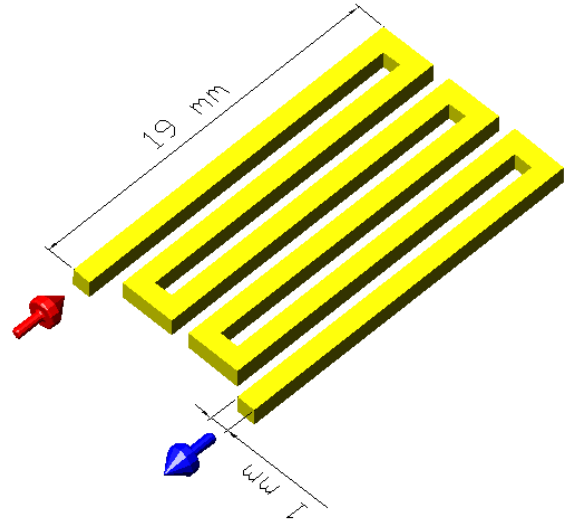


Figura 1.- Dimensiones del campo de flujo

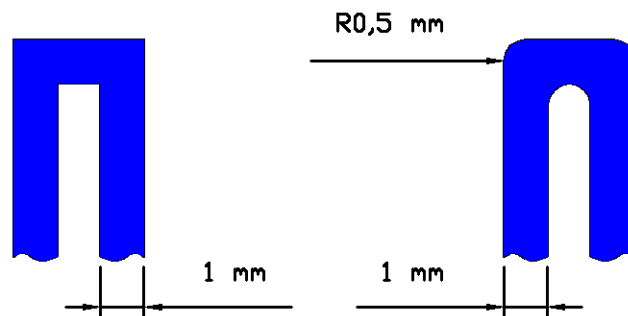


Figura 2.- Perfil de las curvas del serpentín.

#### 3.1.1- Perfil de velocidades

Los resultados obtenidos en las simulaciones de serpentín que se presentan en la figura 3, muestran que la velocidad del gas se incrementa hacia el centro de los canales, alcanzando velocidades mayores a la velocidad de entrada (7 m/s). En las regiones en rojo la velocidad es de 12.5 m/s y en las esquinas cuadradas en donde existen regiones en azul claro la

velocidad es de 1.2 m/s alcanzando 0 m/s en las zonas en color azul oscuro, lo cual nos indica que el gas se encuentra estancado. Esas zonas se minimizan redondeando las esquinas cuadradas con un radio de 0.5 mm en la segunda simulación.

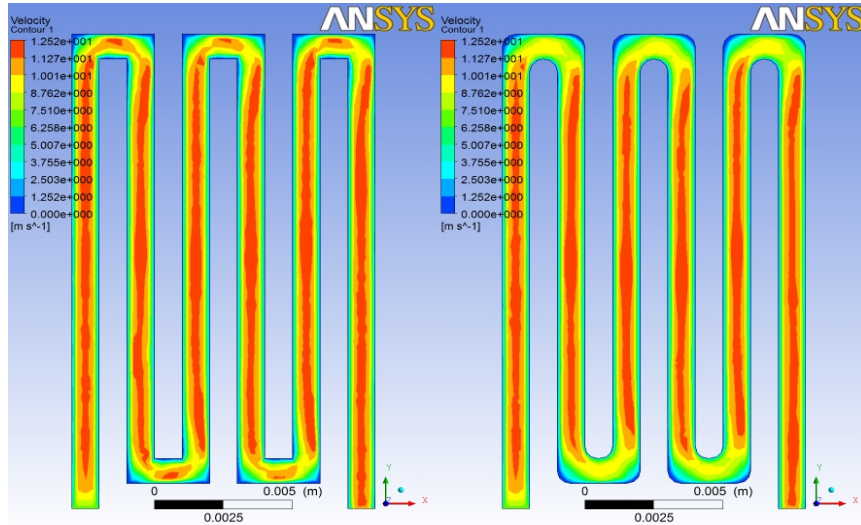


Figura 3.- Perfil de velocidad en los perfiles tipo serpentín

En las figuras 3 y 4 se puede observar que al redondear las esquinas se minimizan las zonas de estancamiento ( $V=0$  m/s). Observando estos resultados se sugiere incrementar el radio de las esquinas para reducir aún más esas zonas de estancamiento. Otro aspecto que llama la atención es que donde cambia la dirección del flujo hay cambio en la velocidad, y esto se puede observar en las zonas marcadas con elipses rojas en la figura 4, que muestran que en la simulación uno en esa región se alcanzan velocidades de entre 11.2 y 12.5 m/s (en color rojo y naranja) y en una zona similar pero en la simulación 2 la velocidad es del orden de 8.77 m/s (en color amarillo).

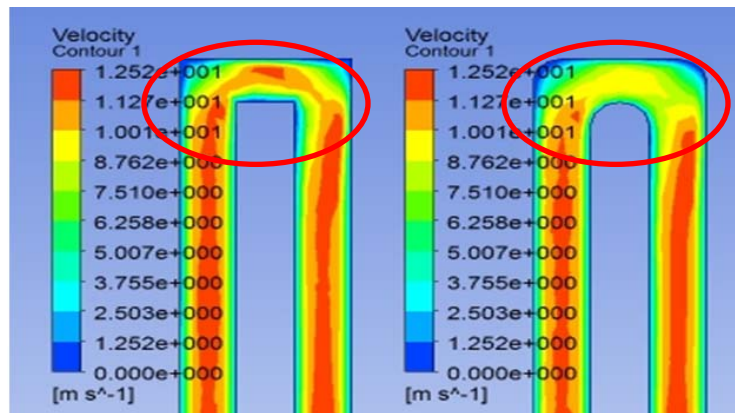


Figura 4.- Perfil de velocidad en las curvas de los perfiles tipo serpentín

### 3.1.2.- Perfil de presión

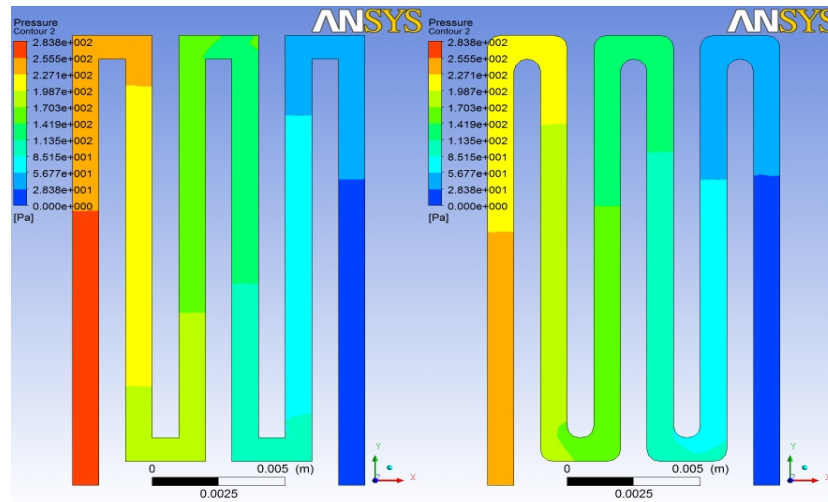


Figura 5.- Perfil de velocidad en las curvas de los perfiles tipo serpentin

En la figura 5 se observa que la diferencia de presión generada entre la entrada y salida de los perfiles varía de simulación a simulación solo por el hecho de redondear las esquinas. La diferencia de presión en el perfil con equinas rectas es de 283 Pa, mientras que la del perfil con esquinas redondeadas ( $r=0.5\text{ mm}$ ) es de 250 Pa, haciendo una diferencia de 33 Pa, que da como resultado un consumo de energía mayor en el perfil de la izquierda al hacer circular el gas a través de él.

### 3.2.- Campo de flujo tipo cascada con entrada de gas de 1 mm x 1mm

Los resultados se obtuvieron simulando la mitad de este perfil, esta mitad se refiere a simular solo un volumen con una profundidad de 0.5 mm en lugar de 1 mm que es el total de la profundidad real, esto es con el fin de no sobrecargar el procesador de la computadora en donde se realizan estas simulaciones.

Las características generales del modelo son las siguientes:

- Dimensiones: 20 mm x 20 mm x 05mm
- Velocidad de entrada ( $V_e$ )= 7 m/s
- Presión de salida= Presión atmosférica
- Fluido= hidrógeno

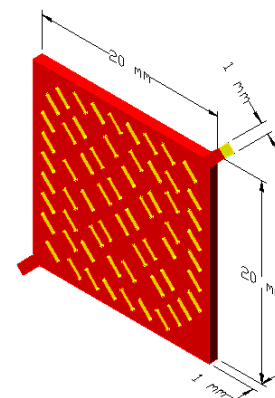


Figura 6.- Dimensiones del campo de flujo

Los obstáculos al paso del combustible son de forma rectangular y con esquinas redondeadas, el espesor es de 0.5 mm en ambos casos, la figura 7 muestra sus dimensiones.

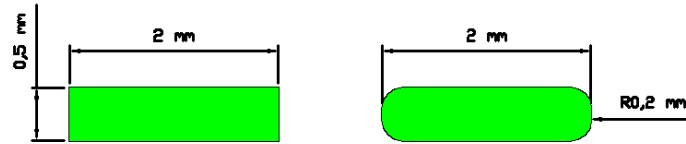


Figura 7.- Sección transversal de los obstáculos al paso del gas, con espesor de 0.5 mm.

### 3.2.1. Perfil de velocidades de las primeras dos simulaciones

Las primeras dos simulación de este perfil de diferencian uno del otro, en que el segundo tiene los bordes redondeados ( $r = 0.5$  mm), ambos tiene entrada cuadrada de 1 mm por lado y funcionan bajo las condiciones mencionadas en la sección anterior.

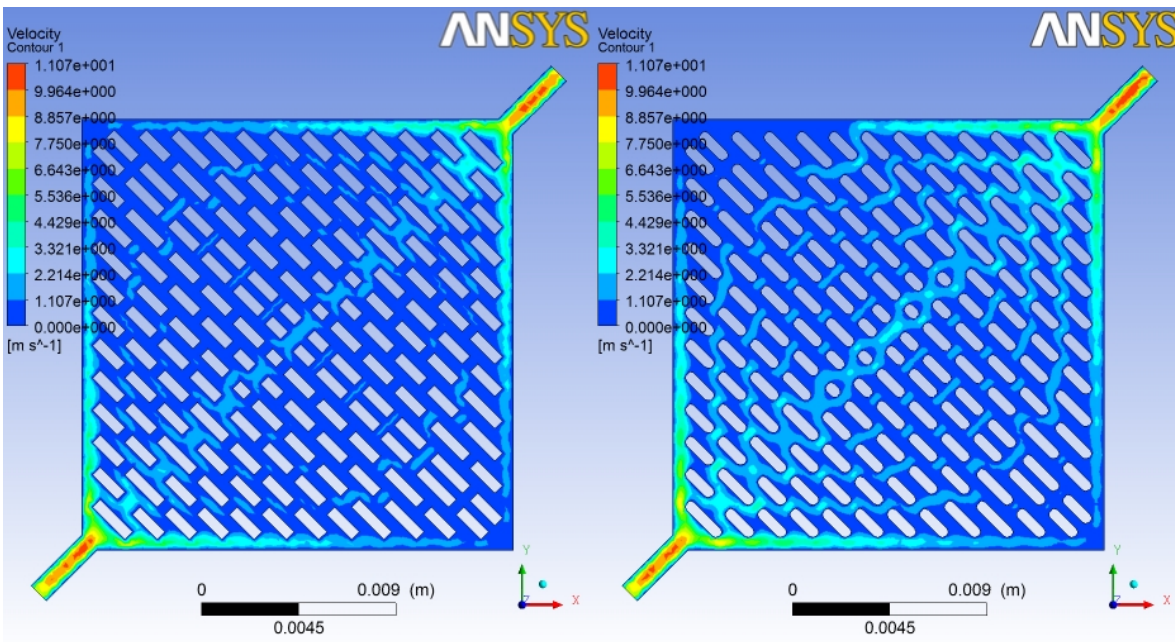


Figura 8.- Perfil de velocidad de la primera simulación tipo cascada

En la figura 8, se observan dos regiones bien definidas en cada simulación, una región en azul claro que representa una velocidad promedio de gas de 3.3 m/s y una región hacia el centro de color azul oscuro que representa una velocidad de 0 m/s, lo cual indica que el gas se encuentra estático o que hay ausencia del mismo. En la imagen de la derecha de la figura 8, el gas fluye únicamente hacia los costados y sobre la línea diagonal con dirección a la salida, mientras que en la simulación con los bordes redondeados, se forman otras líneas de



flujo paralelos a la diagonal con una velocidad promedio de 3.3 m/s, mejorando de esta forma la distribución del gas en el área central de este perfil de flujo, que correspondería al área de contacto del gas con el electrodo.

### 3.2.2.- Perfil de velocidades – simulación con obstáculos en los costados.

En vista de que el perfil que mostró un buen comportamiento en cuanto a la distribución de combustible fue el de los bordes redondeados, se continuo trabajando con él, además para evitar que el flujo pase preferentemente por los costados, se le incorporaron unos obstáculos semicirculares con  $r= 0.5$  mm a los bordes laterales de ambas geometrías, conservando las mismas características generales de geometría y funcionamiento.

La figura 9 muestra la comparación de dos perfiles en cascada, que se distinguen uno del otro en el primer obstáculo a la entrada del gas, encerrado en la elipse roja. En el primer caso el obstáculo rectangular tiene las siguientes dimensiones 1.4 mm x 0.5 mm con un redondeo en los bordes de 0.2 mm.

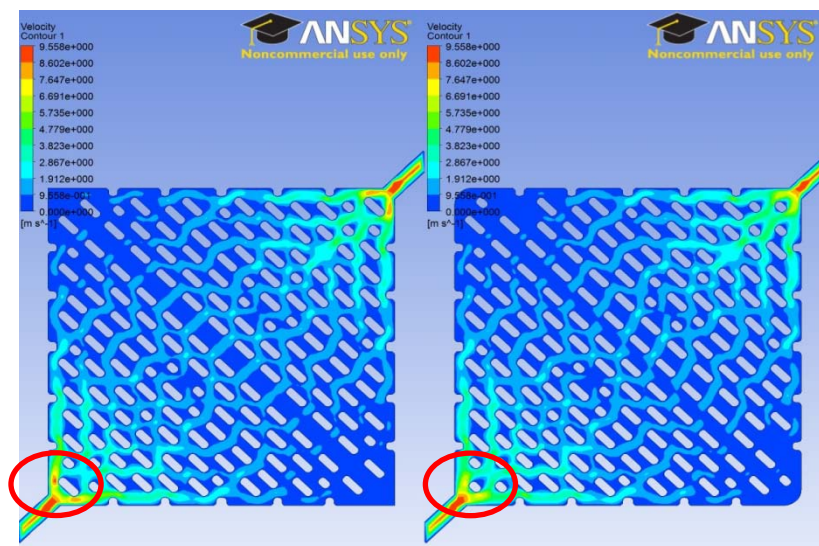


Figura 9.- Perfil de velocidad del campo de flujo tipo cascada con obstáculos laterales

En el segundo modelo el obstáculo es casi circular, siendo un obstáculo rectangular de 0.7 mm x 0.5 mm con un redondeo en los bordes de 0.2 mm.

En la figura 9 se observa el cambio en el perfil de velocidades con respecto a la simulación si obstáculos a los costados, es evidente que la velocidad del gas hacia el centro del campo de flujo mejora, al obligar al gas que fluye por los costados a cambiar de dirección hacia el centro. En ambos casos la velocidad promedio del gas hacia el centro que se muestra en color azul claro es de 3 m/s, existiendo en ambos casos regiones en azul oscuro con velocidades del gas de 0 m/s, pero el área de estas regiones son menores a las que se generaron en las simulaciones anteriores.



### 3.2.3.- Perfil de presiones del campo de flujo tipo cascada

Los perfiles de presiones de los casos anteriores fueron similares, por lo que solo se presenta los de los dos últimos casos

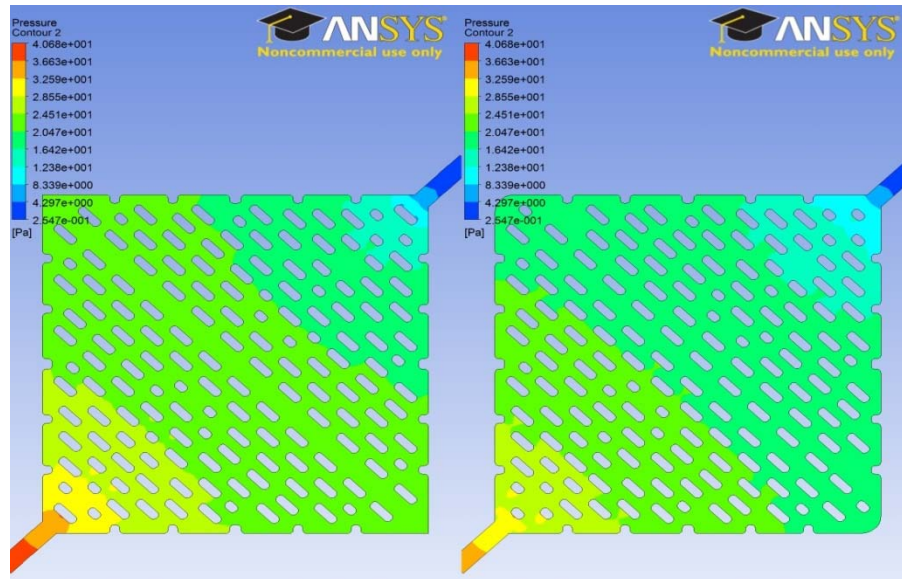


Figura 10.- Perfil de presiones del campo de flujo tipo cascada con obstáculos en los bordes.

La caída de presión es este perfil se muestra en la figura 10, en esta figura observamos que la caída de presión en la primera simulación (a la izquierda) es ligeramente mayor a la segunda, ya que es de 36 Pa (de la región en rojo de 36 Pa a la región azul oscuro 0 Pa), mientras que en la segunda es de 32 Pa (de la región naranja 32 Pa a la región azul 0 Pa). Las simulaciones de serpentin cubren un área de electrodo de 19 mm x 11 mm con una caída de presión en el diseño de esquinas redondeadas de 250 Pa, mientras que en las simulaciones del campo de flujo tipo cascada que cubren un área de electrodo de 20 mm x 20 mm tienen una caída de presión de 32 Pa, lo que indica que la caída de presión es 8 veces mayor en el perfil serpentin.

### 3.3.- Simulación del perfil de flujo tipo cascada con entrada de 2 mm x 1mm

Esta simulación solo difiere de la anterior en que el área de entrada de gas es dos veces mayor, ya que se incremento el ancho a 2 mm pero la profundidad se mantuvo en 1 mm, manteniendo las mismas condiciones de frontera de las simulaciones anteriores.

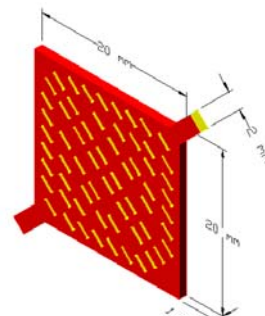


Figura 11.- Dimensiones de la entrada de gas

### 3.3.1. Perfil de velocidades

Los resultados de este modelo que se presentan en la figura 12 muestran un comportamiento similar entre ambos campos de flujo. La segunda simulación presenta pequeñas regiones en color rojo que indican zonas con velocidades de 10 m/s, que por consiguiente son regiones con suministro óptimo de combustible y aunque en la primera simulación no existen estas regiones, se compensa por ser un campo de flujo más fácil de fabricar por no contar con los obstáculos en los bordes.

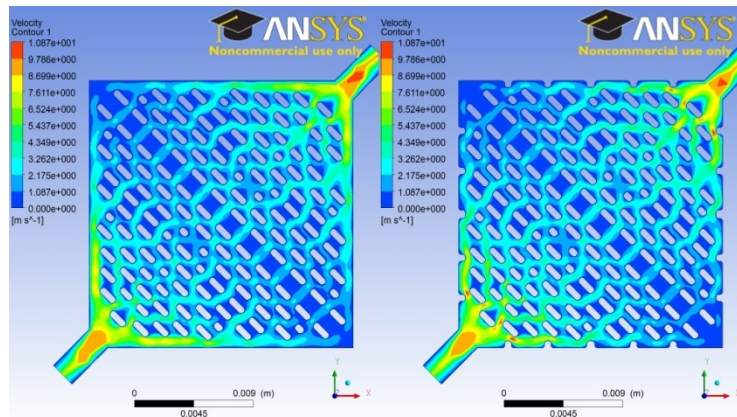


Figura 12.- Perfil de velocidades del campo de flujo tipo cascada con entrada de 2 mm x 1 mm.

Como es de esperarse, al duplicar el área de entrada del gas y en consecuencia duplicar el flujo volumétrico del mismo, las regiones con velocidad promedio de 3.3 m/s indicadas en color azul claro son más uniformes en estas simulaciones que en las anteriores, aunque en ambos casos la zona con estancamiento de combustible se encuentra en la diagonal perpendicular a la línea entre la entrada y salida de gas.

### 3.3.2.- Perfil de presiones del campo de flujo tipo cascada con entrada de 2 mm x 1mm

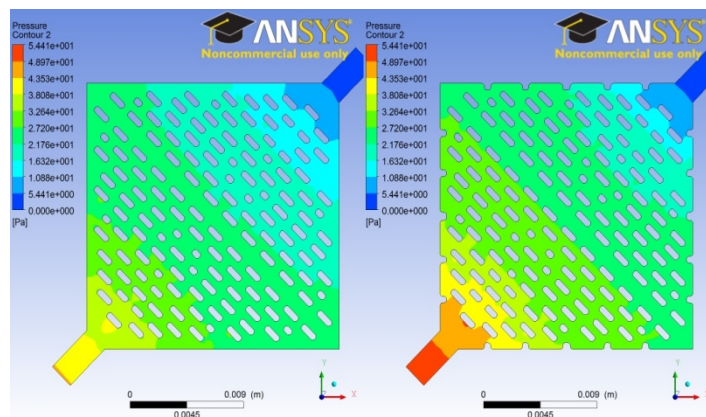


Figura 13.- Perfil de presiones del campo de flujo tipo cascada con entrada de 2 mm x 1mm.

La caída de presión en este último perfil tipo casada modelado se muestra en la figura 13, en ésta se observa que la caída de presión en la simulación uno es de 40 Pa, mientras que en la segunda simulación que es la que tiene obstáculos a los costados es de 54.4 Pa.

Las ventajas de la primera simulación de las figuras 12 y 13 son su fácil maquinado, su baja caída de presión y sobre todo por distribuir el combustible de una forma relativamente uniforme, por lo que es el elegido para continuar trabajando en la simulación de una celda de combustible tipo PEM.

#### **4.- Conclusiones**

En este trabajo se presento los resultados de la simular de paso de hidrógeno en distintos campos de flujo, como el serpentín y varias versiones del campo de flujo tipo cascada, del cual se selecciono el de la primera simulación de la sección 5, además de comprobar que la caída de presión en el campo de flujo tipo serpentín es mucho mayor que a las del tipo cascada, todo esto con la ayuda del software Ansys Fluent 12.0.

Como siguiente paso esta simular el comportamiento del campo de flujo seleccionado en un modelo computacional de celda de combustible con todos los componentes que ésta tiene. Hay que aclarar en este momento que la geometría de este modelo ya se tiene.

#### **Referencias:**

- [1] F. Barbir, *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*, Elsevier Academic Press, New York, 2005
- [2] J. Larminie. *Fuel cell systems explained*. Wiley & sons. England 2003.
- [3] X. Li., I. Sabir. (2004). Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- [4] A. Le., B. Zhou. *A general model of proton exchange membrane fuel cell*. *Journal of power sources* 182. 197-222