

Evaluación de un atomizador de carga de FCC *utilizando* herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD)

**Marcela Ravicule¹, Agustín Maticorena, Victor Arume², José Mozart Fusco³,
Karolline Ropelato³**

¹ Y-TEC (YPF Tecnología) - Argentina

E-mail: marcela.ravicule@ypftecnologia.com

² ESSS - Engineering Simulation and Scientific Software – Córdoba, Argentina

E-mail: victor.souza@esss.com.ar

³ ESSS - Engineering Simulation and Scientific Software - Rio de Janeiro/RJ, Brazil

E-mail: mozart@esss.com.br, ropelato@esss.com.br

1. SINOPSIS

El objetivo en este trabajo fue obtener las principales características del flujo multifásico de vapor e hidrocarburo en el interior y en el *near-field* (región cercana) de la boquilla de un atomizador de carga de una unidad de FCC, para estimar tamaños de gotas que se originan en la ruptura primaria. Este resultado se utilizará posteriormente para simular el proceso de ruptura secundaria de gotas.

Se adoptaron condiciones conservativas de operación para fijar las propiedades de ambas fases (hidrocarburo y vapor). Se realizaron dos conjuntos de simulaciones en un dominio 3D, teniendo en cuenta un solo atomizador en un dominio que representa una porción de 1/6 de la parte inferior del Riser en las siguientes situaciones: (i) Atomizador alimentando el Riser donde circula vapor, (ii) Atomizador alimentando el Riser donde circula vapor y catalizador.

Los resultados obtenidos mostraron que la operación del atomizador es inherentemente transiente e inestable, y no se alcanza un régimen donde las fluctuaciones se estabilicen alrededor de un valor medio. Esa característica del flujo es ocasionada por la geometría de ingreso del vapor a la cámara de expansión. El vapor ingresa a través de seis orificios equidistantes distribuidos circularmente, produciendo un acoplamiento dinámico entre los chorros de vapor en régimen sónico. Como consecuencia la distribución de vapor e hidrocarburo en las cinco ranuras de la boquilla es asimétrica, fluyendo un mayor porcentaje de caudal de hidrocarburo líquido por las ranuras laterales. Las velocidades del vapor e hidrocarburo son distintas en las ranuras, alcanzando mayor valor en el centro y menor en las ranuras de los extremos. A partir de estos resultados se infiere que la atomización es menos intensa en las ranuras laterales del atomizador que en la ranura central. Dicho de otro modo, la atomización no es eficiente debido a que la mayor porción del caudal de la carga líquida saliendo por las ranuras laterales no se beneficia del mayor potencial de atomización del vapor que sale por la ranura central.

Muchos de los aspectos descriptos no pueden ser completamente evaluados con técnicas de laboratorio, ni mediante pruebas en campo en la unidad industrial. Sin embargo, mediante las técnicas de Fluidodinámica Computacional, y gracias a la elevada capacidad de procesamiento de clusters de computadoras actuales, es posible obtener parámetros de la operación de los atomizadores en condiciones reales de proceso. Esto permite al refinador identificar las mejores prácticas para operar y tomar acciones para mitigar situaciones adversas que puedan ocurrir.

2. INTRODUCCIÓN

Se desarrolló un estudio de simulación numérica con técnicas de Fluidodinámica Computacional (CFD), para simular las características del spray del atomizador de carga del proceso de Craqueo Catalítico Fluido (FCC) de una unidad de FCC.

El proceso actual de FCC emplea catalizador zeolítico fluidizado en un Riser de transporte neumático para convertir gasóleos pesados o residuos de petróleo en productos de mayor valor, como gasolina de alto octanaje, corrientes de propano, propeno, butano, butenos y gasoil liviano. En los últimos años el desarrollo del proceso FCC tuvo foco en el perfeccionamiento de los atomizadores de carga buscando mejoras en la atomización y en el contacto del spray de carga con el catalizador. A pesar de que la importancia del atomizador en el proceso FCC es ampliamente reconocida, la caracterización cuantitativa de su performance está limitada a experimentos en laboratorios utilizando como fluidos aire y agua en chorros libres, situación completamente diferente a las condiciones de proceso reales en la unidad de FCC.

La práctica industrial indica que el diseño de atomizadores de FCC con buena performance debe considerar los aspectos de (i) poseer spray de gotas de hidrocarburo con cantidad de movimiento suficientemente elevada para penetrar en el flujo denso de catalizador ascendente en la base del Riser; (ii) distribuir homogéneamente el spray en la sección transversal del Riser buscando optimizar el contacto carga- catalizador; (iii) proveer spray con gotas de hidrocarburo de tamaño pequeño y rango de distribución estrecho para garantizar mediante una rápida vaporización la transferencia de calor y masa y (iv) mantener igual performance en todo el rango operativo normal de la unidad.

Muchos de los aspectos descriptos no pueden ser completamente evaluados con técnicas de laboratorio, ni mediante pruebas en campo en la unidad industrial. Sin embargo, mediante las técnicas de Fluidodinámica Computacional, y gracias a la elevada capacidad de procesamiento de clusters de computadoras actuales, es posible obtener parámetros de la operación de los atomizadores en condiciones reales de proceso. Esto permite al refinador identificar las mejores prácticas para operar y tomar acciones para mitigar situaciones adversas que puedan ocurrir.

El presente estudio consistió en la simulación del flujo en el interior y en la boquilla de un atomizador y una corta sección del Riser inferior para que el flujo en el *near-field* del atomizador sea representativo.

3. DESARROLLO

El objetivo del modelado CFD es comprender el régimen de flujo y consecuentemente el proceso de atomización considerando las propiedades y condiciones reales de los fluidos existentes en la operación del atomizador.

El modelo presenta las siguientes características:

- Atomizador considerando sólo el flujo de hidrocarburo y de vapor.
- Simulación de una sección de la base del Riser representativa de la región equivalente a la presencia de un único atomizador.
- No se estudia toda la extensión del Riser, solo una región próxima (*near-field*) a la boquilla de salida del atomizador, representativa del proceso de atomización.
- Las fases se consideran como un sistema bifásico carga – vapor.
- No se incluyen reacciones químicas.

- Se realizan dos conjuntos de simulaciones en un dominio 3D. Una etapa inicial para poner a punto los modelos considerando que solamente circula vapor en el Riser (i) y una segunda etapa considerando circulación de vapor y catalizador en el Riser (ii).

La simplificación de no incluir a la reacción química en el modelo parte de la hipótesis de que en la zona más próxima a la boquilla del atomizador (*near-field*) la reacción aún no tiene lugar, por lo tanto los cambios en los campos de flujo son despreciables.

Geometría – Atomizador:

La geometría del Atomizador tiene las entradas de carga y de vapor separadas. La carga ingresa por el ducto central y el vapor por la tubería anular. La mezcla se realiza en la cámara de expansión, luego de que el vapor ingresa por los seis orificios equidistantes circunferencialmente, próximos a sección de expansión (Figura 1 (b)).

La boquilla del atomizador se caracteriza por tener cinco salidas posicionadas de modo tal que contribuyan a mejorar la penetración de la carga en el Riser, como se muestra en la Figura 1.

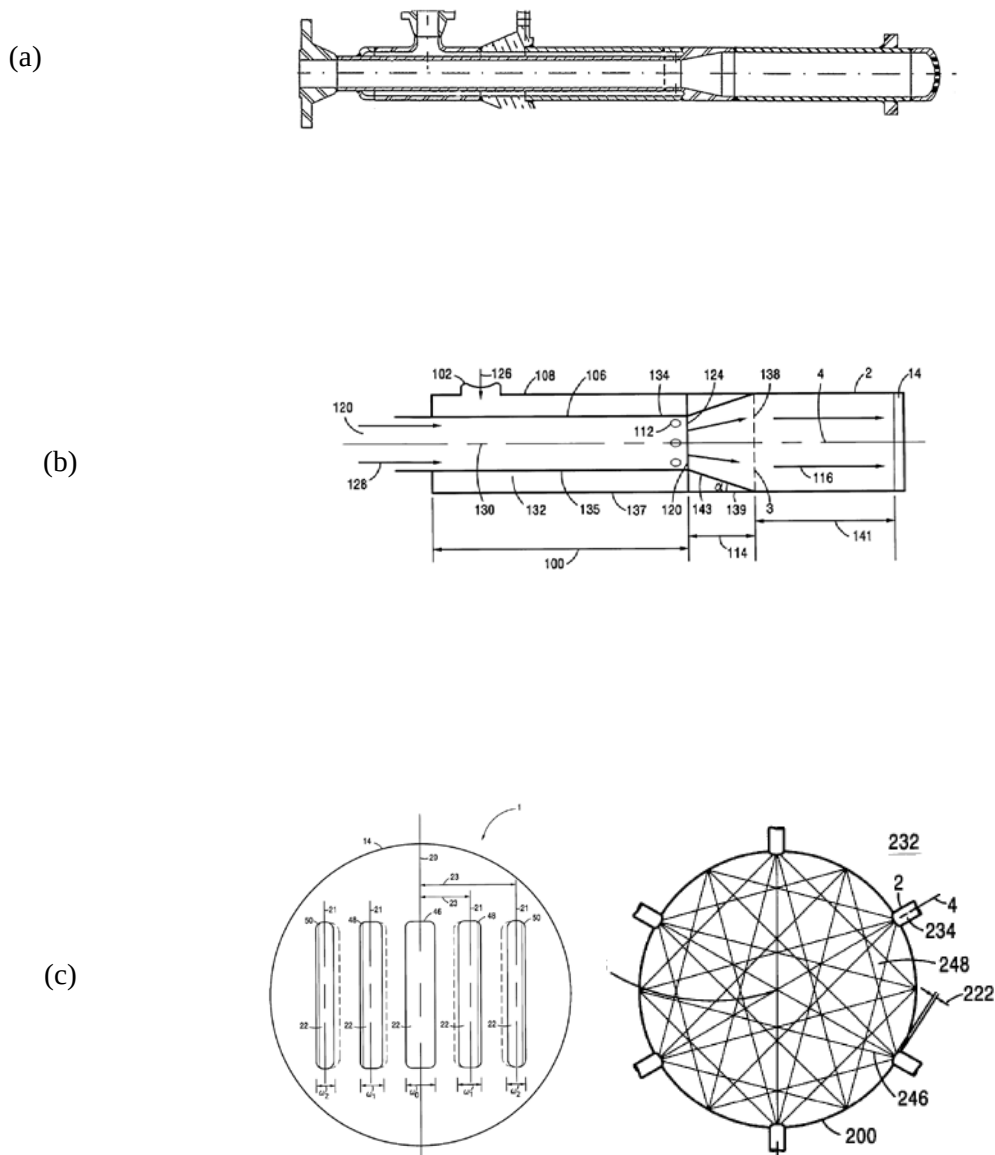


Figura 1 – (a),(b),(c) Imágenes de referencia del Atomizador. (Fuente: Atomax – US 5289976, Mar 1, 1994).

Dado que el foco de la simulación se encuentra en el interior del Atomizador y en la región del *near-field*, solamente se considera una sección del Riser, la geometría final se presenta en la Figura 2.

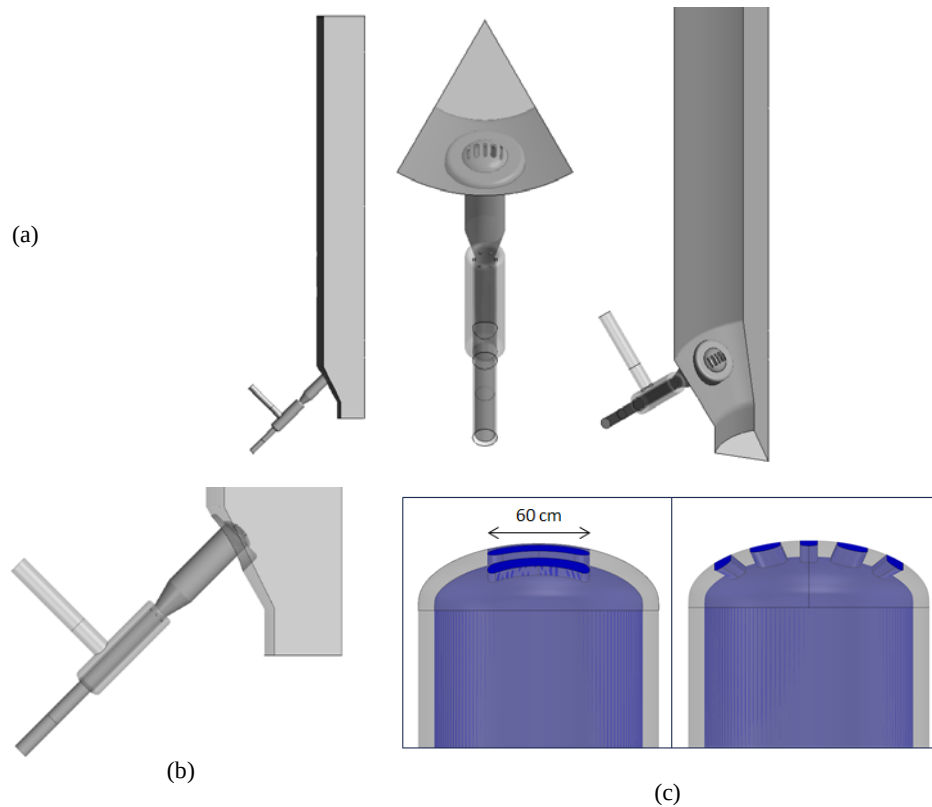


Figura 2 – Detalles geométricos de los casos A1 e B1-1. (a) Dominio completo simulado, (b) Detalle del atomizador e (c) Detalle en la región del tip del atomizador.

Modelado para estudio del atomizador:

El modelo matemático aplicado debe ser representativo de los fenómenos físicos presentes en el problema sin demandar costos computacionales extremadamente altos que atenten contra la practicidad de la simulación y/o los plazos razonables. Por lo tanto, se utiliza el modelo Euleriano-Euleriano (Maliska, 2004; Patankar 1980) de tres fluidos continuos simulados independientemente que se interpenetran en cada volumen finito de control.

Para la interacción entre las partículas de catalizador y las demás fases se utilizan las ecuaciones constitutivas de la teoría cinética de flujo granular (KTGF) disponibles en FLUENT V15.0 (ANSYS (2014)).

Las reacciones químicas no son modeladas. Además, como en este caso sólo se estudia la región de *near-field* del atomizador (Pozo, 2000), la variación del peso molecular de los hidrocarburos a lo largo del Riser no es considerada.

Propiedades de la Carga:

Debido a que no se modela el cambio de fase de la carga de hidrocarburos, sus propiedades se consideran como una función de la temperatura. A través del software comercial HYSYS, se obtuvo la variación de la viscosidad, tensión superficial y C_p de la carga con la temperatura. Con estos puntos se realizó un ajuste con ecuaciones polinómicas.

Condiciones de Borde de entrada:

Hay tres condiciones de contorno de entrada en el modelo (Figura 3):

- Inlet-Feed: Entrada de hidrocarburos en el inyector;
- Inlet-Steam: Entrada de vapor en el inyector;
- Inlet-Riser: Entrada de vapor + catalizador en la sección del Riser.

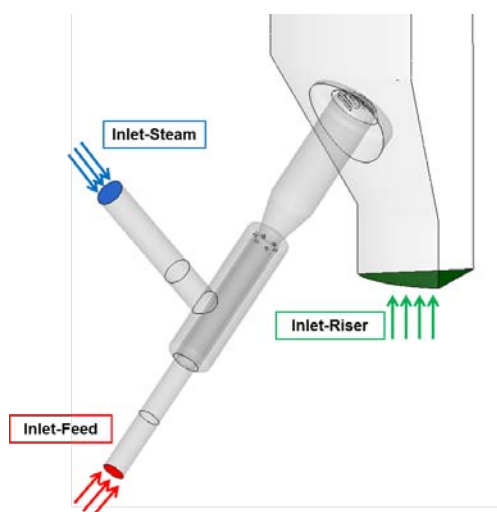


Figura 3 – Esquema representativo de las condiciones de contorno.

En Inlet-Feed se considera solamente entrada de carga de hidrocarburos líquidos y en Inlet-Steam solamente entrada de vapor para los dos casos. En Inlet-Riser ingresa sólo vapor para el primer caso (i) y entrada de vapor + catalizador para el segundo caso (ii). Todos los valores de caudal y temperatura de las condiciones de borde son descriptos en la Tabla 1.

Tabla 1 – Condiciones de contorno en la base del Riser.

Condición de borde	Caso	Vapor [kg/s]	Carga [kg/s]	Catalizador [kg/s]	Temperatura [K]
Inlet-Feed	(i)-(ii)	0	7,495	0	581,30
Inlet-Steam	(i)-(ii)	0,513889	0	0	523,15
Inlet-Riser	(i)	0,098964	0	0	973,70
	(ii)	0,098964	0	44,97	

4. RESULTADOS

Al inicio del estudio se esperaba obtener como respuesta un flujo estacionario en el interior del inyector y en el *near-field*, debido a que esta morfología es el ideal para el buen funcionamiento

del equipo. Sin embargo, se confirmó que el flujo no alcanza a estabilizarse dentro del atomizador y se mantiene en régimen transitorio.

A continuación se describe el perfil de velocidad de la fase vapor para dos tiempos, 1,42s y 1,46s y dos planos distintos en el atomizador: Un plano vertical que cruza el eje del atomizador (Figura 4(a)); y un plano perpendicular al eje del atomizador que pasa por los seis orificios de entrada de vapor en la cámara de mezclado (Figura 4(b)).

En la Figura 4 se observa que en 1,42s el flujo en la cámara de mezclado es mayor en la parte inferior del atomizador. En la Figura 4(a) se observa que en la punta del atomizador el flujo es mayor en las salidas de la izquierda en 1,42s, mientras que en 1,46 hay una tendencia hacia la derecha. En la Figura 4(b) no se observa diferencia importante entre ambos tiempos.

Del mismo modo que se observa la oscilación del campo de velocidad, la fracción volumétrica también tiene variaciones a lo largo del tiempo.

Es posible ver en la Figura 5 cómo la región de mayor concentración de carga en 1,42s está sobre la pared superior y en 1,46s en la inferior. Se observa también una tendencia a flujo anular, lo que resulta en un caudal de carga mayor en las salidas 1 y 5 (ver Figura 6) y en los extremos superiores e inferiores de las ranuras del *tip*.

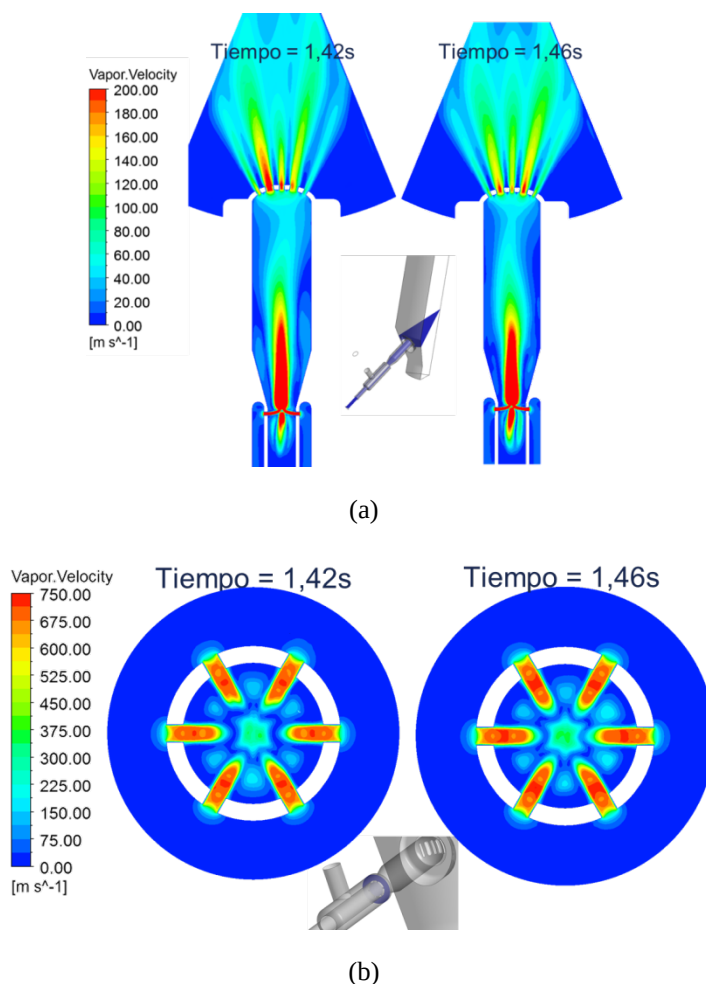


Figura 4 – Contornos de velocidad en dos tiempos distintos. (a) Plano en la dirección del eje del atomizador. (b) Plano perpendicular al eje del atomizador que pasa por los seis orificios.

También se observa en la Figura 5(a) la tendencia a régimen anular del flujo en la cámara de mezclado. Mientras que en el *near-field*, se ve que en 1,42s hay mayor flujo en la salida del extremo derecho y en 1,46s cambia hacia el extremo izquierdo.

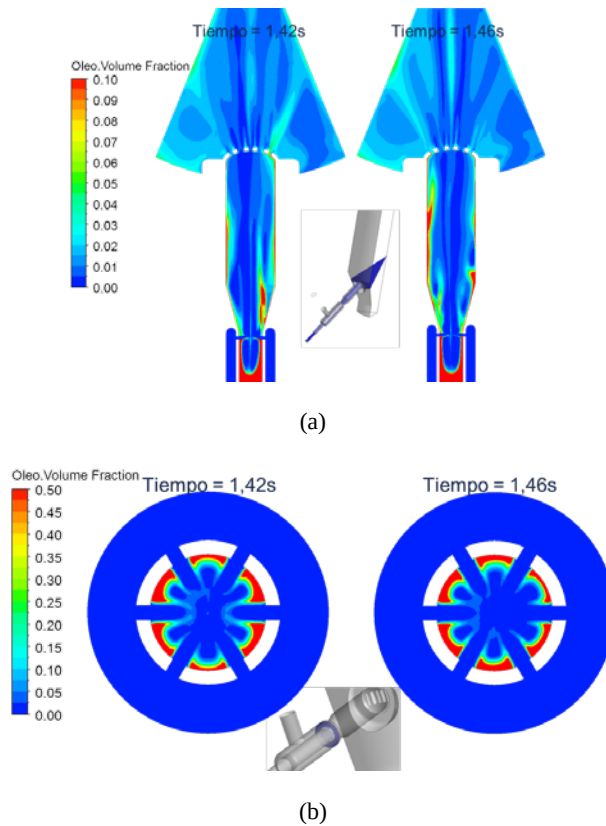


Figura 5 – Contornos de fracción volumétrica en dos tiempos distintos. (a) Plano en la dirección del eje del atomizador. (b) Plano perpendicular al eje del atomizador que pasa por los seis orificios.

(i) Análisis de las medias temporales.

Al confirmar el régimen de flujo transitorio en el interior del atomizador surge la necesidad de desarrollar una nueva estrategia para el análisis de los resultados.

Con este objetivo se monitorean los valores de magnitud de velocidad y de fracción volumétrica de carga a lo largo del tiempo en puntos ubicados en las cinco ranuras existentes en la boquilla del atomizador. La Figura 6 ilustra los cinco puntos de monitoreo.

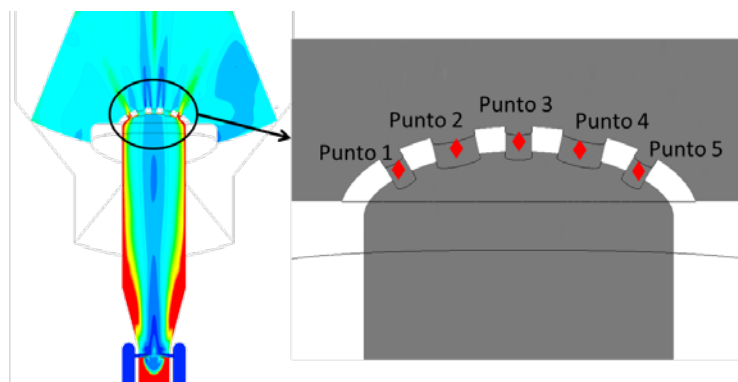


Figura 6 – Posicionamiento de los puntos de monitoreo.

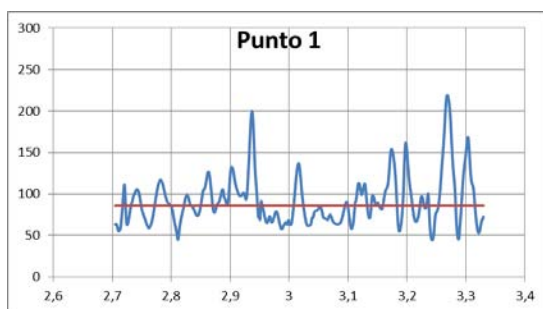
El propósito de este análisis es identificar si existe un patrón en el flujo, y de ser así, determinar a partir de que tiempo es posible considerar que se ha alcanzado un estado cuasi-estacionario, apto para sacar conclusiones. Se adquirieron datos por un período total de aproximadamente 1,05 segundos y se divide el análisis de los puntos en dos periodos temporales siguientes:

- De 2,70495s hacia 3,3229s – tiempo total de 0,61795s;
- De 2,70495 hacia 4,02095s – tiempo total de 1,0476s.

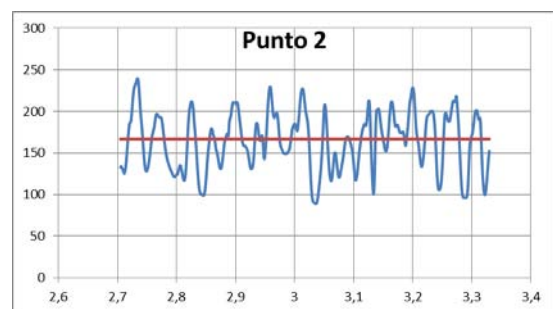
La primera variable analizada es la magnitud de velocidad del vapor en los cinco puntos. En la Figura 7 se observa la evolución temporal de la velocidad. La línea azul corresponde a la velocidad en cada instante y la línea roja representa la media en este período de tiempo, los valores medios se muestran en la Figura 7.

En todos los puntos se observan importantes variaciones de velocidad del vapor, así por ejemplo en el Punto 1, el valor máximo de velocidad es aproximadamente 220 m/s mientras su media es de 86 m/s, esto representa una variación mayor al 150%.

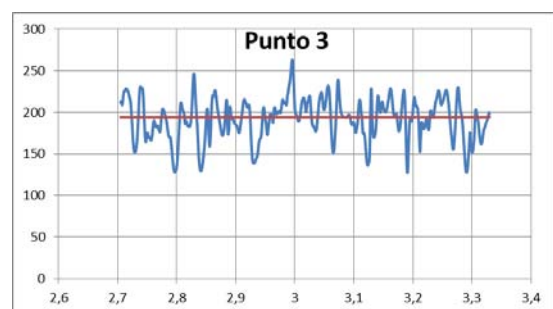
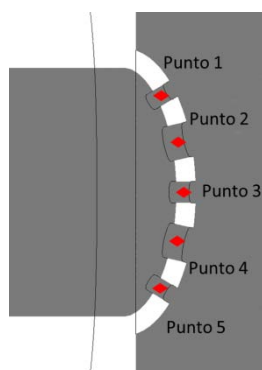
Otra observación interesante es la proximidad de los valores de las medias entre los puntos 1 y 5, y entre los puntos 2 y 3, que son respectivamente opuestos al plano central del atomizador, indicando que en la media temporal, el atomizador presenta un comportamiento simétrico.



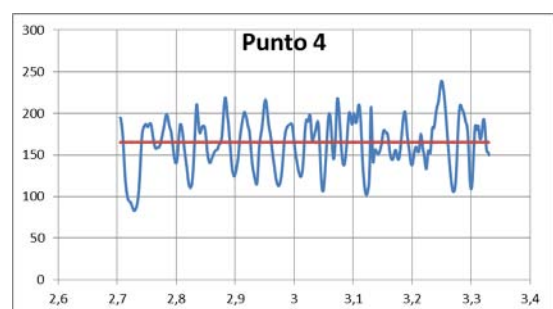
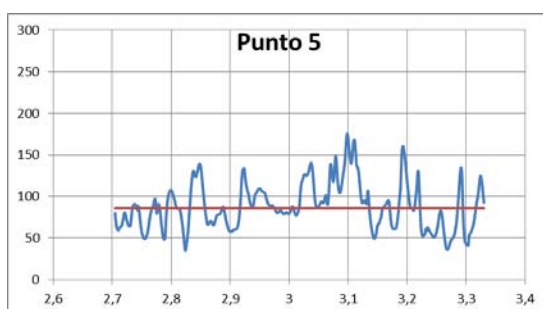
(a)



(b)



(c)



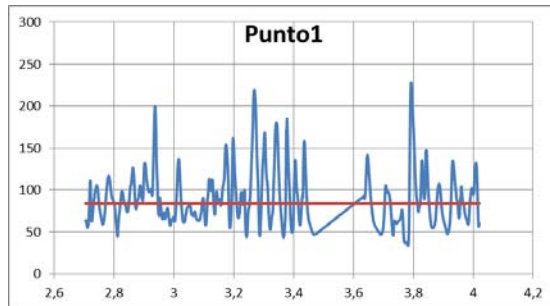
(e)

(d)

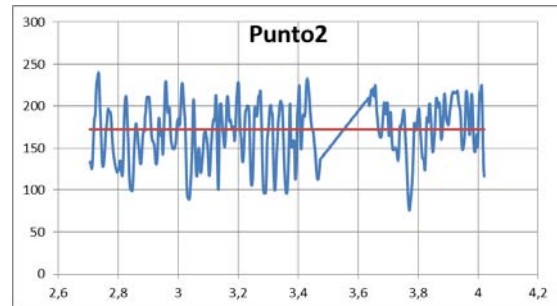
Figura 7 – Magnitud de velocidad del vapor a lo largo del tiempo en los cinco puntos en el *tip* del atomizador para el intervalo de tiempo de 0,61795 segundos. (a) Punto 1. (b) Punto 2. (c) Punto 3. (d) Punto 4. (e) Punto 5.

Se realiza este mismo análisis temporal en los cinco puntos tomando un intervalo de tiempo más largo, como se muestra en la Figura 8. Las observaciones para este periodo de tiempo mayor continúan siendo las mismas (Figura 8).

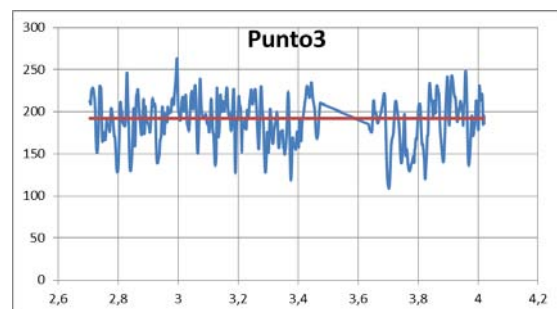
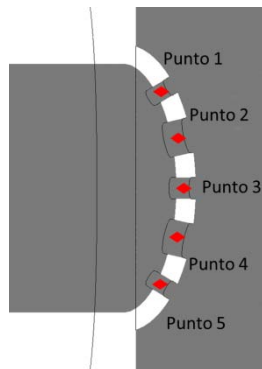
- Grandes variaciones de los valores máximos de velocidad.
- Valores medios de los puntos opuestos al plano central muy próximos.



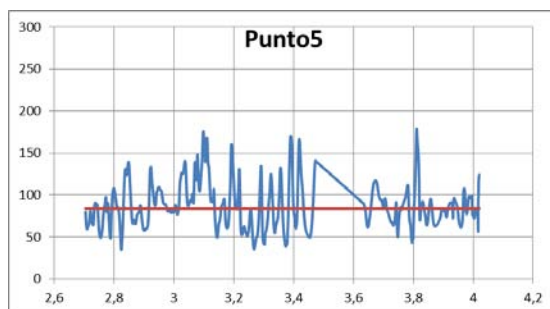
(a)



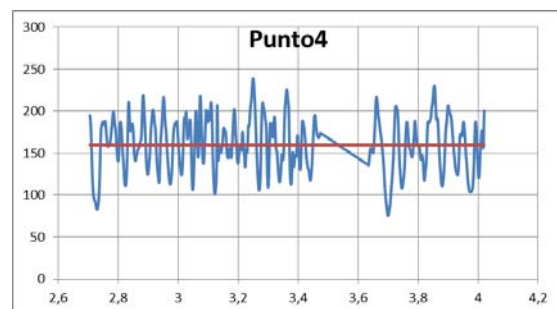
(b)



(c)



(e)



(d)

Figura 8 – Magnitud de velocidad del vapor a lo largo del tiempo en los cinco puntos en el *tip* del atomizador para el intervalo de tiempo de 1,0476 segundos. (a) Punto 1. (b) Punto 2. (c) Punto 3. (d) Punto 4. (e) Punto 5.

Como fue mencionado anteriormente, los valores de los puntos 1 y 5, y de los puntos 2 y 4 resultan similares. Para los puntos externos (1 y 5) existe una diferencia de 0,17% entre ellos y su media (83,975m/s), en cuanto que para los puntos 2 y 4 la diferencia entre ellos y su media (166 m/s) es de 3,8%. Esto sugiere que el campo de velocidades del vapor es simétrico.

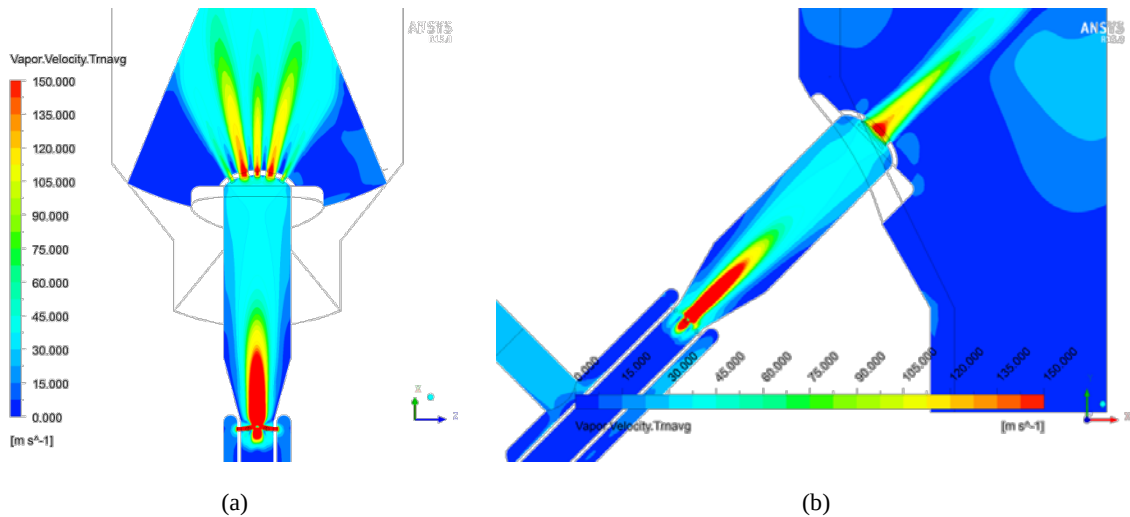


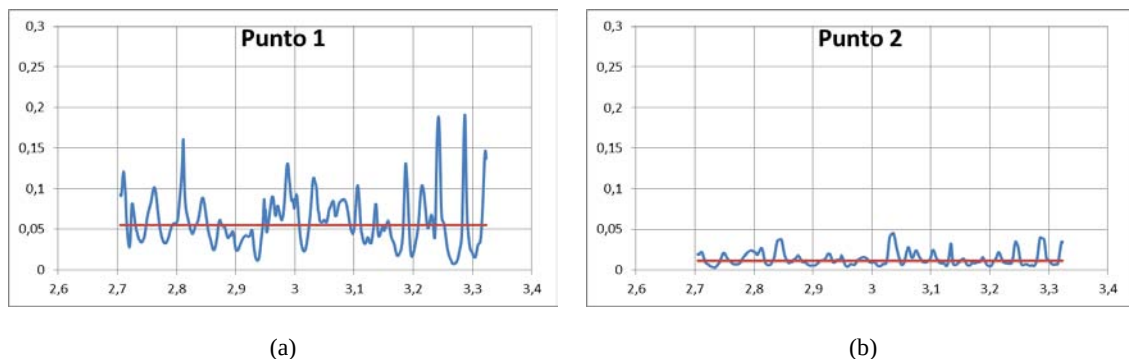
Figura 9 – Perfil de velocidad promediada en el tiempo. (a) Plano de corte transversal al Riser. (b) Plano de corte longitudinal al Riser.

Dicha simetría se confirma al graficar el campo de velocidad promediada en el tiempo, tanto en el plano longitudinal al Riser (Figura 9(b)) como en el plano que lo corta (Figura 9 (a)). En la Figura 9 (a) y (b) se observa que las velocidades más altas del flujo de la fase vapor permanecen en el centro de la cámara de mezclado y que en la punta del atomizador los valores mayores también se mantienen en el centro.

La segunda variable a ser analizada es la fracción volumétrica de carga en los mismos cinco puntos, en la Figura 10 se muestra su evolución temporal. La línea azul corresponde a la fracción volumétrica en cada instante y la línea roja representa la media en este período de tiempo.

Se observa el mismo comportamiento simétrico mostrado anteriormente para la fase vapor. Los puntos 1 y 5 tienen sus valores medios próximos a 0,05 y presentan mayores variaciones que los demás puntos. En el punto cinco podemos observar que en aproximadamente 2,8s hay un momento donde la fracción volumétrica llega a un valor 500% mayor que la media, indicando que la evolución transitoria de la fracción volumétrica es más inestable que la evolución de la velocidad.

Los puntos 2, 3 y 4 tienen valores medios próximos entre ellos, pero muy inferiores a los correspondientes a los puntos 1 y 5.



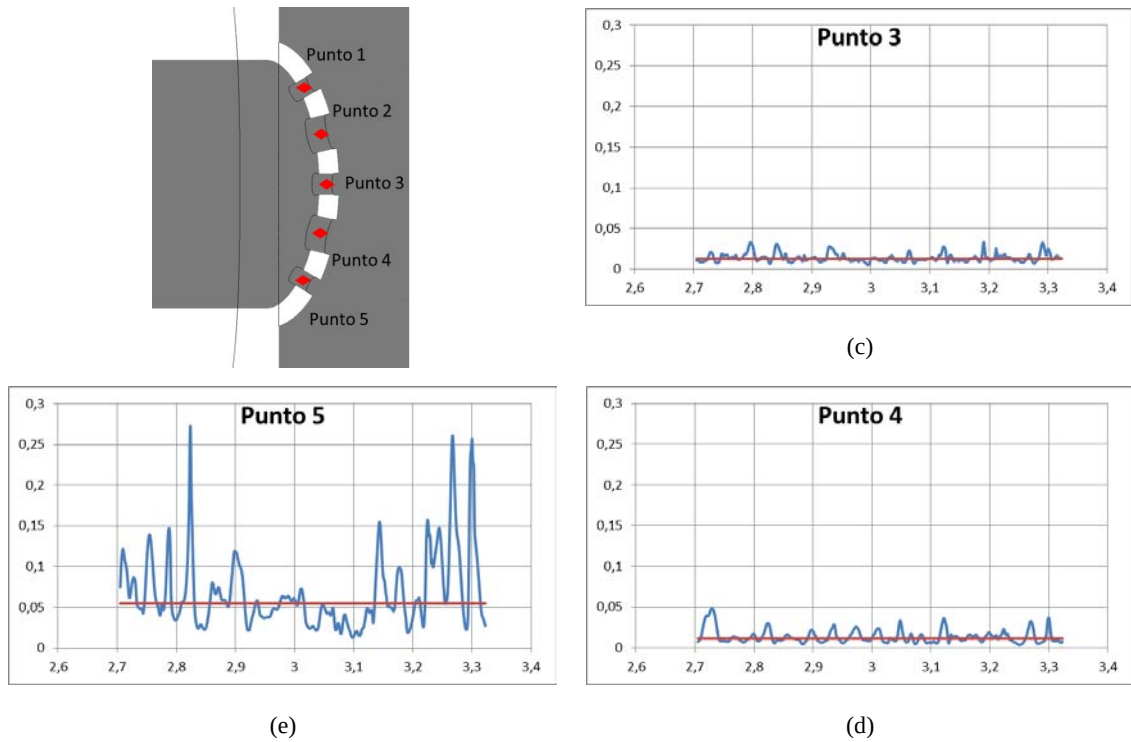
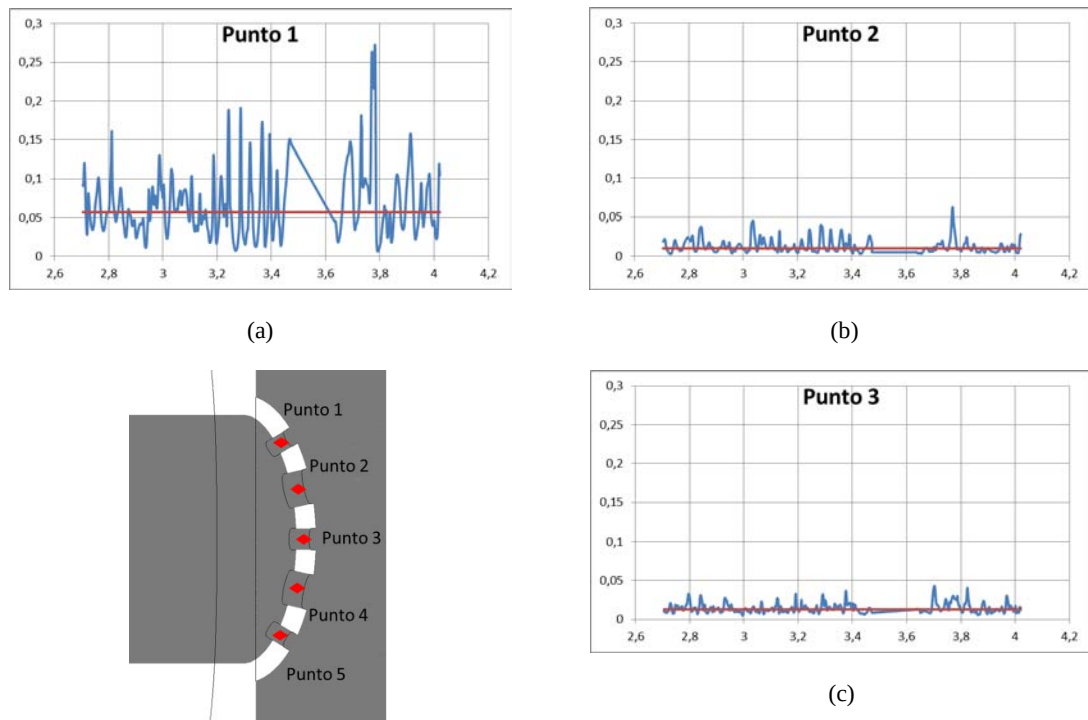
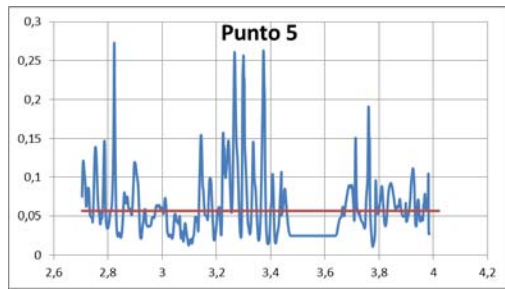


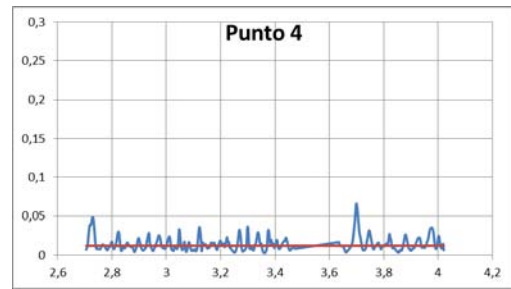
Figura 10 – Fracción volumétrica de carga a lo largo del tiempo en los cinco puntos en el *tip* del atomizador para el intervalo de tiempo de 0,61795 segundos. (a) Punto 1. (b) Punto 2. (c) Punto 3. (d) Punto 4. (e) Punto 5.

Los gráficos que muestran los resultados hasta el tiempo de 4,02095s se presentan en la Figura 11. Nuevamente se observa la oscilación y aparente simetría de los valores medios de la fracción volumétrica, pero sin una gran alteración en el valor medio.





(e)

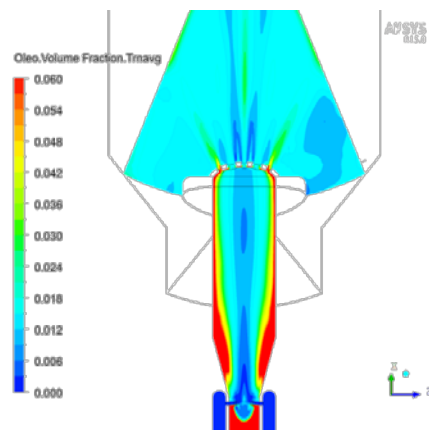


(d)

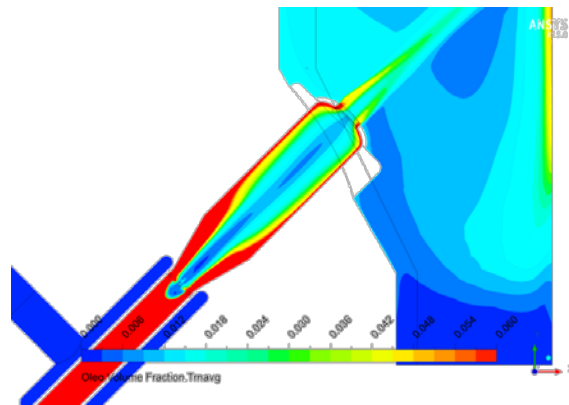
Figura 11 – Fracción volumétrica de carga a lo largo del tiempo en los cinco puntos en el *tip* del atomizador para el intervalo de tiempo de 1,0476 segundos. (a) Punto 1. (b) Punto 2. (c) Punto 3. (d) Punto 4. (e) Punto 5.

En la Figura 12 se presentan los campos de fracción volumétrica de carga para los dos planos de análisis. En estos planos se verifica que realmente existe la simetría planteada anteriormente. Se observa en la Figura 12(b) que en la parte superior de la región del *near-field* hay mayor concentración de carga, eso ocurre debido al arrastre que produce el flujo ascendente del Riser.

El régimen anular en la cámara de mezclado provoca una preferencia de flujo de carga por las salidas laterales y por la parte superior e inferior de las demás salidas (Figura 13(d) y (e)).

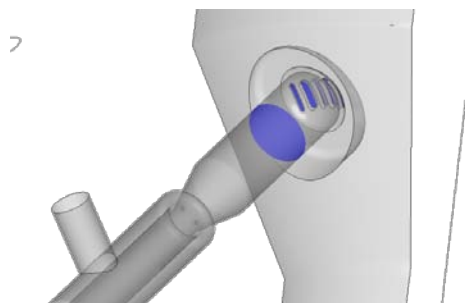


(a)

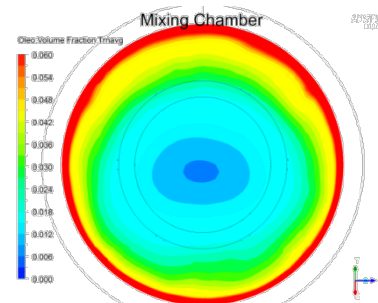


(b)

Figura 12 – Perfil fracción volumétrica de carga en el tiempo. (a) Plano de corte transversal al Riser. (b) Plano de corte longitudinal al Riser.



(a)



(c)

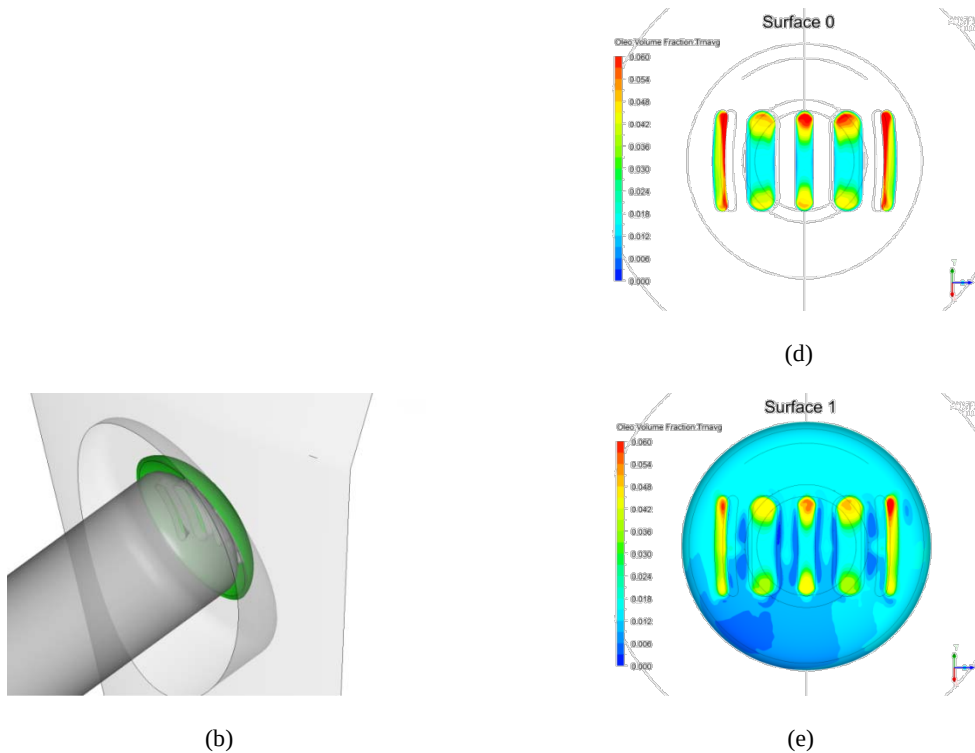
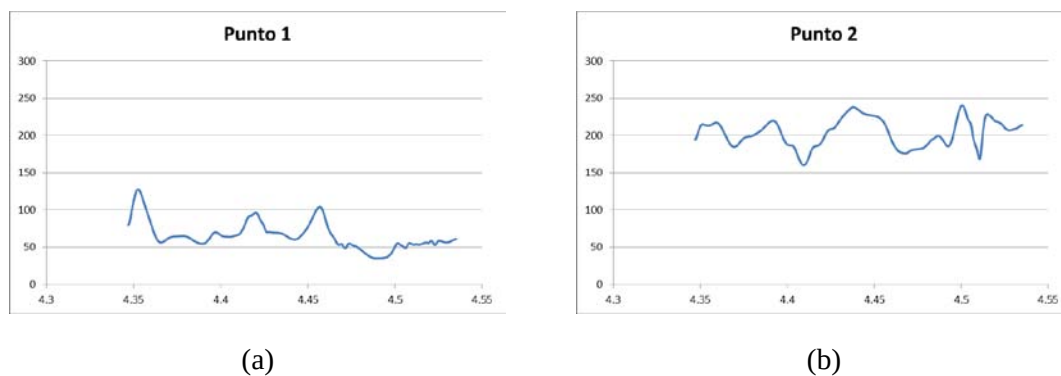


Figura 13 – Perfil de fracción volumétrica de carga promediada en el tiempo. (a) Posición del plano interno de la cámara de mezclado y de la superficie tangencial al *tip* del atomizador. (b) Superficie de misma curvatura del *tip* del atomizador, distante 4 mm. (c) Campo de fracción volumétrica de carga en el plano de la cámara de mezclado. (d) Campo de fracción volumétrica de carga en la superficie tangente al *tip* del atomizador. E) Campo de fracción volumétrica de carga en la superficie 4 mm distante del *tip* del atomizador.

(ii) Inclusión del Catalizador en el Riser - Análisis de las medias temporales:

Para el segundo caso se considera que en la parte inferior del Riser ingresa vapor + catalizador. El flujo dentro del atomizador mantiene el régimen transitorio como se mostró en el primer caso (i). La región de los seis orificios, donde ocurre la onda de choque está lo suficientemente distante como para que no la afecte la circulación del catalizador en el Riser.



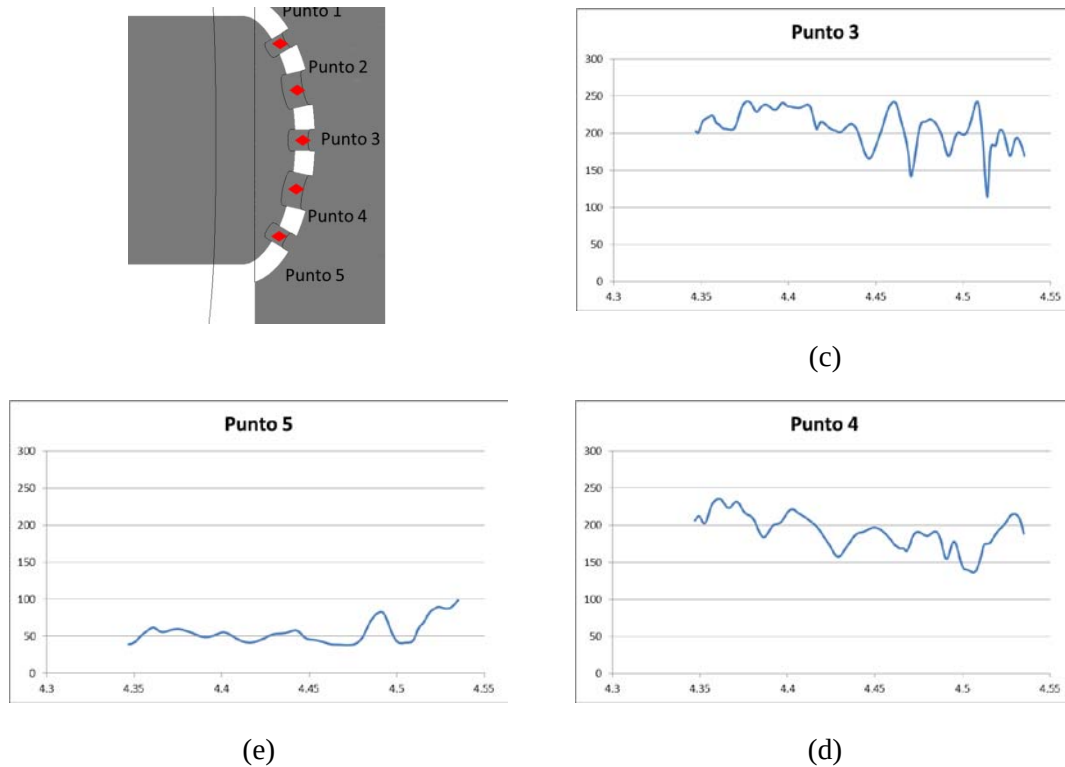


Figura 14 – Magnitud de velocidad del vapor al largo del tiempo para los cinco puntos en el *tip* del atomizador para el intervalo de tiempo de 0,188 segundos. (a) Punto 1. (b) Punto 2. (c) Punto 3. (d) Punto 4. (e) Punto 5.

De la misma manera que en el caso anterior los datos transitorios de velocidad del vapor y fracción volumétrica de carga se monitorean a lo largo del tiempo en cinco puntos presentados en la Figura 6. Las variables son monitoreadas durante 0,188s.

La primera variable analizada es la velocidad del vapor En la Figura 14 se presenta la evolución de la velocidad del vapor en función del tiempo.

Como se esperaba, la energía cinética del flujo en el interior del atomizador es suficientemente grande para que el patrón de flujo no se altere al incluir el flujo de catalizador en la simulación. Se observa que el patrón de velocidad mayor en los puntos centrales y menor en los extremos se mantiene, y que existe una aparente simetría en el flujo entre las cinco salidas.

Para el período analizado, la media de velocidad para los puntos 1 y 5 fue de 62,34[m/s] y de 52,57[m/s] respectivamente, para los puntos 2 y 4 fue de 205,77[m/s] y de 190,98[m/s], y para el punto central 209,84[m/s].

En la Figura 15 y la Figura 16 (b) se puede observar que la media del campo de velocidad del vapor no presenta el perfil simétrico en la cámara de mezclado alcanzado anteriormente en el primer caso (i). Se cree que el motivo es el poco tiempo de adquisición de datos.

Al observar la Figura 16 (d) y (e) que corresponden a la salida del atomizador y a la región del *near-field*, se encuentra un patrón de régimen anular del flujo, con velocidades mayores del vapor en la región central.

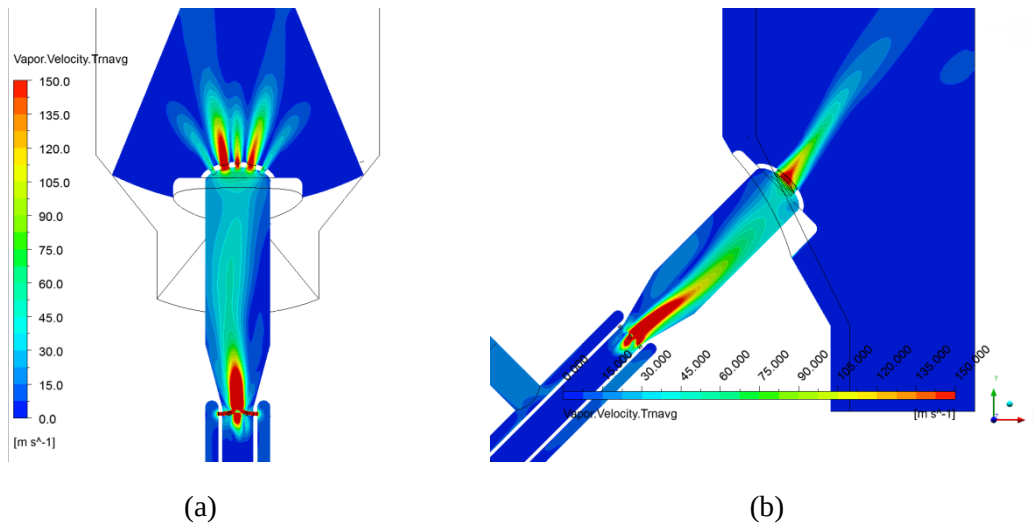


Figura 15 – Perfil de velocidad promediada en el tiempo. (a) Plano de corte transversal al Riser. (b) Plano de corte longitudinal al Riser.

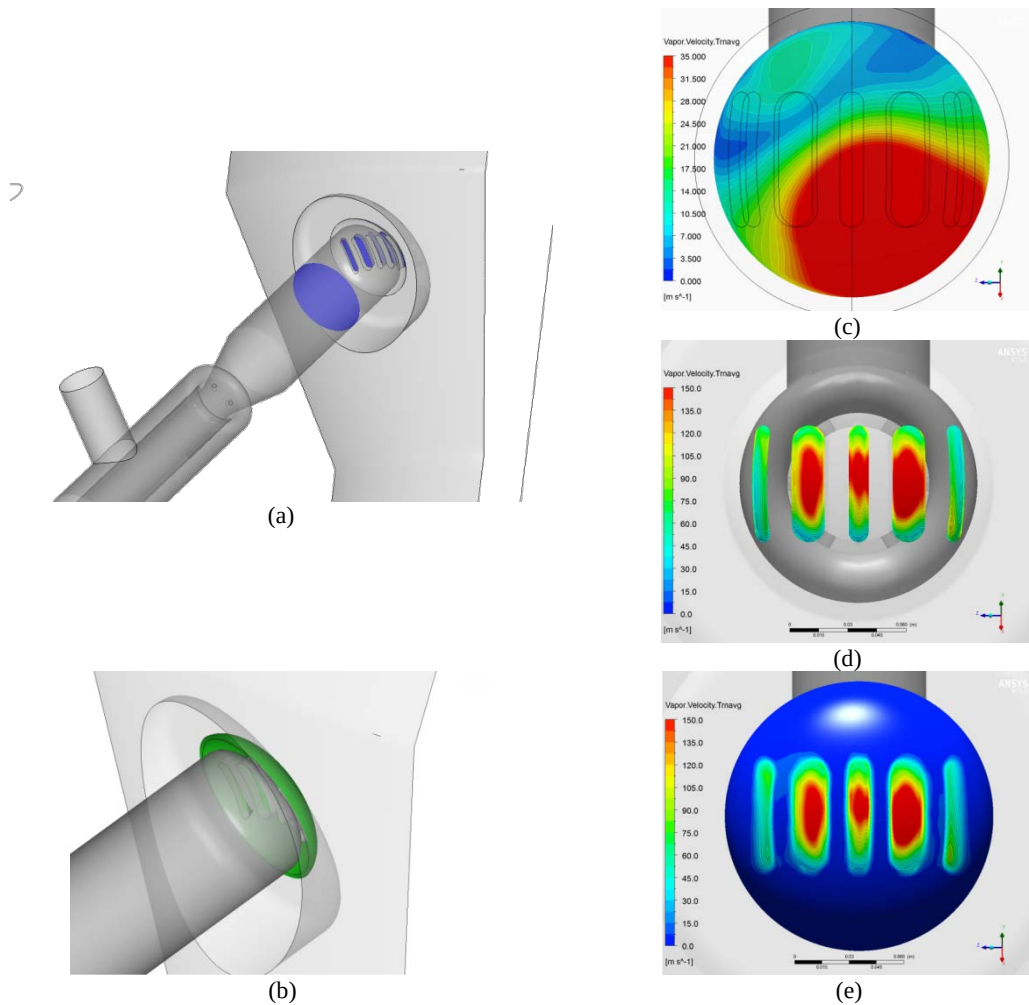


Figura 16 – Perfil de velocidad promediada en el tiempo. (a) Posición del plano interno de la cámara de mezclado y de la superficie que tangencia el *tip* del atomizador. (b) Superficie de misma curvatura del *tip* del atomizador, distanciada 4mm. (c) Campo de velocidad en el plano de la cámara de mezclado. (d) campo de velocidad en el *tip* del atomizador. E) Campo de velocidad en la superficie 4mm distante del *tip* del atomizador.

La segunda variable a ser analizada es la fracción volumétrica de carga en los mismos cinco puntos. En la Figura 17 se puede observar la evolución temporal de la variable. Todos los gráficos están en la misma escala para mejor visualización de los resultados. Nuevamente analizando solo los puntos se observa la tendencia simétrica existente en el flujo, con los puntos 1 y 5 con valores de carga mayor al resto.

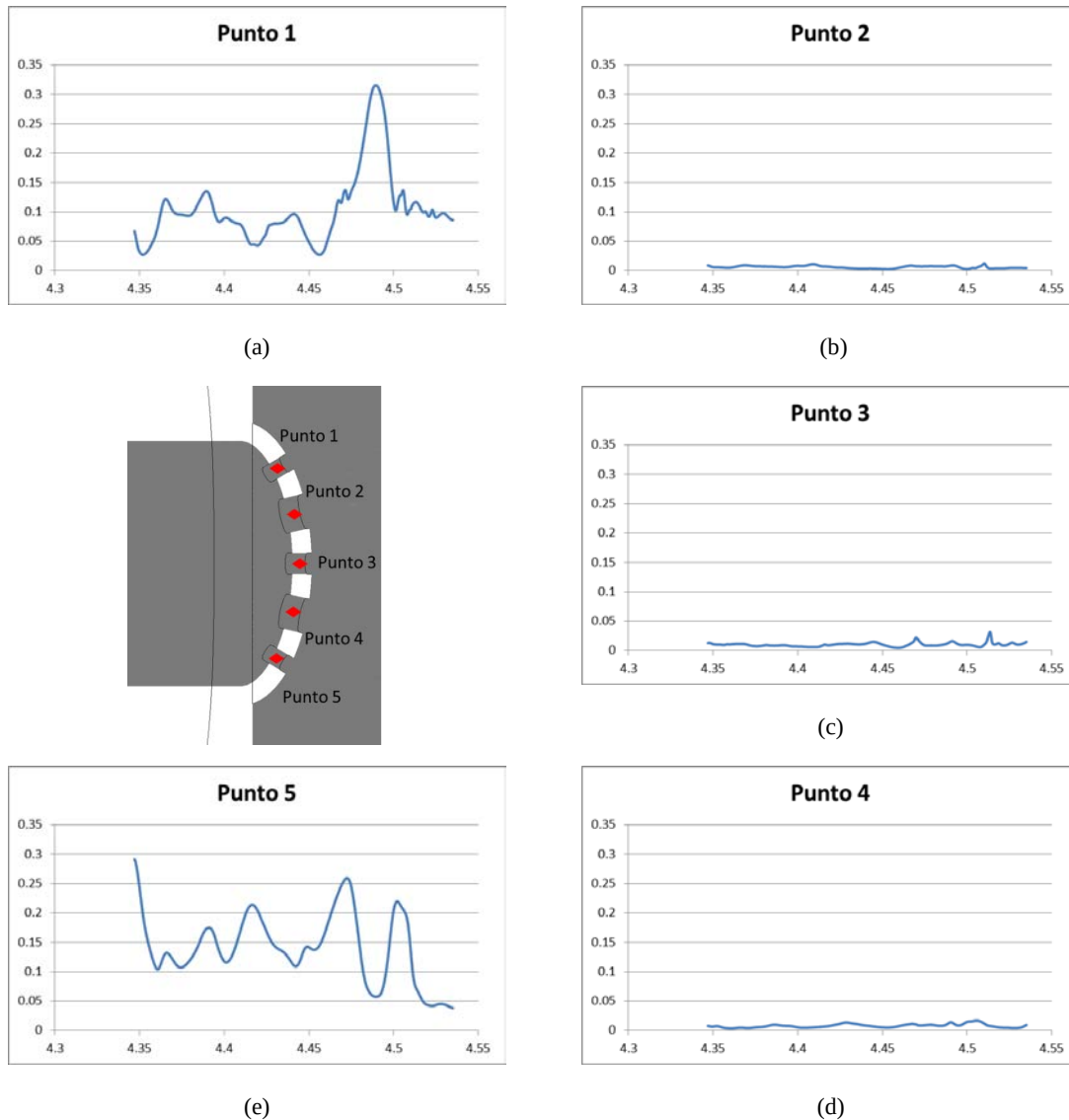


Figura 17 – Fracción volumétrica de carga al largo del tiempo para los cinco puntos en el *tip* del atomizador para el intervalo de tiempo de 0,188 segundos. (a) Punto 1. (b) Punto 2. (c) Punto 3. (d) Punto 4. (e) Punto 5.

Los gráficos de fracción volumétrica de carga presentados en la Figura 17 muestran la misma tendencia que los analizados para el primer caso (i), sin embargo se percibe que en el punto 5 existe una concentración mayor de carga en el periodo analizado (Fracción volumétrica media del punto 1 = $9,41e^{-2}$; Fracción volumétrica media del punto 5 = $13,7e^{-2}$).

En la Figura 18 se observa que la media temporal de fracción volumétrica de carga en los planos principales, y en la imagen (a) se puede ver como en la parte izquierda de la salida del atomizador tiene una concentración mayor, lo que se refleja en los gráficos presentados en la Figura 17.

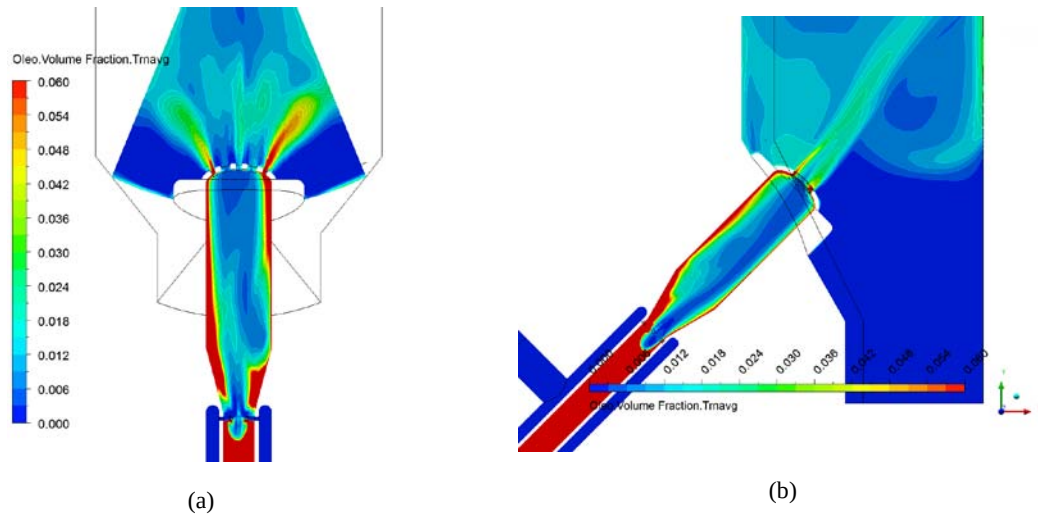
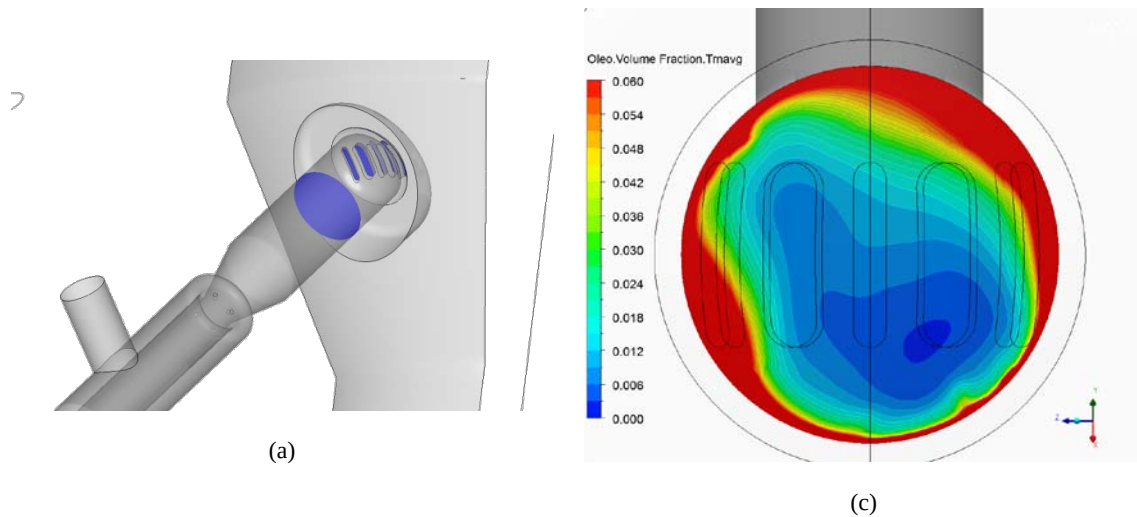


Figura 18 – Perfil fracción volumétrica de carga en el tiempo. (a) Plano de corte transversal al Riser. (b) Plano de corte longitudinal al Riser.

En la región interna del atomizador el flujo mantiene un régimen anular, los mayores valores de fracción volumétrica media en el tiempo se encuentran próximos a las paredes (ver Figura 19 (c)). Por lo tanto se encuentra mayor fracción volumétrica de carga en las ranuras externas (1 y 5) y en las partes inferiores y superiores de las ranuras centrales (2, 3 y 4). Este comportamiento se muestra en la Figura 19.



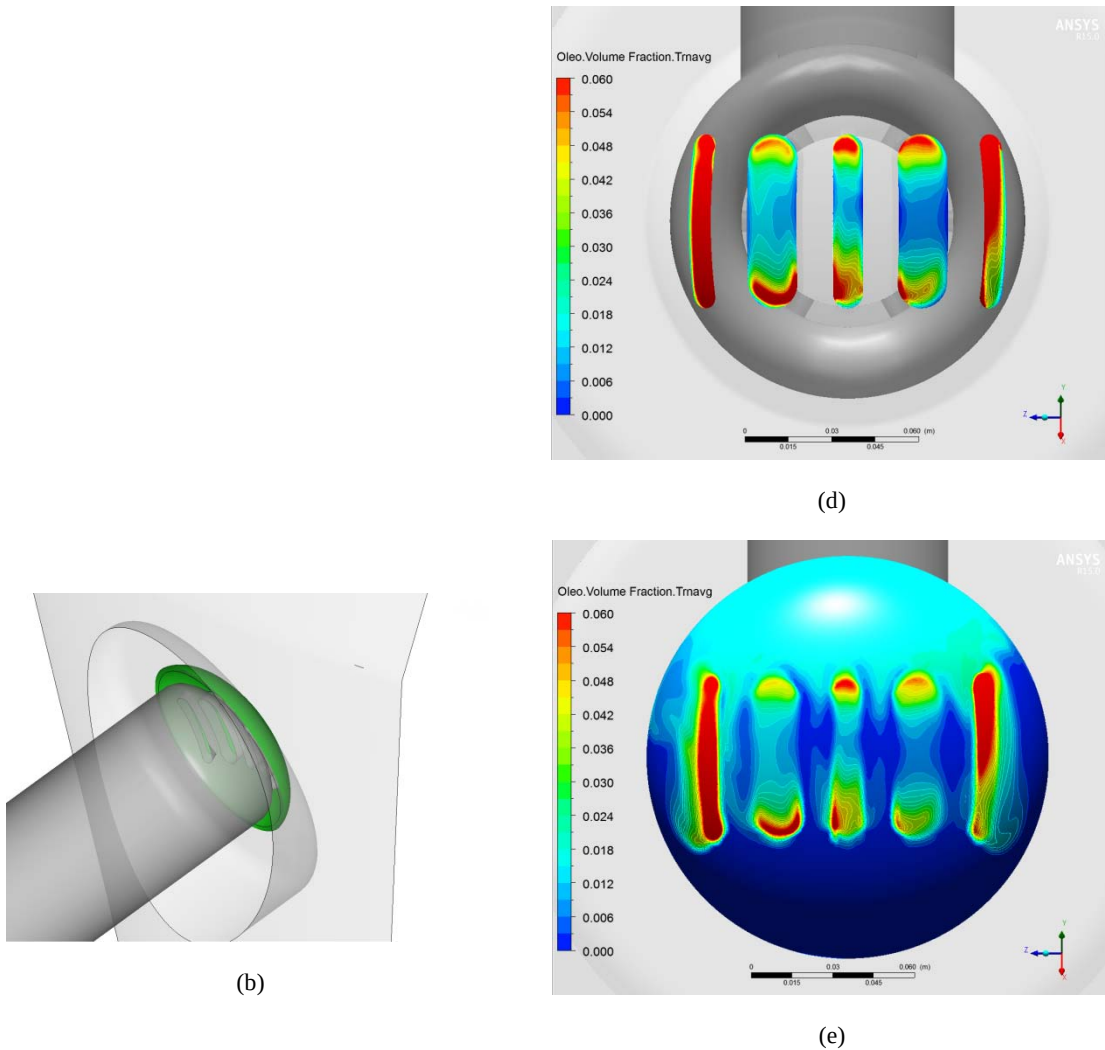


Figura 19 – Perfil de fracción volumétrica de carga promediada en el tiempo. (a) Posición del plano interno de la cámara de mezclado y de la superficie que tangencia el *tip* del atomizador. (b) Superficie de misma curvatura del *tip* del atomizador, distante 4mm. (c) Campo de fracción volumétrica de carga en el plano de la cámara de mezclado. (d) Campo de fracción volumétrica de carga en la superficie tangente al *tip* del atomizador. e) Campo de fracción volumétrica de carga en la superficie 4mm distante del *tip* del atomizador.

Para el segundo caso (ii) existe una fase más a ser analizada que corresponde al catalizador. En la Figura 20 se muestra el campo medio temporal de la fracción volumétrica de catalizador para los dos planos principales. En la región del *near-field* se observa que el catalizador no penetra en los jets de mezcla vapor + carga, debido a la gran cantidad de movimiento que tienen al salir de las ranuras. La mezcla de las tres fases se produce recién a unos centímetros de distancia del *tip*.

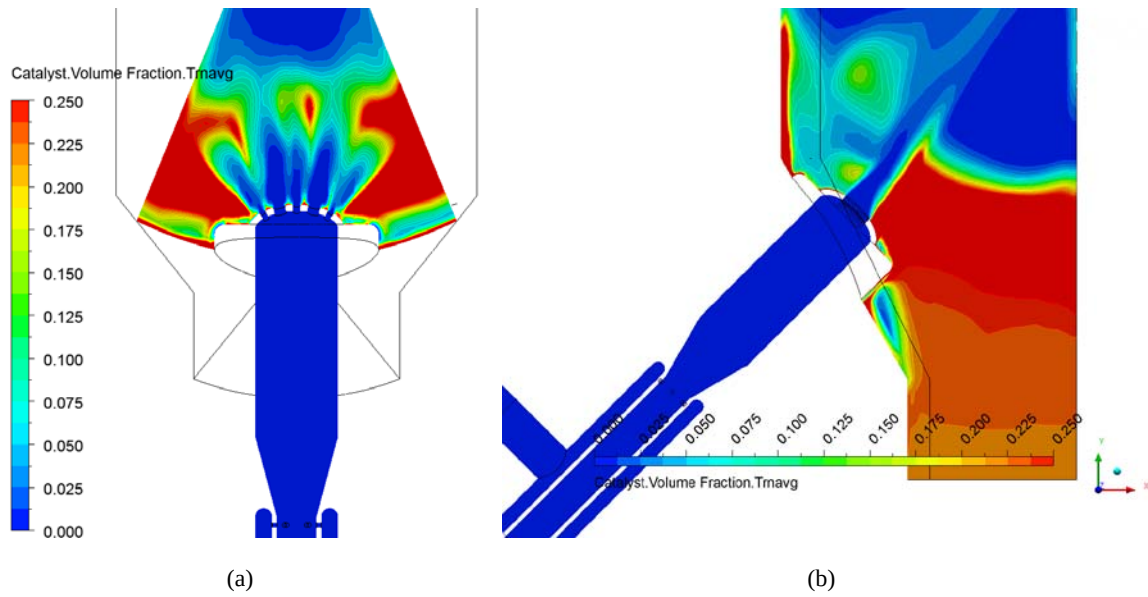


Figura 20 – Perfil fracción volumétrica de catalizador en el tiempo. (a) Plano de corte transversal al Riser. (b) Plano de corte longitudinal al Riser.

Otro punto importante de analizar esta presentado en la Figura 21 (c), donde se muestra la media temporal de la fracción volumétrica de catalizador en las paredes del atomizador. En esa imagen se observa una pequeña cantidad de catalizador que entra por las ranuras del atomizador, principalmente en la ranura central. Recordando que este es un campo medio, lo que sucede en realidad es un movimiento intenso del catalizador en esta superficie y ese movimiento podría causar daños por erosión en la boquilla del atomizador.

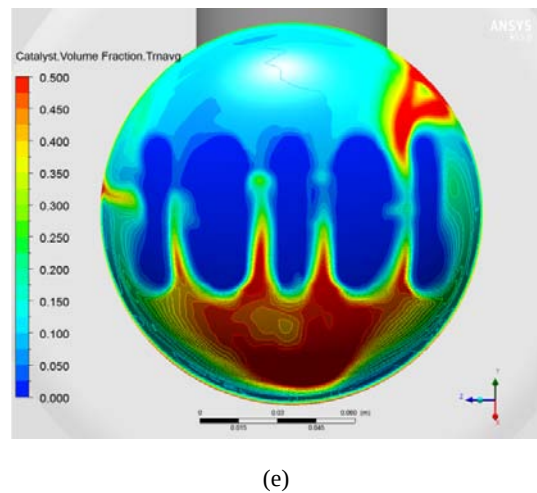
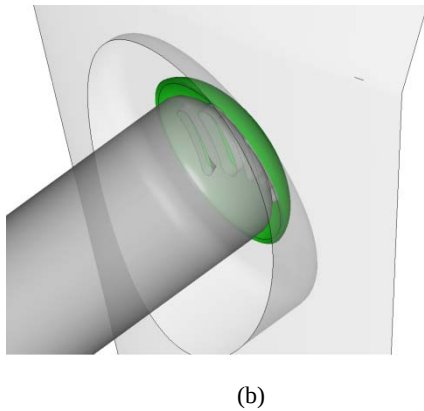
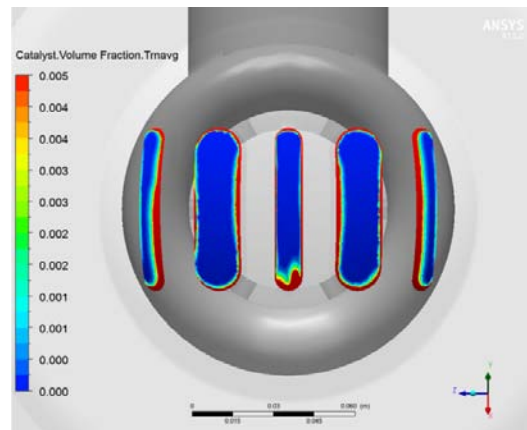
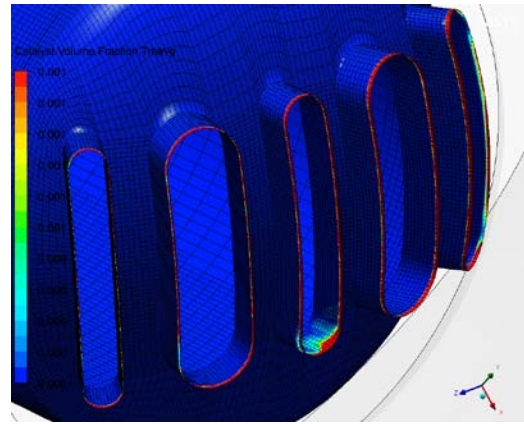
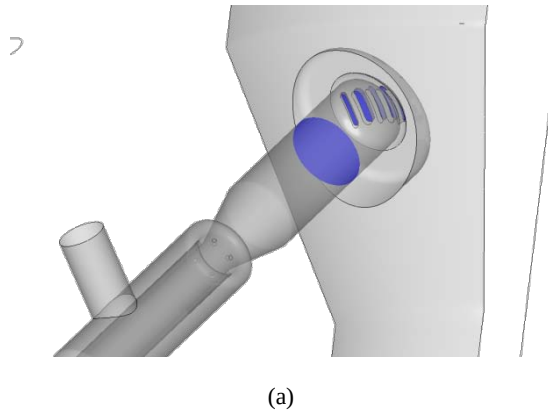


Figura 21 – Perfil de fracción volumétrica de catalizador promediada en el tiempo. (a) Posición de la superficie que tangencia el *tip* del atomizador. (b) Superficie de misma curvatura del *tip* del atomizador, distante 4mm. (c) Fracción volumétrica de catalizador en la superficie del atomizador. (d) Campo de fracción volumétrica de carga en la superficie tangente al *tip* del atomizador. E) Campo de fracción volumétrica de carga en la superficie 4mm distante del *tip* del atomizador.

5. CONCLUSIONES

La operación del atomizador es inherentemente transitoria y no presenta un régimen en que las fluctuaciones se estabilicen en torno a un valor medio. Esta característica del flujo es inducida por la geometría de la alimentación de vapor a través de los seis orificios (líneas de centro de los orificios coincidentes sobre la línea axial del atomizador) que operan en régimen de flujo sónico.

La disposición con superposición de las plumas de los chorros de alta energía interfiriendo unos sobre otros, promueve una fuerte fluctuación del flujo multifásico en torno de la línea de centro del Atomizador, claramente observado en los campos de velocidad, que se propagan del interior del atomizador hasta las ranuras del TIP.

La distribución de vapor e hidrocarburos en las cinco ranuras del *tip* es asimétrica, exhibiendo relación vapor/hidrocarburo menor en las ranuras laterales 1 y 5, intermedia en las 2 y 4 y alta en la ranura 4 central. La mayor parte de la carga de hidrocarburos fluye por las ranuras laterales y parte por la zona superior de las ranuras centrales.

A partir de estos resultados se infiere que la atomización menos intensa ocurre en los laterales del atomizador y la más intensa en la ranura central. Por lo tanto la mayor parte de la carga que sale por las ranuras de los extremos laterales no se beneficia de la mejor potencia de atomización de vapor.

El campo transitorio de velocidad y de presión (dinámica) es tal que permite el ingreso de catalizador por la parte inferior de las ranuras centrales al interior del atomizador. Esta situación es extremadamente indeseable por promover erosión local de la boquilla y a lo largo del tiempo una pérdida de atomización de ese equipamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

ANSYS (2014), Fluent Theory Guide, v 15.0.

Atomax (1994) – US 5289976, Mar 1, 1994.

Maliska, C. R. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional. LTC. 2 ed, Rio de Janeiro, 2004.

Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation. New York, 1980.

Pozo, M., Loutaty, R., Bergougnou, M. (2000), Modeling of Feed Vaporization in Fluid Catalytic Cracking. Ind. Eng. Chem. Res. 39, 4392 – 4399.

CURRICULUM VITAE

Marcela Raviculé es Licenciada en Física egresada de la UNLP. Ingresó a YPF en el año 1996 en la Gerencia de Servicios Técnicos para desarrollo de productos asfálticos. Desde el año 1999 hasta la fecha, se desempeña en YPF Tecnología en Ensenada, Provincia de Buenos Aires. Ha desarrollado tareas de investigación, desarrollo y soporte tecnológico especializado en simulación y cálculo numérico, aplicando herramientas de elementos finitos (MEF), volúmenes finitos y fluido dinámica computacional (CFD) para los negocios de E&P y Refino de YPF.

Alfredo A. Marticorena. Ingeniero Químico egresado de la Universidad Nacional del Litoral. Ente 2008 y 2013 desarrolló tareas de I+D, diseño y consultoría en la gerencia nuclear de INVAP. En 2013 se incorporó como tecnólogo al grupo I+D Procesos de Y-TEC donde aborda problemas de ingeniería de Upstream y Downstream utilizando herramientas de fluidodinámica computacional.

Victor Arume obtuvo en 2010 el título de Ingeniero Mecánico por el Centro Universitário da FEI (Faculdade de Engenharia Industrial). Trabaja en ESSS desde 2008 como Especialista en Aplicaciones CAE. Trabajó en el desarrollo de estudios en el área de dinámica de fluidos computacional aplicada para el estudio de dispersión de gases y análisis de riesgo y, desde 2013 ha estado involucrado en la aplicación de CFD para estudios de equipamientos de FCC acoplados al análisis estructural y acústica.

José Mozart Fusco, cuenta con 34 años de valiosa experiencia en el proceso de craqueo catalítico fluidizado (FCC) concurso para trabajar en el Centro de Investigación de Petrobras (CENPES). Al principio de su carrera trabajó durante 12 años en el grupo FCC (I + D) y luego trabajó durante 22 años en el equipo de diseño de ingeniería básica de la FCC. Trabajó en modificaciones del diseño de varios modelos Convertidores y tanto en el desarrollo como en los diseños básicos de las nuevas unidades de base de Petrobras convertidor para el residuo de craqueo. Desde 1992 ha estado involucrado en la aplicación de CFD y CAE para el diseño de la FCC y la solución de problemas. A finales de 2012 se unió al equipo ESSS y participa activamente en proyectos de CFD con varios clientes como CAE consultor técnico senior.

Karolline Ropelato es una ingeniera química con Master y Doctorado de UNICAMP, con énfasis en CFD. Ella también tiene un MBA en Gestión de Proyectos de Fundação Getulio Vargas, Brasil. Ha estado trabajando en Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) desde el año 2000 con un amplio rango de tecnologías provenientes de la industria del petróleo, como torres fraccionadoras, el proceso de cracking catalítico de fluidos (FCC), coqueo retardado y proceso primario del petróleo.