

Simulación de la cámara de combustión de una caldera pitotubular utilizando la herramienta computacional ansys

Simulation of the combustion chamber of a pitotubular boiler using the ansys computer tool

Jose Ricardo Bermudez Santaella, Andrea del Pilar Fabra Rivera, Francys Marcel Rodriguez Jimenez
¹Grupo de Investigación de Desarrollo de Procesos Industriales, Departamento de Electricidad y Electronica, Facultad de Ingenieria, "GIDPI", Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia
joseriocardobs@ufps.edu.co
francysmarcelrj@ufps.edu.co
andreadelpilarfr@ufps.edu.co

Resumen—En este artículo se analiza la reacción de combustión entre el combustible (ACPM) y comburente (AIRE) que ocurre al interior de la cámara de combustión de una caldera piro tubular empleando el software Ansys® y seleccionando el método fluent (CFD) [2], siendo el indicado para simular fluidos en procesos de combustión. Se realizó un estudio del comportamiento de la temperatura y presión a través de la longitud total de la cámara de combustión y a su vez las fracciones molares y másicas de los productos resultantes de la combustión CO_2, O_2, N_2 Y H_2O . Los resultados de las variables fueron comparados con el desarrollo de un modelo matemático implementado en la herramienta Simulink®, teniendo en cuenta las mismas condiciones y el combustible ACPM.

Palabras clave— Ansys®, Modelo matemático, Cámara de combustión, Combustión.

Abstract—This article analyzes the combustion reaction between the fuel (ACPM) and combustion (AIR) that occurs inside the combustion chamber of a pyrotubular boiler using Ansys® software and selecting the fluent method (CFD), being the indicated one To simulate fluids. A study of the behavior of the temperature and pressure through the total length of the combustion chamber and in turn the molar and mass fractions of the products resulting from the combustion CO_2, O_2, N_2 Y H_2O . The results of the variables were compared with the approach of a mathematical model implemented in the simulink tool, taking into account the same conditions and the ACPM fuel.

Key Word -- Ansys, Mathematical model, Combustion chamber, Combustion.

I. INTRODUCCIÓN

La cámara de combustión [1], es el área donde se efectúa el proceso de combustión, mediante el suministro de los dos componentes, comburente (aire) y combustible (ACPM), donde su estructura química está establecida mediante rangos de carbonos; para este estudio se estableció una estructura de $C_{12}H_{26}$ [7], que generan la reacción de la combustión, produciendo los gases de combustión, los cuales, llevan consigo energía, representada en calor, que es transportado hacia las paredes de la cámara de combustión, para realizar la transferencia de calor, hacia el agua que se encuentra almacenada en el tanque de la caldera, hasta calentarla para cambiarla de estado de líquido a vapor. El vapor que produce este proceso de combustión, es empleado en diferentes industrias, como, la textil, la alimenticia, para turbinas, entre otras.

Ansys® permite visualizar y analizar el comportamiento interno en la cámara de combustión, basándose en las condiciones reales de los datos que son tomados, mediante los diferentes métodos e instrumentos, que permiten obtener esta data. En el siguiente artículo se puede observar el proceso de simulación [4] para una cámara de combustión de una caldera piro tubular, mediante la implementación del método Fluid Fluent CFD [5] el cual, permite simular fluidos y dar valores de las variables de estudios tales como, temperatura, velocidad de los gases de combustión, fracciones molares, presión y transferencia de calor. Es así como se puede conocer, si el proceso de combustión se

efectúa de forma correcta, sin presentar excesos que superen los límites establecidos o excesos de combustible, que perjudiquen la generación de vapor, presentando inquemados, sin permitir que se desarrolle una combustión óptima.

II. SIMULACIÓN DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Geometría. Para iniciar la simulación de la cámara de combustión se determinó que se debía diseñar el 25% de la cámara de combustión, es decir, un cuarto de la geometría total, para llevar a cabo la simulación de forma exitosa, debido a que Ansys® no genera los resultados necesarios por la capacidad del equipo que se empleó. Otro factor a tener en cuenta es la periodicidad que debe ser aplicada con el fin de que la simulación obtenida pueda ser visualizada para la geometría total. En la tabla 1 se puede observar las dimensiones de la cámara de combustión.

Ítem	Medida
Longitud de la cámara de combustión	1m
Longitud del volumen de control	0,75m
Diámetro interior de la cámara de combustión	0,25m
Diámetro interior de la cámara de combustión	0,30m

Tabla 1. Dimensiones de la cámara de combustión

En la figura 1, se puede observar el resultado del diseño del 25% de la cámara de combustión, teniendo en cuenta el volumen de control para la simulación del proceso de combustión.

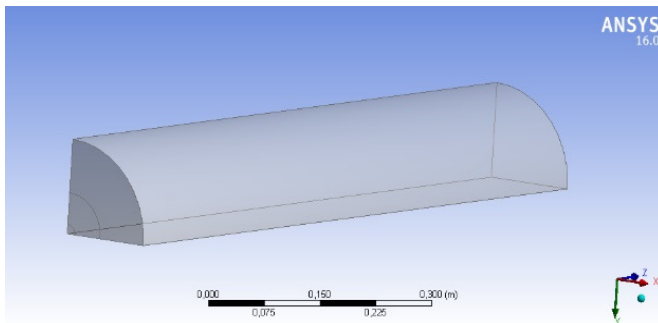


Figura 1. Un cuarto de la geometría de la cámara de combustión.

Enmallado. Toda geometría que va a ser sometida a un análisis, genera la necesidad de crear una malla para el objeto de estudio, donde se divide el sólido en varias caras que son convergentes, con el fin de hacer que el sólido se convierta en una geometría suavizada y sea fácil de trabajar en el estudio que se quiere llevar a cabo. Para esto Ansys® presenta la opción de realizar “Mesh”, donde se creó la malla de acuerdo a los parámetros establecidos en el software, para la geometría diseñada de la cámara de

combustión [8]. En la tabla 2, se puede observar las consideraciones establecidas para generar la malla de la geometría.

Predeterminado	
Preferencia de la física	CFD
Dimensionamiento	
Función de dimensión	curvatura
centro de relevancia	Grueso
Suavizado	Medio
Curvatura del ángulo	12°
Tamaño mínimo	3,65e-004 m
Tamaño máximo	2,92e-003 m
Longitud del borde	3,0761e-004 m
Ensamble	
Método	CutCell
Estadística	
Nodos	528423
Elementos	507143

Tabla 2. Parámetros de enmallado

En la figura 2, se puede observar los resultados de la malla a través de la geometría, de acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente.

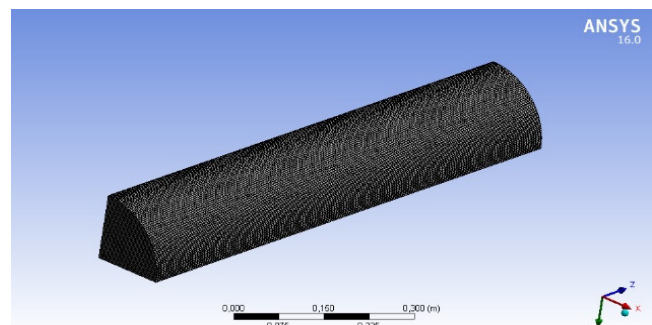


Figura 2. Enmallado de la geometría

Set up. La siguiente fase de la simulación, consiste en establecer los parámetros para que los resultados obtenidos se acerquen a los reales, para esto se determinaron las siguientes condiciones.

Condiciones generales: Se estableció una solución basada en la presión, con velocidad de la formulación absoluta y, un tiempo estable.

Condiciones de modelo: Se trabajó con la ecuación de la energía, con una viscosidad de k-épsilon (2eqn); también, se

seleccionó combustión no premezclada (Non-premixed combustion), con una relación de estado de equilibrio químico, con una energía de tratamiento no adiabático y un flujo de combustible empírico, en el cual se creó el combustible ACPM, de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas; Por último, se seleccionó el modelo de fases discretas, donde se creó una inyección con una presión de giro-atomizador, un tipo de inyección de gota (droplet), donde se inyectara un combustible empírico (n-pentane liquid) [6].

Condiciones de contorno: Para las condiciones de contorno, se determinaron de acuerdo a la geometría diseñada anteriormente, donde fueron divididas por la entrada de aire, entrada del combustible, salida de presión, zona periódica y las paredes de la cámara de combustión, para las cuales se determinaron parámetros diferentes que serán descritos a continuación. En la tabla 3, se observa los parámetros iniciales dados para la realización de la simulación.

Intel_air	
Condiciones	Valor
Reference frame	Absolute
Mass flow Specification Method	Mass Flow Rate
Mass flow Rate (Kg/s)	0,01906
Direction Specification Method	Direction Vector
Cordinate System	Local Cylindrical Swirl
Axial-component of flow Direction	0,5
Radial-component of flow Direction	0,5
Tangential-Velocity (m/s)	3
Specification Method	Intensity and hydraulic diameter
Turbulent Intensity (%)	10
Hydraulic Diameter	0,25
Outlet	
Gauge pressure	0
Target Mass Flow (Kg/s)	0,00114937
Zona periódica	
Zona name	Per1
Periodic Type	Rotational
Wall solid	
Thermal Condition	Convection
Heat Tranfers Coefficient (w/m2-k)	6457
Free stream Temperature (k)	300
Wall Thickness (m)	0,005

Tabla 3. parámetros iniciales

III. SIMULACIÓN DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN EMPLEANDO EL EMPELLER

La simulación del comportamiento de los gases de combustión, tomando como volumen de control el total de la cámara de combustión empleando el empeller, se realizó mediante el método fluid flow (CFX) [3], que suministra el software Ansys®. La simulación se ejecutó de acuerdo a las etapas del método empleado, las cuales, se describirán a continuación.

Geometría. En la geometría elaborada, se realizó de acuerdo a las dimensiones mencionadas anteriormente de la cámara de combustión, teniendo en cuenta la geometría del empeller, ubicado en el interior de la cámara de combustión, el cual, al entrar en contacto con el aire y el combustible que entra, generando turbulencia con el fin de crear una mezcla optima y a su vez distribuirla hacia las paredes de la cámara.

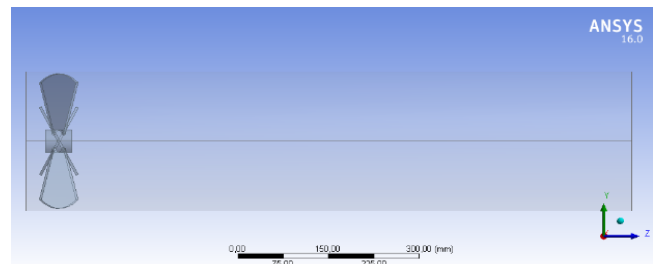


Figura 3. Geometría de la cámara de combustión

Enmallado. A continuación, se describirán los parámetros que se establecieron para la realización de la malla a través de la geometría diseñada.

Valores por defecto	
Preferencia física	CFD
Preferencia de solucionador	CFX
Dimensionamiento	
Función de dimensión	Curvatura
Relevancia de centro	Fina
Suavizado	Medio
Curvatura de ángulo	18°
Dimensionamiento empeller	1,58E-04
Dimensionamiento solido	3,33E-03
Estadística	
Nodos	31160
Elementos	38316

Tabla 4. Parámetros de enmallado

En la imagen 4, se muestra el resultado del enmallado generado de acuerdo a los parámetros establecidos para la geometría de la cámara de combustión y el empujador.

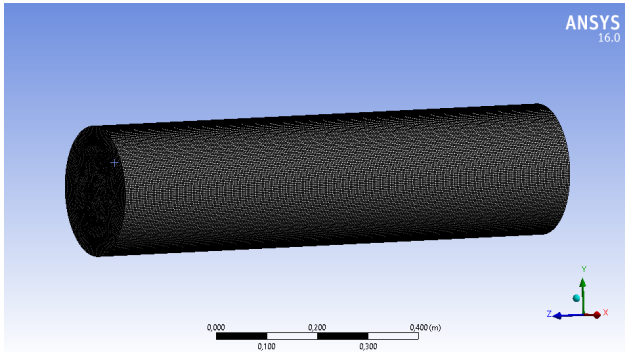


Figura 4. enmallado de la geometría

Set up. En la siguiente tabla, se describen las condiciones necesarias para llevar a cabo la simulación del comportamiento de los gases de combustión, divididas en dos partes; la primera de ellas es el dominio predeterminado donde se selecciona la geometría total y los tipos de límites; entrada de aire, presión de salida y paredes de la cámara de combustión, teniendo en cuenta los datos fundamentales como, temperatura, flujo másico de entrada de aire y presión de salida.

Dominio predeterminado	Fluid models	
	Heat transfer	Thermal Energy
	Turbulence	k-epsilon
Tipo de límites	Medium (intensity=5%)	
	Inlet_air	
	Flow regime	subsonic
	Mass and momentum	Mass Flow Rate
	Mass flow rate	0,01906 kg/seg
	Flow direction	Normal to boundary condition
	Turbulence	High (Intensity=10%)
	outlet	
	Flow regime	subsonic
	Mass and momentum	Static pressure
	Relative pressure	0 Pa
	wall	
Mass and momentum	No slip wall	
wall roughness	smooth wall	
Heat transfer	Adiabatic	

Tabla 5. Condiciones iniciales

En la tabla 6, se puede observar la nomenclatura usada para las variables pertenecientes al modelo matemático.

T	Temperatura de combustión	K
F_{N_2}	Fracción másica del nitrógeno	
F_{H_2O}	Fracción másica del agua	
F_{CO_2}	Fracción másica del Dióxido de carbono	
V_{gc}	Velocidad de gases de combustión	m/seg
Fm_{N_2}	Fracción molar del nitrógeno	
Fm_{O_2}	Fracción molar del oxígeno	
Fm_{H_2O}	Fracción molar del agua	
Fm_{CO_2}	Fracción molar del dióxido de carbono	

Tabla 6. Nomenclatura de variables

IV. RESULTADOS DE LA SIMULACION

En las imágenes 5,6,7 y 8 se puede observar los resultados obtenidos de las simulaciones establecidas, de acuerdo al volumen de control determinado y al método empleado, donde se visualiza las variables de transferencia de calor, temperatura de la combustión, velocidad de los gases y temperatura de los gases de combustión.

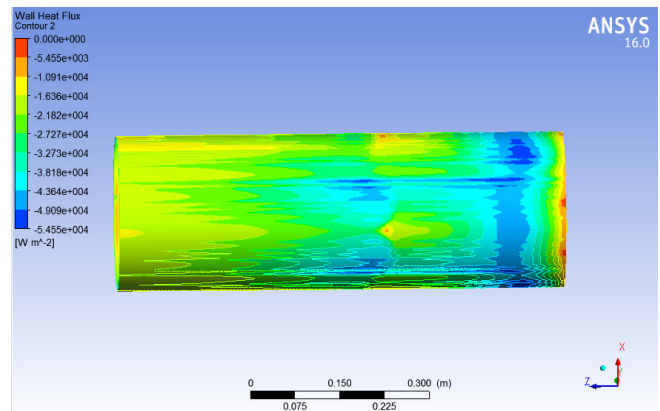


Figura 5. Transferencia de calor de la cámara de combustión.

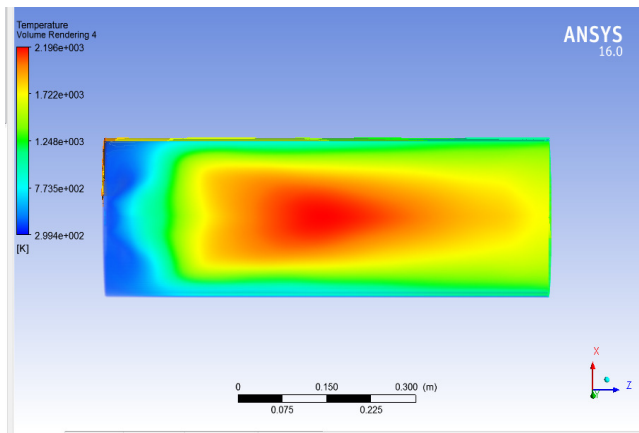


Figura 6 temperatura en la cámara de combustión

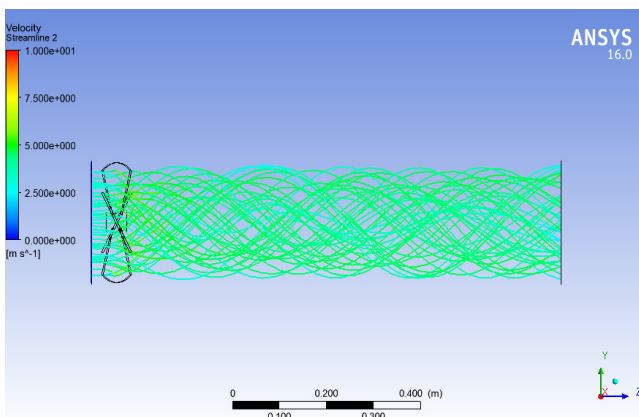


Figura 7 Velocidad de los gases de combustión

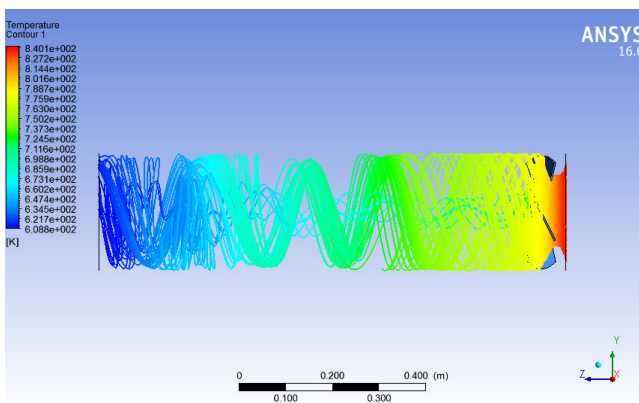


Figura 8. Temperatura de los gases de combustión

Los resultados obtenidos en el software Ansys®, se puede observar en la tabla 7, los cuales se analizaron de acuerdo a las condiciones establecidas, dando valores de las variables de temperatura, velocidad de los gases, fracciones molares y fracciones másicas.

Variables	Ansys	Matlab-Simulink
T	2196	1923
F_{N_2}	0,7669	0,7451
F_{H_2O}	0,096402	0,07828
F_{CO_2}	0,16275	0,17665
V_{gc}	10,18	-
$F_{m_{N_2}}$	0,78992	0,76084
$F_{m_{O_2}}$	0,21008	-
$F_{m_{H_2O}}$	0,12897	0,1243
$F_{m_{CO_2}}$	0,11166	0,1147

Tabla 7. Resultados obtenidos con combustión estequiometria

En las figuras 8 y 9 se puede observar el comportamiento de la Presión y Temperatura a lo largo de la cámara de combustión.

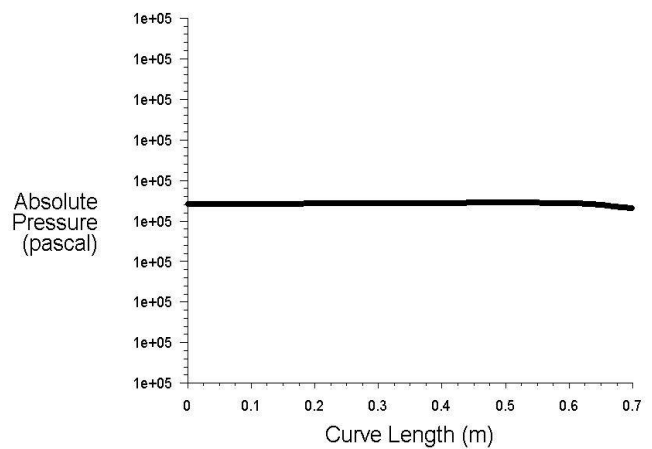


Figura 8. Comportamiento de la presión a lo largo de la cámara de combustión.

V. RESULTADOS

Para los resultados se efectuó una comparación, entre los resultados obtenidos empleando el software Ansys®, junto con los resultados obtenido mediante el software Simulink®, el cual, empleo un modelo matemático, planteado de acuerdo a las condiciones establecidas para la cámara de combustión.

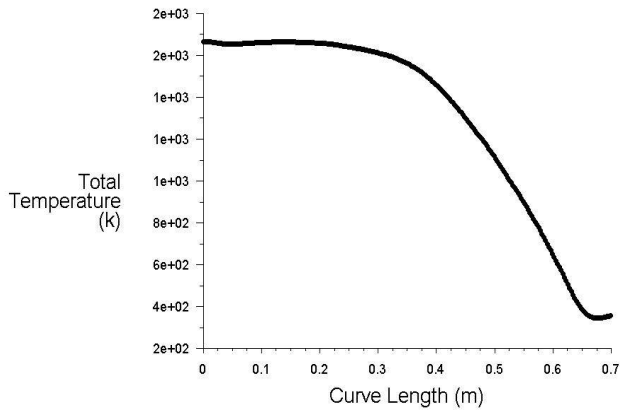


Figura 9. Comportamiento de la temperatura a lo largo de la cámara de combustión

VI. CONCLUSIONES

Cuando se realice una simulación de un proceso de combustión, el módulo CFD permite establecer condiciones iniciales cercanas a la realidad como, una solución basada en la presión, con velocidad de la formulación absoluta, un tiempo estable, energía de tratamiento no adiabático y un flujo de combustible empírico, el cual se genera agregando ciertas características fisicoquímicas, permitiendo conocer los valores de salida de los productos para determinar qué tipo de combustión se está presentando.

Establecer el 25% de la geometría de la cámara de combustión permitió realizar la simulación de forma exitosa, arrojando resultados de las variables de estudio, ya que en un 100% de su geometría la ejecución de la simulación no era posible debido a que exige una capacidad computacional elevada por su gran magnitud.

El método cut cell implementado para realizar la malla del 25% de la geometría diseñada de la cámara de combustión emplea los elementos hexaédricos de alta calidad lo que permite generar una malla de forma rápida y modificable en el refinado y solo se puede trabajar en el método CFD.

El planteamiento del modelo matemático para la simulación en el software Ansys® fue el adecuado ya que, comparando los resultados obtenidos de los flujos másicos y molares de los gases de combustión, son similares con los del modelo matemático planteado en el software Simulink®.

REFERENCIAS

[1] Aguilar, M, Godoy, A y Gomez, N. (2001). CÁMARAS DE COMBUSTIÓN Y SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA.

[2] Faria, P. (2016). Reaccion de combustion. Fluidodinámica, Tecnología de Simulación.

[3] Lopez, A. (Agosto de 2016). SIMULACIÓN MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS DE UNA BOMBA-TURBINA INTEGRAL.

[4] Moreno, P. (2011). Simulación por computadoras.

[5] Ramajo. (s,f). Simulación computacional de los procesos fluido dinámicos en el interior de motores de combustión interna.

[6] Siddique, A. y. (2016). Simulation And CFD Analysis of Various Combustion Chamber Geometry of A C.I Engine Using CFX. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES), 34-38.

[7] Trebos, V. y. (2012). Diseño y construcción de una cámara de combustión para una microturbina de gas. Scientia et Technica.

[8] Zamora, J. (Julio de 2015). SIMULACIÓN CFD DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN UN QUEMADOR CON PRERROTACIÓN.