



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

en colaboración con



## Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

[www.elsevier.es/rimni](http://www.elsevier.es/rimni)



# Estudio del proceso de combustión en un motor de alto *swirl* empleando mecánica de fluidos computacional

D.O. Mora y J.M. Mantilla\*

Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Bogotá, Colombia

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 1 de septiembre de 2015

Aceptado el 25 de abril de 2016

On-line el xxx

#### Palabras clave:

Motores de Combustión Interna

Simulación Numérica

Ecuación G

### R E S U M E N

La simulación numérica de motores de encendido por chispa presenta incertidumbres que comprometen la fiabilidad de los resultados debido a la interrelación existente de la cinética química y la cinemática del flujo dentro de la cámara de combustión. En este trabajo se evalúa el efecto que tiene el uso de distintos mecanismos de reacción aplicados a un modelo de combustión tipo ecuación G y su interacción con el campo de velocidades dentro de la cámara de combustión de un motor CFR que posee características técnicas especiales (alto *swirl* y bajas rpm) que permiten estudiar dicho fenómeno. La investigación se realizó numéricamente empleando mecánica de fluidos computacional (CFD), utilizando la ecuación G (con y sin cinética de reacción) como modelo de combustión y el modelo de turbulencia RANS - $k - \epsilon$ - RNG. Se compara y valida la simulación contra una prueba experimental que reporta la curva del diagrama indicador. Se estudió la influencia que tienen los mecanismos de reacción y el *swirl* en el desarrollo del frente de llama y sus variables asociadas dentro de la cámara de combustión. Finalmente se encontraron ligeras discrepancias entre los mecanismos de reacción empleados que podrían ser importantes en simulaciones de motores encendidos por chispa distintos del aquí estudiado. Así mismo se apreció como un aumento en la intensidad del *swirl* desvía la llama notablemente de los planteamientos teóricos. Las técnicas y códigos actuales requieren ajustar distintos parámetros y por tanto se hace necesaria la validación contra datos experimentales antes de sacar conclusiones de los casos numéricos.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

### Study of the process of combustion in a high swirl engine using computational fluid dynamics

### A B S T R A C T

The numerical simulation of spark ignition engines has uncertainties that compromise the reliability of the results due to the interrelationship between chemical dynamics and flow kinematics within the combustion chamber. This work evaluated the effect of using different reaction mechanisms applied to a G-equation combustion model and its interaction with the velocity field inside the combustion chamber of a CFR engine, which has special technical characteristics (high swirl and low rpm) that allowed the study of this phenomenon. The research was carried out numerically by computational fluid dynamics (CFD) techniques: using a G-equation combustion model (with and without reaction kinetics) and a RANS - $k - \epsilon$ - RNG turbulence model. The numerical simulation was compared and validated against reported experimental pressure indicator diagram. The influence of reaction mechanisms and swirl in the development of the flame front and associated variables within the combustion chamber was studied. Finally slight discrepancies were found between reaction mechanisms used in this study that could be important in simulations of spark ignited engines that are different from the one studied. It was noted

#### Keywords:

Internal Combustion Engines

Numerical Simulation

G-Equation

\* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: [damorap@unal.edu.co](mailto:damorap@unal.edu.co) (D.O. Mora), [jmmantillag@unal.edu.co](mailto:jmmantillag@unal.edu.co) (J.M. Mantilla).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.04.010>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

that an increase in the intensity swirl yields a flame development deviation from the theoretical models. The current codes and simulation techniques require tuning of various parameters, and thus, the validation against experimental data is needed before drawing conclusions from the numerical cases.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La combustión es considerada la mayor fuente generadora de energía del planeta; representando más del 90% del consumo global, entre transporte, calefacción y centrales termoeléctricas [1]. El estudio de la combustión es importante debido al requerimiento de producir emisiones mucho más bajas manteniendo una alta eficiencia térmica. Entre los sistemas de combustión existentes, los motores a combustión interna encendidos por chispa representan una gran proporción y ligeras mejoras en su eficiencia dan a lugar a grandes impactos en términos ambientales y económicos [2]. Con el fin de lograr esto, se ha buscado entender los fenómenos físicos involucrados en la combustión a través de diversos experimentos y simulaciones numéricas. Siendo esta última la herramienta de investigación dominante en épocas recientes. No obstante, el acople de las ecuaciones de transporte a las de cinética química junto a la modelación del régimen del flujo turbulento que son requeridos para realizar las simulaciones numéricas presentan obstáculos que comprometen la fiabilidad de los resultados [3].

La investigación actual de motores encendidos por chispa se centra en reducción de las emisiones y aumento de la eficiencia de la combustión del motor [2]. Estas investigaciones cobijan campos experimentales y numéricos que buscan extender el entendimiento y modelación del fenómeno y sus variables asociadas como: acople turbulento-cinética química, ignición de mezcla aire-combustible, mecanismos cinéticos de reacción, efectos de evaporación de combustible, entre otros.

El efecto que tiene *swirl* en la combustión de los motores de encendido por chispa ha sido estudiado desde hace más 50 años [4], encontrándose que la condición dinámica que tiene la mezcla al momento de entrar a la cámara de combustión tiene una incidencia preponderante en el desarrollo y propagación de la llama. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos experimentales muchos elementos están aún sin resolver [5-7]. Con el advenimiento del CFD se ha deseado continuar indagando en este fenómeno, sin embargo, el acople entre las ecuaciones de momento, el modelo de turbulencia y cinética química presentan incertidumbres que no han sido abordadas en estudios previos. La ampliamente validada ecuación G [8] como modelo de combustión permite evaluar las implicaciones que tiene el uso de distintos modelos cinéticos y su interacción con la turbulencia inducida por el *swirl* dentro de la cámara de combustión del motor y así determinar si estas interacciones afectan los resultados numéricos predichos.

Este trabajo se enfoca en las consecuencias del uso de distintos mecanismos de reacción y su interacción con el campo de velocidades de la mezcla a ser encendida. La metodología empleada involucra una simulación tridimensional completa que es validada contra una prueba experimental realizada en la cámara de combustión de un motor CFR (Cooperative Fuel Research). Contrario a los motores modernos [9] la morfología de este motor no busca promover tumble y es el *swirl* el principal agente que modifica el campo de velocidad inicial de entrada de la mezcla. Esto hace al motor interesante desde el punto de vista fenomenológico de la combustión ya que sus características técnicas: baja velocidad, alto *swirl* y turbulencia permiten hacer simplificaciones de cinética química que ayudan a indagar acerca de los efectos de estos dos factores en el desarrollo y propagación de la llama dentro de la cámara de combustión. Además la ubicación longitudinal de la bujía [10] provoca un cambio

en la forma de propagación de la llama lo cual es atractivo para este estudio.

Estas características fueron ya aprovechadas en estudios anteriores referentes a encendido de mezclas pobres [11], específicamente, en el uso de bujías de plasma (Plasma Jet Ignition) para el estudio del uso de mezclas de hidrógeno y metano como combustible para vehículos comerciales [12] y en la modelación numérica de motores HCCI [13].

La investigación se desarrolló en dos partes fundamentales. Primero, se aproximaron los valores de la variable presión de las simulaciones numéricas por medio de una búsqueda sistemática a la curva de presión experimental reportada. Segundo, se analizó el campo de datos tridimensional extraído de las simulaciones ya validadas. Se compararon variables de combustión (especies, número de Damköhler) entre dos modelos de ecuación G utilizados.

Las pruebas experimentales emplearon gasolina y gasolina-etanol como combustible en un CFR reportando la curva de presión, la fracción de masa quemada, y la energía liberada [14]. Este motor no es transparente por lo cual no fue posible realizar mediciones de campos de velocidad dentro de la cámara de combustión.

Tras la validación de la curva de presión dentro de un rango de error aceptable, se realizó un segundo estudio modificando el valor del *swirl* -el componente cinemático/turbulento- con el fin de apreciar las consecuencias entre este cambio y los modelos de combustión, encontrándose diferencias en las variables globales de presión, temperatura media y energía liberada.

Este trabajo modeló numéricamente la combustión en la cámara del CFR empleando modelos del tipo ecuación G, que ha sido reportada como la metodología más adecuada para este tipo de simulaciones [2]. Se usó un modelo de ecuación G más cinética en equilibrio y otro empleando cinética química. Además, se analizó el efecto del *swirl* con respecto al avance y forma del frente de llama contra los modelos teóricos [15].

Los resultados permiten apreciar ligeras discrepancias entre los modelos de combustión empleados y su interacción con el campo de velocidades 3D presente en la cámara de combustión. Dichas diferencias no podrían ser apreciadas empleando los modelos cero o unidimensionales tradicionales para motores de combustión interna [16].

## 2. Descripción del estudio experimental

El estudio experimental realizado por Mantilla [14] requirió el uso de una tarjeta de control marca MoTeC 3.41G2 *Engine Control Unit* (ECU) para manejar los eventos de inyección de combustible y avance al encendido. La medición de presión en la cámara de combustión se realizó con un transductor Kistler 6125B, a 1/10 de ángulo del cigüeñal. Los flujos de aire y combustible fueron medidos. La temperatura de escape se obtuvo empleando una termocupla tipo Omega K con +/-0.01C de exactitud. La figura 1 ilustra el esquema del montaje experimental.

Los gases de escape fueron medidos empleando una probeta de acero inoxidable ubicada entre el múltiple de escape y el *muffler*, seguido a esto se encontraba una trampa de vapor del tipo membrana. El gas en el escape se midió empleando los siguientes

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050690>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050690>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)