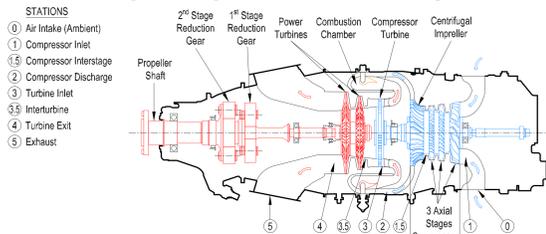


Simulación computacional del comportamiento transitorio de un motor de turbina de gas tipo PT6A operado con diferentes mezclas de biodiesel

C.A. Bayona-Roa^{1,2}

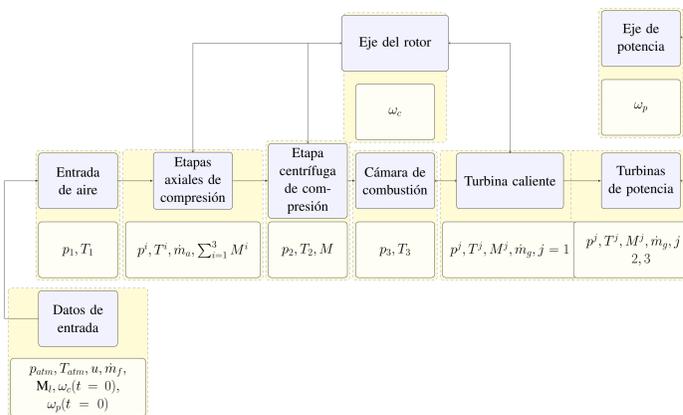
¹Universidad ECCI, Bogotá; ²Centro de Ingeniería Avanzada, Investigación y Desarrollo—CIAID, Bogotá
Correspondencia: cabayonar@unal.edu.co

Con las computadoras modernas uno puede resolver la completa aerodinámica que ocurre en los motores de turbina de gas en lugar de los tradicionales modelos simplificados en estado estacionario. En el presente trabajo [1] desarrollamos un modelo matemático y un procedimiento numérico para representar la respuesta transitoria de un motor de turbina de gas PT6A que funciona en condiciones de operación fuera de diseño. Principalmente, realizamos simulaciones transitorias del encendido del motor PT6A cambiando el combustible original Jet-A1 por mezclas con biodiesel. Un esquema simple del motor PT6A es el siguiente:



Modelo computacional del motor PT6A

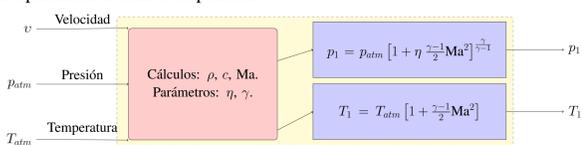
El modelo aerotérmico consiste en un conjunto de ecuaciones diferenciales algebraicas y ordinarias que surgen de la aplicación de la conservación de masa, momento lineal, momento angular y energía en cada componente del motor. La aplicación de los balances a los componentes del motor da como resultado un *modelo matemático de 0 dimensiones* que representa la operación general del motor en estado transitorio. Un enfoque práctico para resolver numéricamente el modelo es implementarlo en el software Matlab-Simulink® [2], que posee una interfaz gráfica para construir fácilmente diagramas de bloques algebraicos. A continuación detallamos el diagrama de bloques global que da solución al modelo del motor PT6A.



Cada bloque constitutivo del diagrama general se presenta detalladamente a continuación. Mencionamos las variables de entrada, los parámetros del sub-sistema, las variables calculadas y las salidas de cada bloque.

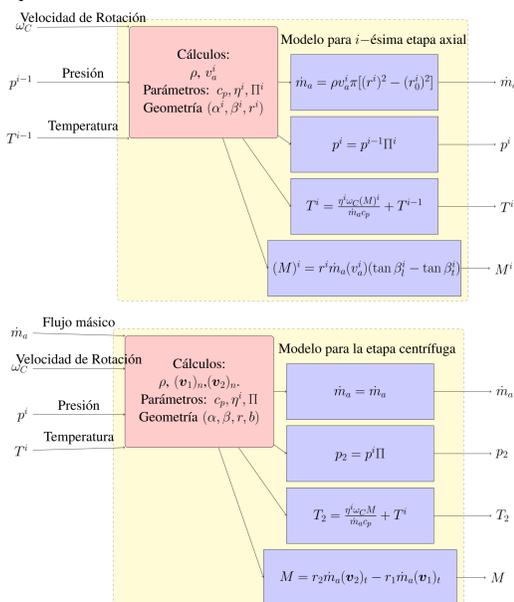
Captación de aire

El captador de aire condiciona la entrada de aire al motor. En éste trabajo incluimos un modelo simple para dicho componente, incluso restringiendo la operación al banco de pruebas.



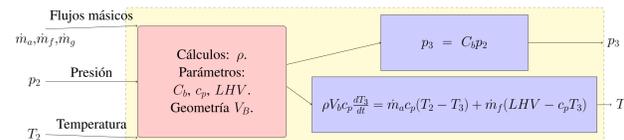
Compresores

Debido a que la sección de compresión del PT6A consiste en tres *etapas axiales* y una *etapa centrífuga*, a continuación detallamos cada tipología de bloques.



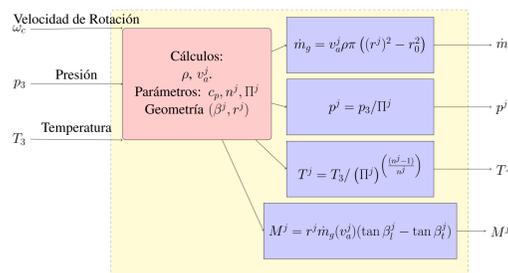
Cámara de combustión

La potencia del motor tiene relación con la cantidad de energía otorgada en la combustión. Aunque el modelo completo de combustión es importante, en el presente trabajo realizamos únicamente un balance global de energía dentro de la cámara.



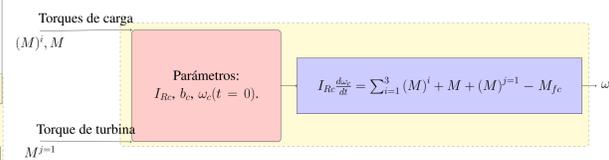
Turbinas

Debido a que la sección de expansión del PT6A consiste en una *etapa axial* que acciona la compresión y dos *etapas axiales* que accionan el eje de potencia, a continuación detallamos el bloque general para una tipología de turbina axial.



Ejes

El motor PT6A se compone de dos ejes distintos: un *eje del rotor* y un *eje de potencia*. Detallamos a continuación el bloque genérico para un eje.



Validación de la operación estacionaria

El modelo computacional mostrado anteriormente se valida contra mediciones experimentales reportadas por el fabricante en el manual del motor [3], y simulaciones de GasTurb® [4].

Condiciones de operación en banco usando combustible Jet-A1.

Condiciones estándar	Valor
Temperatura atmosférica	288 K
Presión atmosférica	101352.9 Pa
Poder calorífico del Jet-A1	42.8 MJ/kg
Flujo másico del Jet-A1	0.062 kg/s
Carga de la propela (en el eje)	2684.51 N.m

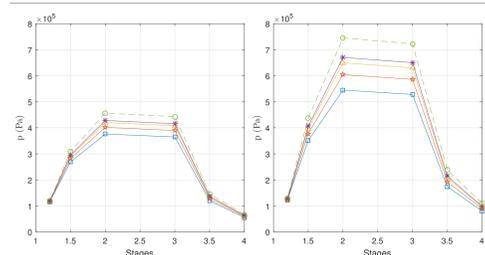
Resultados de la simulación actual y de GasTurb. Temperaturas y presiones estacionarias en las diferentes estaciones del motor PT6A. El error se calcula respecto a las mediciones experimentales.

Estación	Simulación actual				Simulación de GasTurb			
	T(K)	Error(%)	p(pa)	Error(%)	T(K)	Error(%)	p(pa)	Error(%)
1.5	433.63	4.39	423635.89	37.76	420.11	1.12	318248	3.37
2	510.44	16.38	749710.57	4.78	611.03	0.10	814715	3.35
3	1289.15	6.35	727219.25	5.57	1212.1	0	773979	0.48
3.5	925.3	4.11	240006.35	2.49	863.07	12.05	137405	44.17
4	759.69	6.38	111067.77	1.77	829.8	2.20	122816	7.93

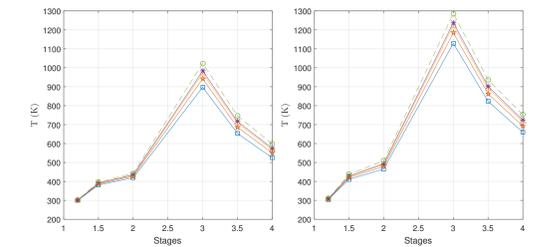
Simulación estacionaria usando mezclas de biodiesel

Tras la validación del modelo computacional, se simula la operación estacionaria del motor usando mezclas de Biodiesel como combustible. Se comparan también los resultados del modelo computacional con los obtenidos por el software GasTurb. Los resultados se presentan para las distintas mezclas de Biodiesel con JetA1 que se enuncian a continuación:

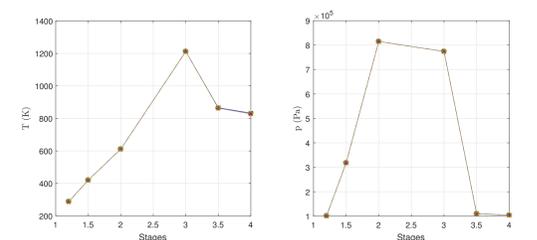
Mezcla (notación)	Poder Calorífico (MJ/kg)	Notación en las gráficas
KB0	42.8	○
KB10	42.14	★
KB20	41.49	△
KB30	40.84	*
KB100	36.29	□



Distribución de la presión en las etapas del motor. Resultados de la operación estacionaria en el régimen de ralentí (izquierda) y máxima (derecha).



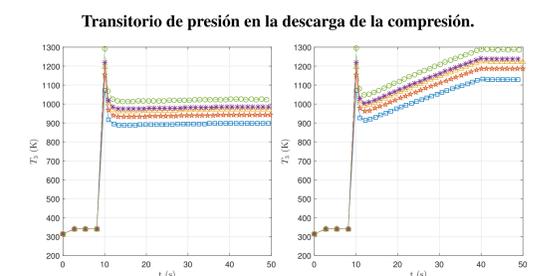
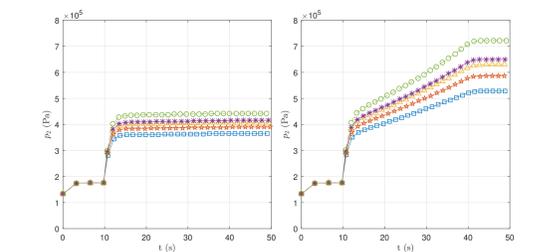
Distribución de la temperatura en las etapas del motor. Resultados de la operación estacionaria en el régimen de ralentí (izquierda) y máxima (derecha).



Resultados de GasTurb. Resultados de temperatura (izquierda) y presión (derecha) en la operación estacionaria en régimen máximo.

Simulación del encendido con mezclas de biodiesel

Finalmente, el transitorio de encendido del motor se simula usando mezclas de Biodiesel para predecir las temperaturas y presiones máximas en el motor. Mostramos los resultados en el régimen de ralentí (izquierda) y máxima (derecha).



Transitorio de temperatura en la cámara de combustión.

Conclusiones

- Hemos desarrollado un modelo computacional funcional de un motor de turbina de gas tipo PT6A, que puede ser usado para probar la respuesta del motor cuando opera en condiciones fuera de diseño.
- El modelo computacional ha sido capaz de predecir las temperaturas y presiones máximas en el encendido, así como su distribución transitoria en todas las etapas del motor.
- El modelo puede ser usado para predecir mezclas aceptables de combustible, de modo que el motor PT6A real puede sustituirse para evitar dañarlo.
- Futuras extensiones del modelo computacional pueden ser usadas para evaluar otras configuraciones de motores de turbina de gas.
- Un trabajo futuro está en complementar el actual modelo aerotérmico con la cinética de reacción en la cámara de combustión.

References

- Bayona-Roa et al. Computational Simulation of PT6A Gas Turbine Engine Operating with Different Blends of Biodiesel: A Transient-Response Analysis. *Preprints*, 2019.
- MATLAB Simulink toolbox, Release 2016a.
- Pratt & Whitney. *PT6 TRAINING MANUAL*. Canada, 2001.
- J. Kurzke. GasTurb 9A Program to Calculate Design and Off-Design Performance of Gas Turbines. *Germany*, <http://www.gasturb.de>, 2001.

Financiado y apoyado por



El conocimiento es de todos

Colciencias



FUERZA AEREA