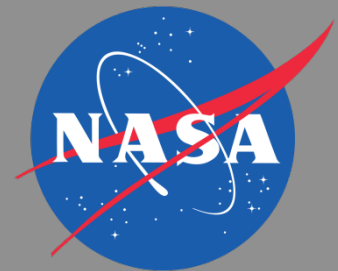




Reporte de estancia Agosto-Diciembre en NASA Ames Research Center

AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA



Brenda Natalia Pérez Pérez

Tabla de Contenidos

Introducción.....	3
Impactos Personales	3
Proyecto realizado	5
Antecedentes.	5
Objetivo	5
Descripción del experimento previamente realizado	6
Enfoque.....	7
Resumen de las simulaciones corridas.....	10
Resultados	11
Conclusiones	19
Actividades de difusión	20
Presentación del poster	21
Agradecimientos.....	22
Referencias	23

Introducción

Este reporte contiene un resumen del proyecto realizado durante la estancia de Agosto a Diciembre en de la estudiante mexicana Brenda Natalia Pérez Pérez en la National Aeronautics and Space Administration (NASA) Research Center. Así como también impactos personales del estudiante, y algunas de las actividades realizadas durante esta experiencia.

Impactos Personales

Fue para mi un gran honor el tener la oportunidad de conocer el tipo de investigaciones que se hacen en NASA Ames Research Center, así como también las instalaciones con las que cuentan que hacen posibles ciertos proyectos. Fue verdaderamente enriquecedor el convivir con personas sumamente preparadas en su campo, pero mas que nada fue muy impactante para mi el ver la voluntad que tienen esas personas de transmitir sus conocimientos y de ayudar al crecimiento de los estudiantes.



Figure 1 NASA "meatball"



Figure 2 Dassault/Dornier Alpha Jet



Figure 3 Transbordador Espacial Endeavour

Proyecto realizado

Antecedentes.

Muchos esfuerzos se han realizado para mejorar la exploración en Marte. En adición a la “Rover” y satélites orbitando Marte, el diseño del “Mars Helicopter” fue propuesto con el fin de optimizar las imágenes en términos de resolución y rango. De la misma manera, la capacidad de vista aérea del Mars Helicopter aumentara la planeación del camino para la exploraciones futuras de la Rover.

Por lo tanto, simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD por sus siglas en ingles Computational Fluid Dynamics) en un software llamado RotCFD fueron realizadas para tener un mayor conocimiento del comportamiento y rendimiento de vehículos Aéreos planetarios de levante vertical. Los resultados obtenidos de RotCFD a dos diferentes presiones, correspondiendo a las condiciones atmosféricas Marte y de Tierra fueron comparadas con datos experimentales recolectados de el test de rotor de marte hecho en el “Aeolian Wind Tunnel” (AWT)

Para este proyecto se utilizo modulo dentro de RotCFD, “Rotorcraft Unstructured Solver” (RotUNS). Como lo explica Koning et al, este modulo resuelve ecuaciones de RANS (Reynolds-averaged Navier Stokes) inestables, incompresibles y tridimensionales en una cuadrícula no estructurada, utilizando un método implícito de volumen finito. El método Semi-implícito para ecuaciones vinculadas de presión revisado (SIMPLER por sus siglas en ingles Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations Revised) es usado para vincular las ecuaciones. La turbulencia es modelada en RotCFD utilizando un modelo de turbulencia $k-\epsilon$ con una función de pared especial. Un rotor es modelado utilizando el modelo de elemento de cuchilla (BEM por sus siglas en ingles Blade-Element Model) e interactúa con el campo de flujo a través del momento que imparte en el flujo[1].

Objetivo

- Entender la capacidad del software CFD de fidelidad media RotCFD de predecir el rendimiento del rotor en términos de empuje a 1013.25 mbar y 14 mbar correspondientes a las condiciones de Tierra y Marte respectivamente.
- Caracterizar los efectos de pared y de la geometría del motor para entender la capacidad predictiva de la simulación.

Descripción del experimento previamente realizado

Un solo rotor de 1.02 m de diámetro fue probado en vuelo hacia delante. El rotor fue montado en el túnel de viento a -14 grados de Angulo de ataque, donde la altura y ancho de la sección transversal son 0.96 y 1.22 m respectivamente. (Como se puede observar en la figura 1.)



Figure 4 Rotor a un ángulo del eje de -14. Recuperado de Isolated Rotor in Forward Flight Testing From One Atmosphere Down to Martian Atmospheric Densities by Ament and Koning

Múltiples datos fueron recolectados a diferentes presiones, variando desde 1 atmosfera a 5.5 mbar. Este reporte utiliza una sección de la información procesada del experimento por Ament y Koning que puede ser visualizada en la siguiente tabla:

Tabla 1 Empuje experimental a 14 mbar y 30 mbar

14 mbar – Run 86			30 mbar – Run 87		
Seq	RPM	Empuje [N]	Seq	RPM	Empuje [N]
7	2087.0000	1.1985	20	2976.0000	2.7237
8	2482.0000	1.3394	21	2778.0000	3.9422
9	2780.0000	2.1730	22	2481.0000	4.9692
10	2976.0000	2.8564	23	2087.0000	6.0990

Enfoque

Con el fin de obtener el rendimiento del rotor y entender la capacidad predictiva de RotCFD, múltiples simulaciones fueron hechas a 1013.25 mbar y 14 mbar. Además, los efectos de la pared y el motor fueron analizadas durante las simulaciones de túnel de viento de este proyecto.

Esta sección dará un breve resumen de los tres tipos de casos fueron modelados para este propósito, los cuales incluyen campo libre (FF por sus siglas en ingles Free Field), Aeolian Wind Tunnel (AWT) con el rotor aislado, y AWT incluyendo la geometría del motor. Durante esta investigación se analizó el cambio de variables en la simulación, como lo son lo largo del túnel de viento, el tiempo de simulación, la velocidad en la entrada del túnel de viento y la densidad del mallado.

1. Campo libre

Este caso considera al rotor aislado sin efectos que puedan tener las paredes del túnel de viento.

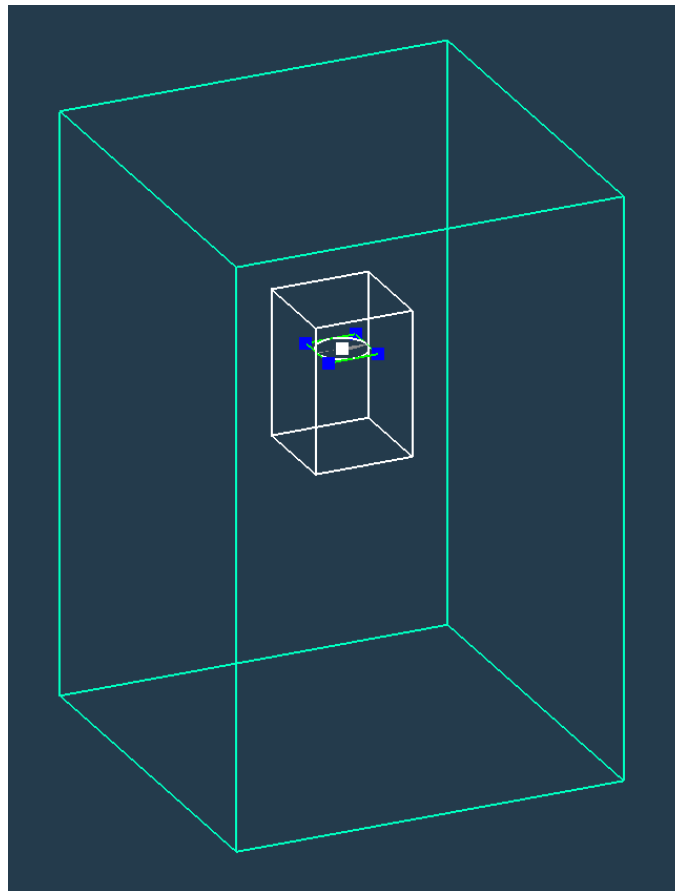


Figure 5 Simulación de campo libre

2. Aeolian Wind Tunnel (AWT)

Este caso considera al túnel de viento y al rotor aislado. Simulaciones adicionales fueron realizadas en este caso para analizar el impacto que tiene la longitud del túnel de viento

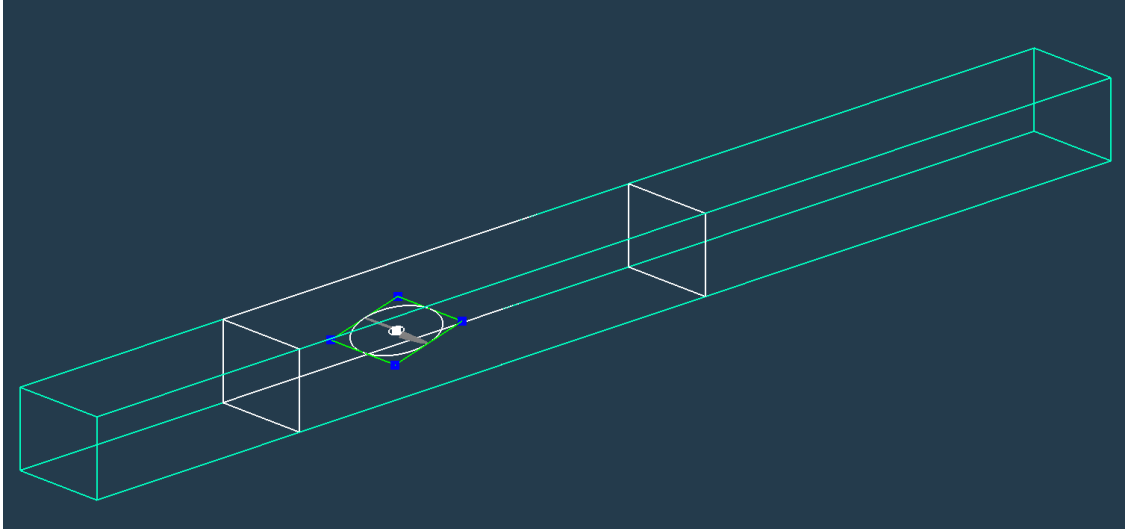


Figure 6 Simulación en el AWT

3. AWT incluyendo la geometría del motor

A diferencia de la simulación previa, esta busca caracterizar los efectos que tiene el modelar una geometría idealizada del motor en el rendimiento del rotor.

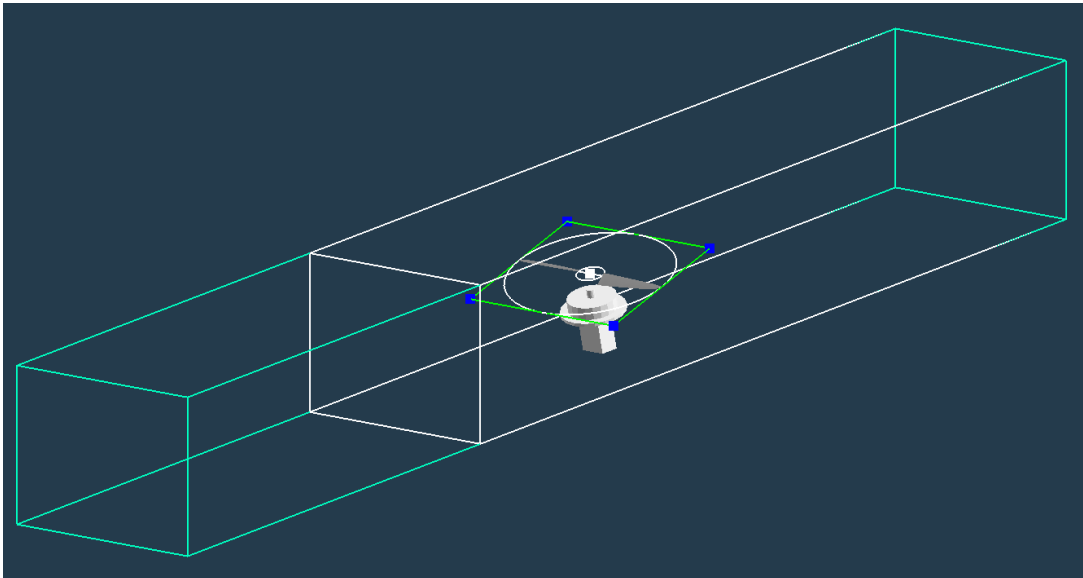


Figure 7 Simulación en el AWT incluyendo una geometría idealizada del motor.

El siguiente diagrama muestra el proceso que se siguió para realizar este proyecto.

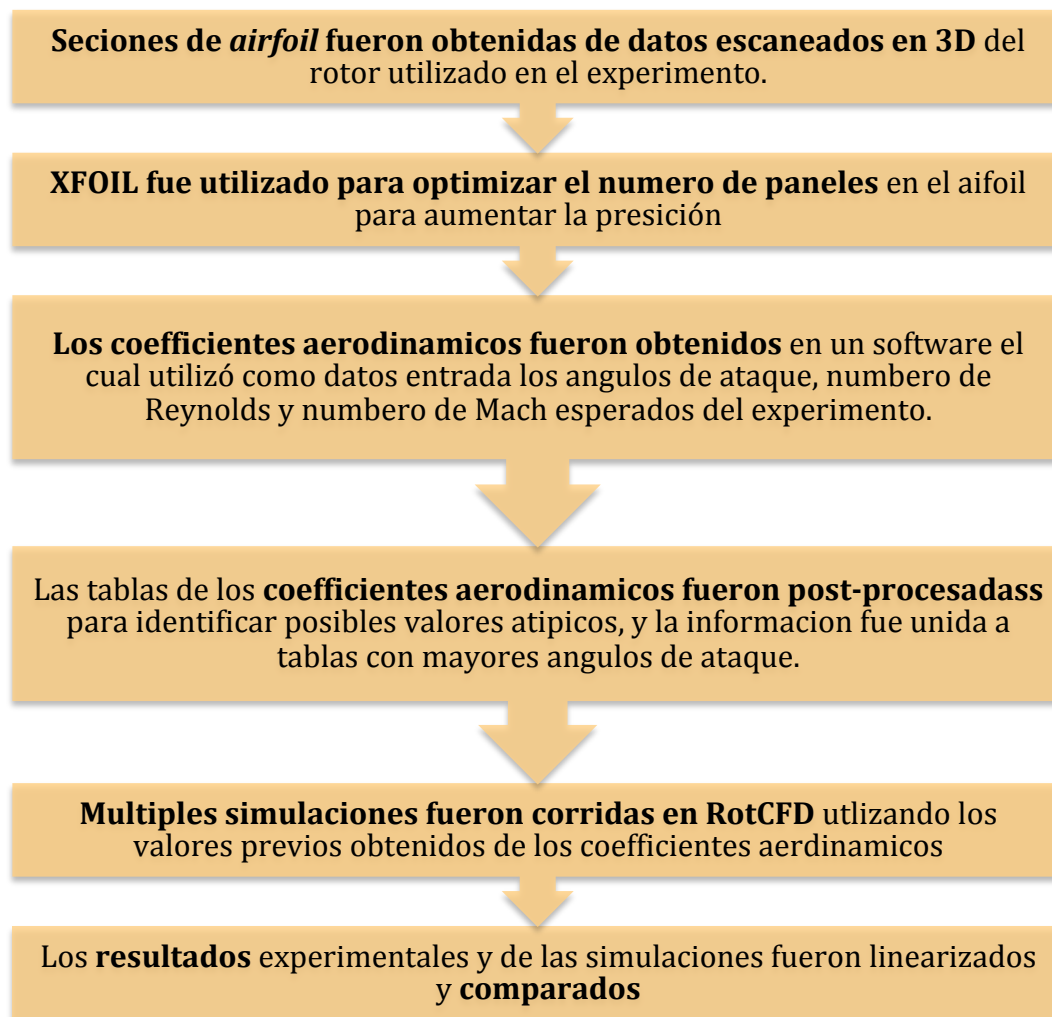


Figure 8 Proceso realizado durante esta investigación

Resumen de las simulaciones corridas

Tabla 2 Resumen de las simulaciones

	1013.25 mbar	14 mbar
Case 1 - FF		
1. Free Field	●	●
2. FF a dos velocidades mas bajas	●	●
Case 2 - AWT		
2. Mayor longitud y tiempo	●	●
3. Longitud y tiempo reducida	●	●
4. Longitud y tiempo reducida a dos velocidades mas bajas	●	●
5. Longitud y tiempo reducida con incremento en la velocidad de entrada del túnel de viento		●
Case 3 - AWT and MG		
5. Longitud y tiempo reducida	●	●
6. Longitud y tiempo reducida a dos velocidades mas bajas		●
Estudio de resolución de cuadrícula		
6. FF con menor densidad de cuadrícula.		●
7. MG configuración con mas refinamiento en el cuerpo		●
8. AWT and MG configuración con mas refinamiento en le cuerpo		●

Resultados

Tabla 3 Comparación de las 3 simulaciones diferentes

	14 mbar @2087 RPM			1013.25 mbar @2180 RPM		
	Empuje [N]	Error [%]	Δ Error [%]	Empuje [N]	Error [%]	Δ Error [%]
Experimento	1.1984			180.8656		
FF	0.9474	20.9512		176.5115	2.4074	
MG AWT	0.8991	24.9728	4.0216	167.3900	7.4506	5.5900
AWT	0.8731	27.1485	6.1974	163.3500	9.6843	7.2769

Se puede observar que para las condiciones de la Tierra y Marte el caso de FF muestra mayor correlación con los datos experimentales, y que el incremento en el error entre FF y los siguientes dos casos enseña un incremento constante. Por lo tanto se piensa que la discrepancia mayor en los resultados a presiones reducidas entre los resultados de la simulación y datos experimentales no se encuentra dentro de la geometría, pero otros factores podrían estar afectando esta diferencia.

Análisis en la configuración AWT and MG

La tabla a continuación muestra un resumen de los factores analizados que se pensaron que podrían potencialmente afectar a la discrepancia en los resultados. Esto fue analizado a 3000 RPM del rotor y 14 mbar.

Tabla 4 Cambio en configuraciones

AWT	Configuraciones originales (S1)	Cambio en configuraciones (S2)
1. Velocidad en la entrada del túnel de viento	7.3 m/s	9 m/s and 20 m/s
2. Longitud del túnel de viento y tiempo de simulación	(5D, 4D) 4.2 seg	(5D, 10D) 8.4 seg
3. Densidad de celdas	1,148,968	751,478
MG		
5. Refinamiento del cuerpo	3	4
6. Densidad de celdas	1,163,743	763,114

La tabla 4 muestra los valores del empuje experimental (S1), y las simulaciones después del cambio correspondiente en las configuraciones (S2). La tercera columna muestra el porcentaje de cambio del empuje entre S1 y S2. Similarmente, la ultima columna enseña por cuanto el porcentaje de error decrece de S1 a S2.

Tabla 5 Empuje obtenido con cambios en las configuraciones

AWT	S1 [N]	S2 [N]	Cambio de S1 a S2 [%]	Reducción en el error [%]
ΔV to 9 m/s	1.8378	1.9013	3.46	2.22
ΔV to 20m/s	1.8378	2.03302	10.62	6.83
ΔL and ΔT	1.8378	1.8383	0.03	0.02
Δ Numero de celdas	1.8378	1.8343	-0.18	-0.12
MG AWT				
ΔV to 9 m/s	1.9053	1.94014	1.8285	1.21
Δ Refinamiento de cuerpo(9m/s)	1.9401	1.9442	0.21	0.14

Puede ser observado que el factor que mayormente incrementa el empuje es el incremento en velocidad. El error se reduce por 2.22% cuando se cambia de 7.3 m/s a 9 m/s. Similarmente, el error decrece 6.83% cuando se cambia de 7.3 m/s a 20 m/s. A pesar de que 20 m/s puede ser un poco mayor que la velocidad experimental, este análisis fue hecho para investigar que tan sensitivo es el empuje con el incremento en velocidad. Sin embargo, aun con el aumento de velocidad a 20 m/s, el empuje no alcanza el empuje experimental, el cual es 2.8564 N.

Aunque estos factores presentados en la tabla cambian el empuje en la simulación, estos no parecen ser los mayores contribuidores a la diferencia en los resultados.

Análisis en la configuración de campo libre

Este tipo de simulación arroja los valores de empuje mas cercanos al experimental para ambos casos de presiones y densidades correspondientes de Tierra y Marte.

Análisis 1 atmosfera y 14 mbar.

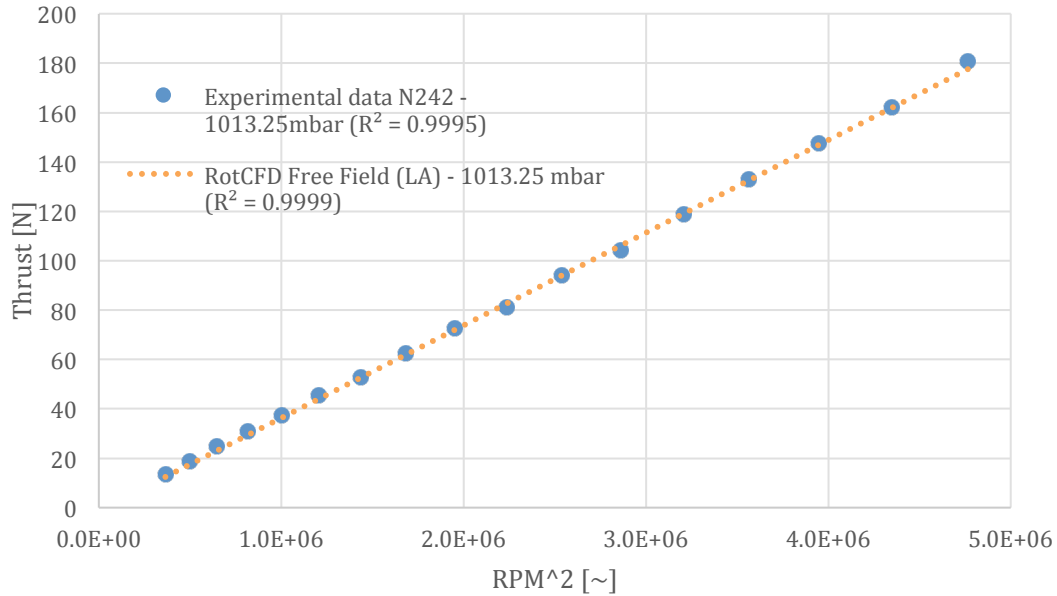


Figure 9 Empuje contra RPM^2 a 1 atmósfera

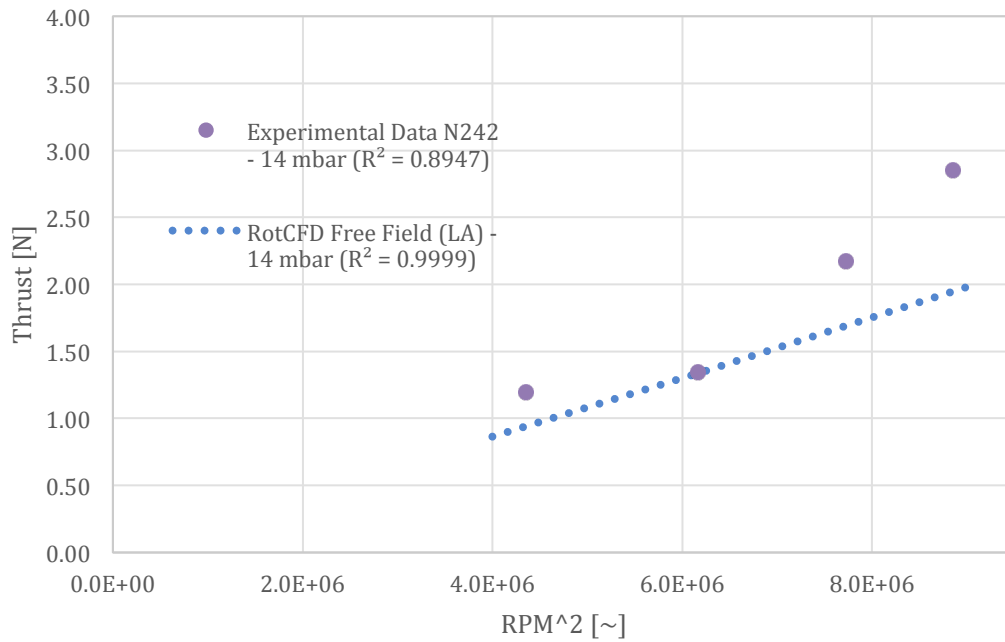


Figure 10 Empuje contra RPM^2 a 14 mbar

Tabla 6 Resultados de empuje a 1 atmósfera

1013.25 mbar		ET Comparación			ET (LA) Comparación		
RPM	FFT LA [N]	ET [N]	ET-FFT [N]	Error (%)	ET LA [N]	ET (LA)-FFT [N]	Error (%)
604	12.41	13.32	0.90	6.76	13.31	0.89	6.70
705	17.40	18.88	1.48	7.85	18.27	0.87	4.79
804	22.97	24.75	1.78	7.21	23.83	0.85	3.60
903	29.32	30.90	1.57	5.10	30.16	0.83	2.78
1002	36.38	37.64	1.25	3.35	37.19	0.81	2.19
1100	44.09	45.65	1.55	3.40	44.88	0.79	1.76
1199	52.65	52.90	0.24	0.47	53.42	0.76	1.43
1297	61.89	62.65	0.76	1.22	62.62	0.73	1.18
1397	72.02	72.63	0.61	0.85	72.72	0.70	0.97
1500	83.17	81.33	-1.80	2.26	83.84	0.66	0.80
1593	93.98	94.17	0.18	0.20	94.62	0.63	0.67
1691	106.03	104.38	-1.64	1.58	106.63	0.59	0.56
1791	119.17	118.84	-0.33	0.28	119.73	0.55	0.46
1888	132.56	132.82	0.26	0.20	133.07	0.51	0.39
1986	146.77	147.73	0.95	0.65	147.24	0.47	0.32
2085	161.95	161.98	0.03	0.02	162.37	0.42	0.26
2183	177.63	180.86	3.22	1.79	178.01	0.37	0.21
		Error promedio (%)		2.54	Error promedio(%)		1.71

Tabla 7 Resultados de empuje a 14 mbar

14 mbar		ET Comparación			ET (LA) Comparación		
RPM	FFT LA [N]	ET [N]	ET-FFT [N]	Error (%)	ET LA [N]	ET (LA)-FFT [N]	Error (%)
2087	0.94	1.19	0.25	20.95	0.98	0.03	3.96
2482	1.34	1.33	0.01	0.08	1.66	0.32	19.32
2780	1.68	2.17	0.49	22.58	2.24	0.56	25.17
2976	1.92	2.85	0.92	32.49	2.67	0.74	27.79
		Error Promedio (%)		19.03	Error promedio (%)		19.07

ET, *Experimental thrust*, se refiere al empuje experimental. FFT, *Free Field Thrust*, se refiere al empuje obtenido en las simulaciones del caso de campo libre. Mientras que LA es la aproximación lineal que se hace de los valores obtenidos tanto en los datos experimentales, como en los simulados.

Las simulaciones a presiones reducidas exhiben un porcentaje de error más grande que en las simulaciones a 1 atmosfera. Cabe recalcar que aunque, en general hay menor diferencia de empuje entre el empuje simulado y experimental a presiones reducidas, aun un cambio de 1 Newton puede llevar a un error mayor por que la magnitud del empuje es muy bajo a presiones reducidas. Al contrario que en las simulaciones a 1 atmosfera donde un cambio de 1 Newton en la mayoría de sus valores no hace un cambio muy significativo en el porcentaje de error. Sin embargo, puede observarse que a los valores mas bajos de velocidad de punta de 1 atmosfera (604 RPM), existe una diferencia de alrededor de 7%. El lado derecho de la tabla, donde se compara con los valores de la aproximación lineal, demuestra que el porcentaje de error incrementa con la reducción en el valor del empuje.

Tal ves, una de las atribuciones a la diferencia entre los valores experimentales y simulados no es una cuestión de las diferencias que existen entre las condiciones de Tierra y Marte, si no en la capacidad de la simulación de predecir valores bajos de empuje.

Puede ser visto que el cambio de empuje que se necesita observar para aproximarse mejor a los resultados experimentales es menos de 0.8N. Por lo tanto, una de las preguntas pensadas fue que cambio en las configuraciones de la simulación pueden hacerse para obtener ese incremento en el empuje.

Por eso un estudio de resolución de malla fue hecho para analizar si la densidad de las celdas podrían exhibir un cambio en el empuje de esa magnitud.

Estudio de resolución de malla

El numero de celdas fue reducido por un factor de 1.5. La simulación original (S1) contiene 1,153,579 celdas, mientras la simulación con la reducción en celdas (S2) contiene 720,375 celdas.

Tabla 8 Cambio de configuraciones en las celdas

FF	S1 [N]	S2 [N]	S2-S1 [N]	Cambio observado [%]
Δ Numero de celdas	1.9818	1.9970	0.0152	0.7669

Puede observarse que el empuje no cambia considerablemente. De acuerdo con este análisis, la diferencia entre los valores de empuje en la simulación y experimento no

pueden ser atribuidos al numero de celdas utilizado, pero otros factores pueden estar afectado a esas presiones reducidas.

Sensibilidad a presión en RotCFD

Esfuerzo fueron hechos para encontrar la presión correspondiente en la simulación que diera los valores experimentales de empuje del caso de 14 mbar. De igual forma, el mismo procedimiento fue seguido para la presión experimental de 30 mbar para analizar consistencia. La tabla siguiente muestra el factor de incremento que necesita ser visto en las simulaciones para obtener el empuje experimental de la aproximación lineal.

Tabla 9 Factor de incremento requerido para alcanzar el empuje experimental

RPM	14 mbar			30 mbar		
	ET [N]	FFT (LA) [N]	Factor	ET [N]	FFT (LA) [N]	Factor
2087	1.1985	0.9474	1.27	2.7116	2.0704	1.31
2482	1.3394	1.3406	1.00	3.8676	2.9543	1.31
2780	2.1730	1.6823	1.29	4.8627	3.7201	1.31
2976	2.8564	1.9284	1.48	6.0990	4.2765	1.43

Además, simulaciones adicionales fueron corridas donde la presión fue incrementada alrededor de un 40%(de 14 mbar a 20mbar, y de 30mbar a 42 mbar) para 3 diferentes velocidades de punta para observar si el empuje aumentaría con el misma razón de incremento.

Tabla 10 Factor de incremento observado después de correr las simulaciones

RPM [-]	T [N] 14 mbar	T [N] 20 mbar	Factor	T [N] 30mbar	T [N] 42 mbar	Factor
2000	0.8643	1.2301	1.4232	1.9017	2.6658	1.4018
2500	1.3557	1.9343	1.4268	2.9880	4.1643	1.3937
3000	1.9818	2.8222	1.4240	4.3508	6.0999	1.4020

El factor visto en el incremento de presión a 3000 RPM de 14 mbar a 20 mbar, y de 30 mbar a 42 mbar es 1.4286 y 1.4 respectivamente. Entonces, como puede ser visto en la tabla anterior, el empuje incrementa en efecto con alrededor de la misma razón.

Se encontró que el incremento que reduciría el promedio de error para las presiones reducidas es de 1.27 para 14 mbar, y 1.33 para 30 mbar. En otras palabras, estas dos presiones tendrían que aumentar cerca de 30% para obtener el empuje experimental

La figura y tabla a continuación enseña la comparación y el error visto si la presión en la simulación en RotCFD fuera incrementada alrededor de 30%

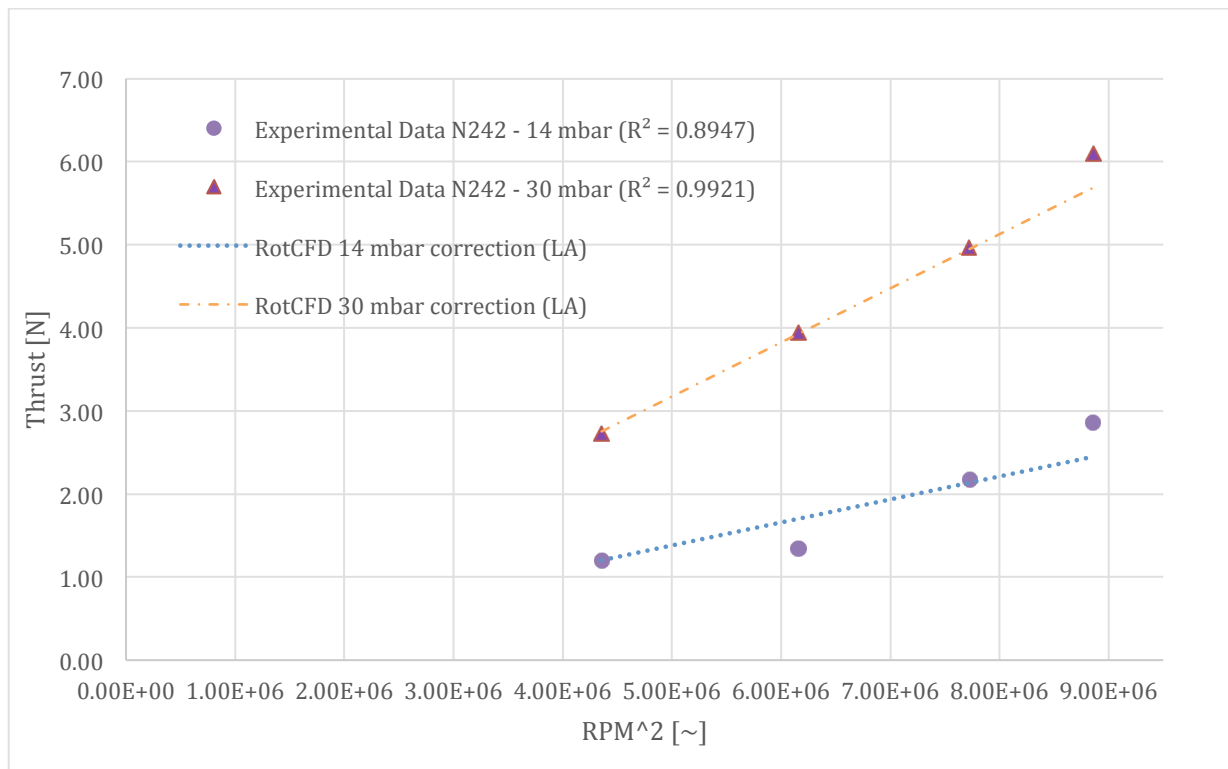


Tabla 11 Diferencia entre el empuje experimental y el empuje a diferentes presiones en RotCFD

RotCFD en RotCFD	Error promedio [%]	Presión en RotCFD	Error promedio[%]
14 mbar	19.03	30 mbar	26.02
20 mbar	17.16	42mbar	4.39
17.78 mbar	10.86	39.9mbar	2.17

Sensibilidad a tablas de coeficientes aerodinámicos a diferentes presiones en RotCFD

La simulación previa de 30 mbar utiliza la tabla de coeficientes aerodinámicos obtenidos para 14 mbar. De hecho, con el fin de tener un estimado de que tanto puede cambiar el empuje al utilizar tablas que son alrededor de la mitad de la presión actual en RotCFD, un análisis fue hecho para investigar el cambio de empuje al utilizar tablas de 7 mbar en una simulación de 14 mbar en RotCFD. Estas tablas de coeficientes aerodinámicos a 7 mbar fueron proveídos por Koning.

Tabla 12 Empuje obtenido en RotCFD con coeficientes aerodinámicos de 7 mbar y 14 mbar

ACT	Empuje [N]
7mbar	1.8951
14mbar	1.9649

Al utilizar una tabla de coeficientes aerodinámicos obtenida a 7 mbar en una simulación de 14 mbar en RotCFD reduce el empuje alrededor de un 3.5%. Por lo tanto, se piensa que para la simulación previa de 30 mbar la reducción vista puede ser una de las razones por el cual el factor de incremento es un poco mayor para 30 mbar. Puede ser que al utilizar las tablas de coeficientes aerodinámicos correspondientes, ese factor de incremento que se necesita ver para las dos presiones reducidas pudiera acercarse aun mas.

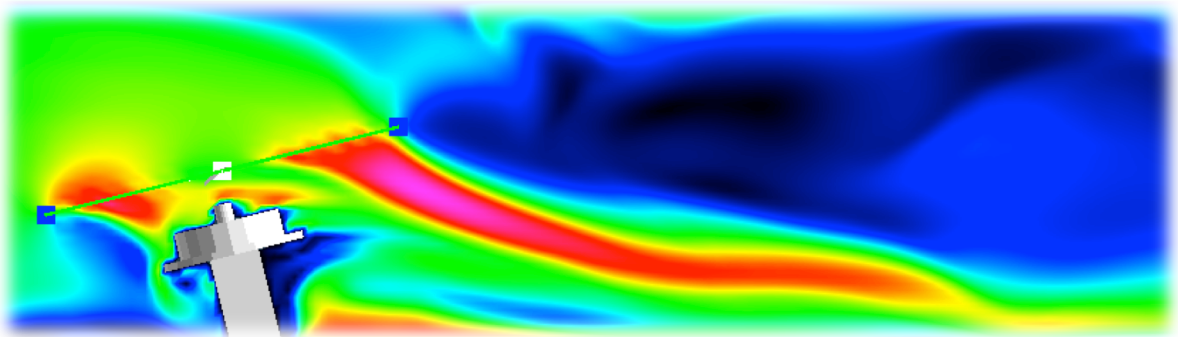


Figure 11 Magnitud de velocidad a 3000 RPM en AWT con geometría idealizada del motor

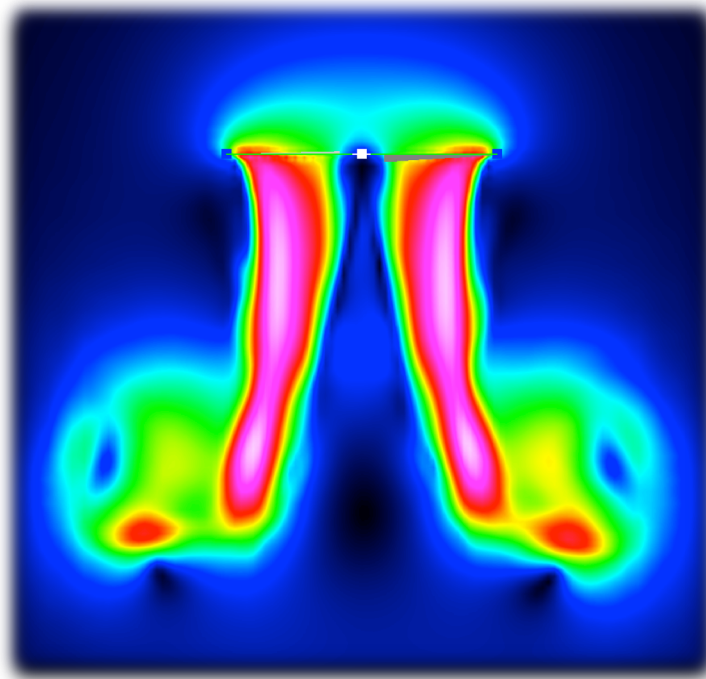


Figure 12 Magnitud de velocidad a 3000 RPM en campo libre

Conclusiones

Estas simulaciones demostrar un comportamiento consistente en ambas condiciones Terrestres y Marcianas, donde la configuración de campo libre exhibe un valor de empuje mas cercano al valor experimental, seguido por la configuración AWT y MG, y finalmente AWT con el rotor aislado. En otras palabras, el agregar paredes y geometría del motor pareciera estar teniendo el mismo efecto en el rendimiento del rotor en términos de empuje a presiones reducidas y a una atmosfera. Por lo tanto, se piensa que la mayor fuente de discrepancia entre los resultados a presiones reducidas entre los datos experimentales y simulados no se atribuye en la geometría, si no que otros factores pudieran estar afectando a esta diferencia.

Fue visto de los resultados de la aproximación linear del experimento y simulación, que porcentaje de error incrementa al reducirse el empuje (o las RPM) para ambos 1 atmosfera y 14 mbar. Consecuentemente, es pensado que tal ves una de las mayores atribuciones al error a presiones reducidas no es una cuestión de las diferencias entre las condiciones de presiones de la Tierra y Marte, si no en la capacidad de la simulación de predecir valores bajos de empuje. (Incluso en condiciones terrestres)

El incremento en la longitud del túnel, el tiempo, y la densidad de las celdas no muestra un cambio significativo en el empuje. Mientras que el cambio en la velocidad y presión exhibe un cambio mayor en el empuje. Sin embargo, es visto que aun si se aumentara la velocidad en la entrada del túnel de viento a una velocidad relativamente alta, el empuje en la simulación no alcanza el experimental.

Finalmente, si la presión en la simulación se incrementa alrededor de un 30%, el error promedio es reducido de 19.03% a 10.86%, y de 26.02% a 2.17% para 14 mbar y 30 mbar respectivamente.

Actividades de difusión

Durante el periodo de la estancia en la NASA, Ames se dio lugar a diferentes actividades dentro de la Rama de Aeromecánica donde se asistió en presentar algunas de las actividades que realizan dentro de esta misma rama. Dos de ellas, incluyen el evento en NASA Ames, y Portola Valley.

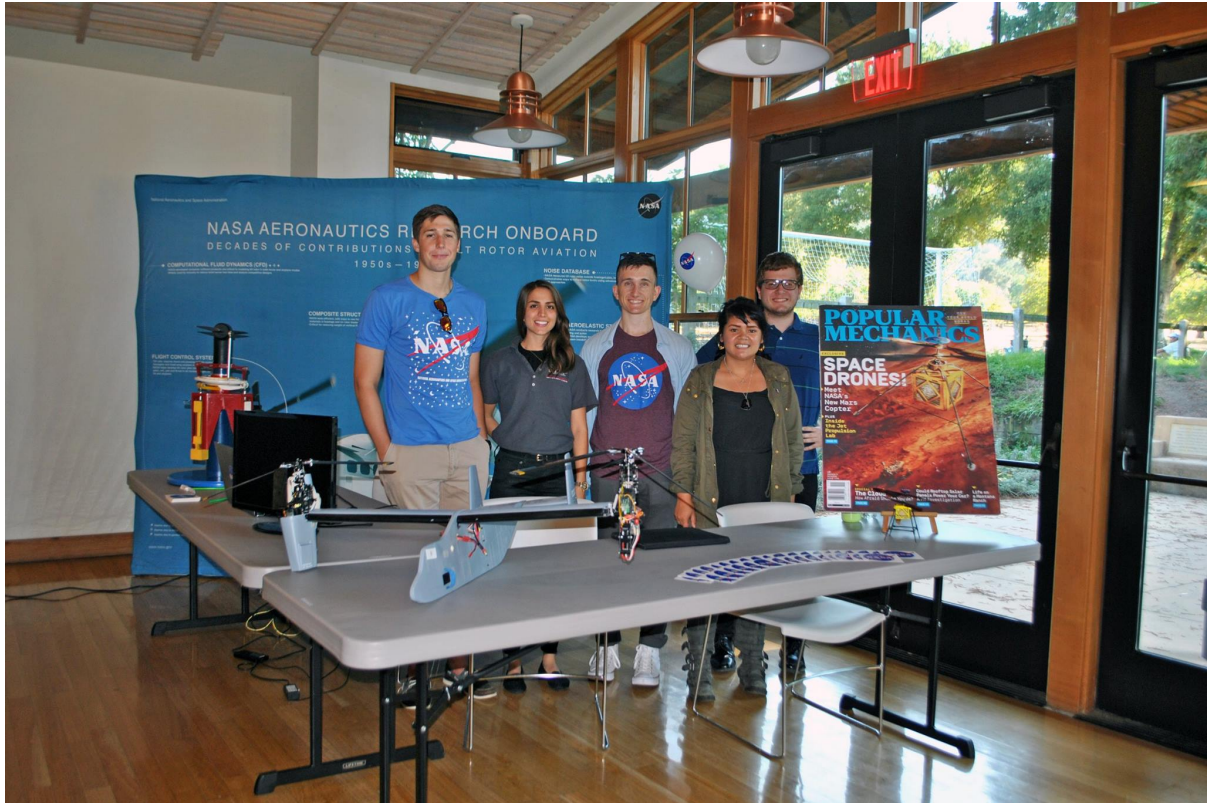


Figure 13 Actividad de difusión en Portola Valley

Presentación del poster

Durante la ultima semana de la estancia se da lugar a la presentación de los proyectos de todos los practicantes en NASA Ames mediante el uso de un poster, donde acuden diferentes miembros del NASA Ames Research Center para escuchar el resumen de los proyectos.



Figure 14 Presentación de mi poster para Dr. William Warmbrodt (Aeromechanics Chief)



Figure 15 Imagen en la sesión de poster tomada por NASA Internships

NASA Internships
Te gusta esta página · 16 de diciembre de 2017 ·

You can join NASA interns this Summer! Start by filling out an intern application! Visit intern.nasa.gov to get started! #STEM #internship #future

Puedes unirte a los internos de la nasa este verano! Empieza rellenando una solicitud de interno! Visita interna. NASA. Gov para empezar! #tallo #prácticas #futuro

⚙ Ocultar original · Calificar esta traducción

Agradecimientos

Agradezco a la Agencia Espacial Mexicana por hacer posibles estos programas, donde los estudiantes tienen la oportunidad de enriquecerse en su carrera profesional de gran manera en la NASA Ames Research Center. También, agradezco a la Universidad Regional Del Norte por haberme dado su apoyo, sin el cual mi experiencia no hubiera sido posible.

Me gustaría expresar mi mas sincera gratitud para el Dr. Warmbrodt por su gran apoyo y tutoría. Quisiera agradecer también a Witold Koning, que sin su conocimiento, apoyo y dirección este estudio no hubiera sido posible.

No hay palabras para agradecer a mi familia, a mis papás y prometido por su apoyo tan grande que me han dado, no solo en esta experiencia si no a lo largo de mi carrera profesional.

Referencias

1] Koning, G. A. (2018). *Isolated Rotor Forward Flight Testing From One Atmosphere Down to Martian Atmospheric Densities*. Science and Technology Corporation .
Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center