



4^{to} Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



ANÁLISIS DE FLUCTUACIONES DE LA PRESIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA CPM

J. Marañón Di Leo^{a,c}, M. V. Calandra^b, J.S. Delnero^{a,c}, S. Algozino^{a,c}

^aUIDET LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, calle 1 y 47, La Plata, Pcia. Buenos Aires, Argentina <http://www.laclyfa.ing.edu.ar>

^bUIDET Gamefi, Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, calle 50 y 115, La Plata, Pcia. Buenos Aires, Argentina.

^cConsejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. www.conicet.gov.ar

Palabras claves: Presiones, Fluctuaciones, Comando, Hélice, Punto de Cambio

Resumen

En el presente trabajo mostramos los resultados obtenidos de la aplicación de la herramienta estadística basada en algoritmos de punto de cambio (CPM – Change Point Model), con el objetivo de determinar cambios en una señal de fluctuaciones de la presión determinadas en un ensayo experimental en túnel de viento para analizar y detectar los efectos sobre el campo fluidodinámico de un comando sometido a la acción de una hélice operando en las inmediaciones del borde de fuga de un ala. En estos ensayos se busca establecer las características de los efectos producidos sobre la operación del comando. En este caso se trata de un flap simple operando en el borde de fuga de un ala sometido a los efectos de una hélice en configuración pusher cercana al flap.

Los modelos CPM se han aplicado ampliamente en la detección de cambios en variables aleatorias en una vasta variedad de procesos y problemas. En nuestro caso hemos implementado, previamente, los modelos CPM para el análisis de señales de las fluctuaciones turbulentas de la velocidad obteniendo muy buenos resultados, logrando establecer las escalas de eventos turbulentos, con iguales resultados de los que se consiguen con las herramientas estadísticas clásicas para este tipo de estudios.

En este caso hemos logrado implementar los algoritmos CPM en las señales de presión procesadas y se han podido comparar los resultados obtenidos con aquellos que se obtienen mediante los tratamientos habituales en este tipo de estudios. De esta manera demostramos la aplicabilidad de los modelos CPM permitiendo generar una nueva herramienta de análisis, y con la particularidad de que estos algoritmos son utilizables, también, en tiempo real con la posibilidad de poder detectar en el mismo ensayo las características particulares de la fluctuación de las presiones.

1. INTRODUCCIÓN

Las hélices en configuración “*pusher*” se han transformado en una opción viable en el diseño de aeronaves a partir de la década del '90 [1]. Se han propuesto y construido una gran variedad de diseños considerando la configuración en la que la posición de la hélice se encuentra detrás del ala, detrás de fuselajes, o de empenajes de cola. En muchos casos la hélice en esta configuración resulta tener mejor eficiencia aerodinámica que la hélice tractora, debido a la menor velocidad del flujo entrante sobre la hélice por influencia del cuerpo corriente arriba. Además, debido a la ubicación de la hélice se posee más flexibilidad a la hora de encontrar la posición del motor sobre la aeronave.

Por otro lado, el ala recibe el flujo sin perturbar por lo que teóricamente aumentaría su eficiencia, pero al estar inmerso en un flujo de bajo Reynolds, existirán efectos sobre el flujo aguas arriba debido a la presencia de la hélice, aunque esta se encuentre aguas abajo [2].

En la Figura 1 se muestra un esquema básico del fenómeno particular referido a la interacción del campo del flujo generado por la hélice interactuando con el campo del flujo generado por un ala.

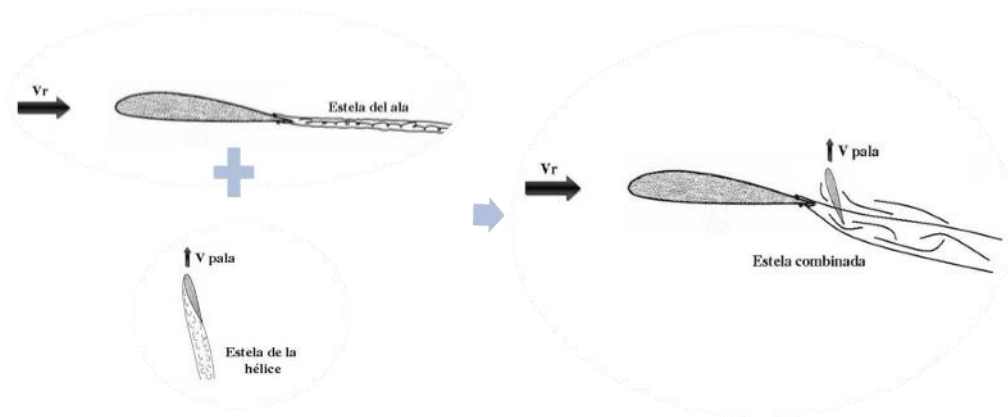


Figura 1: Esquema del fenómeno de interacción hélice-ala.

En particular, resulta de interés el caso en el cual la hélice en dicha configuración puede generar efectos sobre el comportamiento de un comando en las cercanías de la misma, como por ejemplo un comando de flap en el ala. No hay muchos trabajos que se hayan realizado al respecto [3, 4], es por ello que en nuestro Laboratorio se vienen desarrollando diversos experimentos en túnel de viento, cuyos resultados se han presentado en diversos congresos y trabajos [5, 6, 7, 8]. Se busca detectar como la hélice perturba al flujo sobre el ala, particularmente sobre el comando de flap.

En continuidad con los trabajos realizados hasta la fecha, esta presentación tiene como objeto realizar nuevos análisis comparativos, a partir de los resultados ya obtenidos, mediante la aplicación de una nueva metodología de análisis estadístico basada en modelos denominados de punto de cambio, que se vienen implementando en nuestro Laboratorio en lo que respecta al análisis de datos de señales anemométricas. En este caso, y por primera vez, se plantea el análisis de los datos de la medición de la fluctuación de las presiones empleando este método.

2. METODOLOGÍA DE PUNTO DE CAMBIO

2.1. Consideraciones generales

El problema de la detección de un cambio ha sido una vasta área de investigación desde la década de 1950 [10-12]. Debido a que el problema tiene una naturaleza muy general, la literatura es muy diversa y se desarrolla en campos muy diversos. En particular, muchos de los métodos tienen su origen en la comunidad del control de

calidad, donde el objetivo principal es monitorear los resultados de un proceso de manufactura industrial, buscando la detección de fallas en el mismo lo más tempranamente posible [9]. Sin embargo, existen muchas otras aplicaciones donde las técnicas de detección de cambios resultan importantes, por ejemplo, en el estudio de secuencias genéticas, estudios climatológicos, aplicaciones bioinformáticas, intrusión en redes de computadoras, evoluciones de mercados financieros, etc. De todos estos temas existe mucha bibliografía que hace referencia a la temática, pero su aplicación al análisis de señales anemométricas no es conocido. Para nuestro caso, la señal sensada corresponde a los valores fluctuantes de la velocidad del aire en un flujo turbulento.

En los últimos años [13] se ha comenzado a trabajar exhaustivamente en la temática de detección de cambios en un proceso y se han definido ciertos criterios básicos. Muchos problemas estadísticos requieren la identificación de puntos de cambio en una secuencia de datos. El control estadístico de procesos (SPC – Statistical Process Control) se refiere al monitoreo de procesos debido a un cambio en su distribución. En los métodos tradicionales se asume que la distribución del proceso es totalmente conocida previo a cualquier cambio, incluyendo todos sus parámetros, en cuyo caso se dice que el proceso está “en control”, y “fuera de control” si ocurre un cambio que causa que el proceso se corresponda a una distribución diferente. Se busca diseñar cartas de control que puedan detectar desviaciones de la distribución de base. Usualmente, en cartas de control, se emplea la función de Longitud de Corrida Promedio (ARL – Average Run Length), donde ARL_0 indica el número promedio de observaciones entre la detección de falsos positivos asumiendo que no ha ocurrido un cambio y ARL_δ que indica el retraso medio antes que un cambio de tamaño δ sea detectado. Esto es análogo a la idea clásica aplicada en el diseño de test de hipótesis de tener un error de Tipo 1 acotado y un error de Tipo 2 controlado.

Históricamente las cartas de control fueron desarrolladas con el propósito de monitorear cambios en el valor medio de un proceso, pero hoy día se han desarrollado variaciones que permiten, además, monitorear los cambios en la desviación estándar, tanto en distribuciones gaussianas como no gaussianas, este hecho nos impulsó a investigar la aplicabilidad de dichas nuevas metodologías a la detección de cambios en una señal aleatoria turbulenta.

Las cartas de control, tradicionalmente, requieren el conocimiento total del proceso “en control”, pero ello no es un problema si existe una muestra de referencia grande de observaciones que son conocidas para generar la distribución “en control”. En el caso de tratarse de muestras de tamaño fijo se considera el llamado análisis Fase I, mientras que si se realiza un monitoreo secuencial del proceso cuando las observaciones son recibidas en el tiempo se lo denomina análisis Fase II [13].

En algunos casos la muestra de referencia puede ser pequeña o no existir. En estos casos sería imposible estimar con exactitud los parámetros “en control”. Esto tiene importantes implicaciones, se encontró que aún pequeñas desviaciones a partir de los valores reales pueden causar que las cartas muestren un ARL_0 significativamente diferente respecto al valor deseado [14]. Una situación peor puede ocurrir cuando la distribución “en control” es incorrectamente especificada, como el empleo de una distribución gaussiana para procesos que exhiben asimetría estadística (skewness). En estas circunstancias son necesarias cartas de control no paramétricas tal que no asuman ningún conocimiento de la distribución “en control” (cartas de “distribución libre”), manteniendo un valor deseado del ARL_0 sin importar la distribución verdadera del proceso en estudio.

En trabajos previos [15, 16, 17], se realizaron estudios para analizar la aplicación de modelos de punto de cambio (Change Point Model, CPM), utilizados para detectar desviaciones en una señal sensada, en estos casos resultó ser la señal de la velocidad turbulenta fluctuante del aire en campos de velocidades de estelas, obteniéndose muy buenos resultados para el análisis del flujo. En el presente trabajo se consideran, nuevamente, tests no paramétricos aplicados a las señales de las mediciones de las fluctuaciones de la presión, para la implementación del modelo CPM, utilizando para la aplicación del algoritmo de detección rutinas codificadas en lenguaje R (<https://cran.r-project.org/web/packages/cpm/index.html>) [18], las cuales son de dominio público, empleando el tests de Cramer-von Mises (CPM-CvM) [13].

2.2. Test CPM-CvM

Consideraremos el problema de detectar un punto de cambio en una secuencia de observaciones fija. Identificando las observaciones como $\{X_1, \dots, X_T\}$, el objetivo es testear si han sido generadas por la misma distribución de probabilidad. Asumimos que no se conoce a priori esa distribución. Utilizando el lenguaje de test de hipótesis estadístico, la hipótesis nula es la que refiere a que no hay punto de cambio y todas las observaciones provienen de la misma distribución, mientras que la hipótesis alternativa es la que indica que existe un punto de cambio τ en la secuencia que la particiona en dos conjuntos, con X_1, \dots, X_τ que provienen de la distribución F_0

previa al cambio, y $X_{\tau+1}, \dots, X_t$ que provienen de una distribución F_1 diferente luego del cambio [12],

$$\begin{aligned} \text{nula } H_0 : X_i &\sim F_0 \text{ para } i=1, 2, \dots, t \\ \text{alternativa } H_1 : X_i &\sim F_0 \text{ para } i=1, 2, \dots, \tau \text{ y } X_i \sim F_1 \text{ para } i=\tau+1, \tau+2, \dots, t' \end{aligned} \quad (1)$$

Se puede testear si existe un punto de cambio inmediatamente después de cualquier observación X_k particionando las observaciones en dos muestras $S_1 = \{X_1, \dots, X_k\}$ y $S_2 = \{X_{k+1}, \dots, X_t\}$ de tamaños $n_1 = k$ y $n_2 = t - k$, respectivamente, y entonces se aplica un test de hipótesis a las dos muestras. Nosotros para estos test emplearemos el CvM. Este test se basa en la comparación de la función de distribución empírica de las dos muestras, definidas como,

$$\begin{aligned} \hat{F}_{S_1}(x) &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k I(X_i \leq x) \\ \hat{F}_{S_2}(x) &= \frac{1}{t-k} \sum_{i=k+1}^t I(X_i \leq x) \end{aligned} \quad (2)$$

Donde $I(X_i < x)$ es la función indicador

$$I(X_i < x) = \begin{cases} 1 & \text{si } X_i < x \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (3)$$

El test CvM se basa en el cuadrado de la distancia promedio entre las dos distribuciones empíricas,

$$W_{k,t} = \int_{-\infty}^{\infty} \left| \hat{F}_{S_1} - \hat{F}_{S_2} \right|^2 dF_t(x) \quad (4)$$

donde dF_t es la distribución empírica de la muestra total recopilada, y puede ser aplicado directamente, como la siguiente suma [12, 14],

$$W_{k,t} = \sum_{i=1}^t \left| \hat{F}_{S_1}(X_i) - \hat{F}_{S_2}(X_i) \right|^2 \quad (5)$$

Nuevamente rechazamos la hipótesis nula H_0 si $W_{k,t} > h_{k,t}$ para algún umbral $h_{k,t}$.

Como no se conoce dónde va a estar ubicado el punto de cambio, no sabemos qué valor de k utilizar para el particionado de la muestra, es por ello que se especifica una hipótesis nula H_0 más general, no hay ningún cambio en la secuencia de valores. La hipótesis alternativa H_1 es que existe un punto de cambio para algún valor de k no específico. Entonces podemos hacer este test mediante el cálculo del estadístico $W_{k,t}$ en cada valor $1 < k < t$ y tomar el valor máximo. Como la varianza del estadístico $W_{k,t}$ depende del valor de k , se debe estandarizar el estadístico de forma que tenga igual media y varianza para todos los valores de k . Para nuestro caso la estandarización es simple obteniéndose las siguientes media y varianza para el estadístico [13],

$$\begin{aligned} \mu_{W_{k,t}} &= \frac{t+1}{6t} \\ \sigma_{W_{k,t}}^2 &= \frac{(t+1) \left[(1-3/4k)t^2 + (1-k)t - k \right]}{45t^2(t-k)} \end{aligned} \quad (6)$$

Esto lleva a la maximización del test estadístico

$$W_t = \max_k \frac{W_{k,t} - \mu_{W_{k,t}}}{\sigma_{W_{k,t}}}, \text{ con } 1 < k < t, \quad (7)$$

Si el estadístico $W_t > h_t$, donde h_t es algún posible umbral elegido, entonces la hipótesis nula H_0 es desechada y

concluimos que ha ocurrido un cambio en algún punto de la secuencia de datos. En este caso, el mejor estimador τ de la ubicación del punto de cambio es en el valor k que maximiza W_i . Si $W_i \leq h_i$, entonces no se rechaza la hipótesis nula H_0 , y por ello se concluye que no ha ocurrido ningún cambio.

Habiendo considerado el problema de detectar puntos de cambio de una muestra de tamaño fijo, ahora veremos como se implementa en el caso de tener observaciones que se van sucediendo en el tiempo. Sea X_t la t -ésima observación, siendo t incrementada con el tiempo. A medida que una nueva observación X_t es recibida, se puede tratar a $\{X_1, \dots, X_t\}$ como si fuera una muestra de tamaño fijo y utilizar la metodología descrita previamente para testear si algún cambio ha ocurrido. De esta forma el problema del monitoreo secuencial se reduce a desarrollar una secuencia de test de tamaño fijo. Es por ello que, en esta primera instancia de análisis previo a su utilización en mediciones en tiempo real, solo planteamos realizar un análisis de Fase I de la señal.

Una de las cuestiones más importantes en la aplicación de este modelo CPM es el número de observaciones previas al cambio, este tiene un gran impacto en el desempeño del modelo. Como la distribución previa al cambio es desconocida, será fácil de detectar cambios cuando el número de observaciones previo sea grande, permitiendo obtener una mejor estimación de la distribución, y una función de distribución empírica más exacta.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. Montaje y modelo

Los trabajos experimentales fueron realizados en la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental (UIDET LaCLyFA) del Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. El trabajo se desarrolló en el Túnel de Viento TV1 (ver Figura 2), el mismo es del tipo de capa límite de circuito cerrado, contando con una sección de prueba de 1,4 m x 1 m. con un motor de corriente continua de 50 HP, erogando velocidades máximas, en la sección de prueba, de hasta 20 m/s.



Figura 2: Túnel de Viento de Capa Límite TV1.

El modelo de ala para el ensayo contó con un perfil aerodinámico NACA 2412, siendo sus dimensiones de una envergadura (b) de 80 cm. con una cuerda (c) constante de 30 cm., en el mismo se le incorporó un flap simple móvil de una envergadura de 40 cm. con una cuerda (c_f) constante del 35% de c. (ver Figura 3)

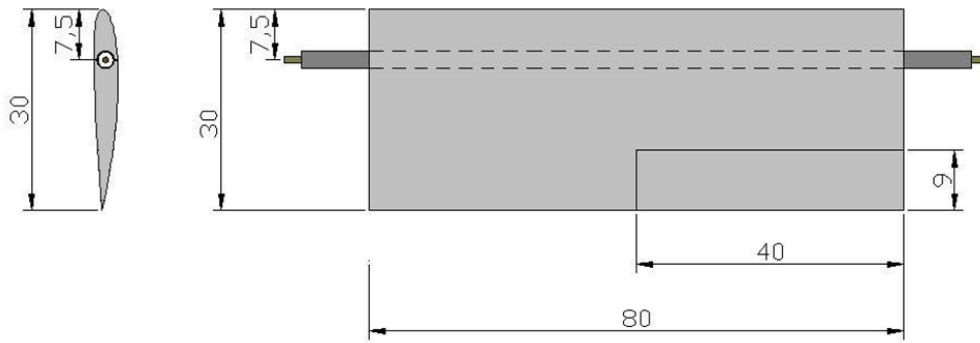


Figura 3: Datos geométricos del modelo utilizado.

Se ubicó un soporte adherido al techo del Túnel de Viento para montar al motor, se utilizó un motor eléctrico sin escobillas modelo Turnigy L5055C-700, el cual eroga una potencia máxima de 1600W. Se empleó una hélice de madera Turnigy Tipo D de 14x8 pulgadas (radio de la pala $R \cong 18$ cm.) y un sistema de control asociado para el motor. El motor fue ubicado estableciendo un ángulo de empuje de $6,25^\circ$ respecto de la horizontal, obteniéndose un ángulo de $8,75^\circ$ relativo al modelo, ya que el mismo se ubicó con un ángulo de incidencia geométrico de $2,5^\circ$ (ver Figura 4)

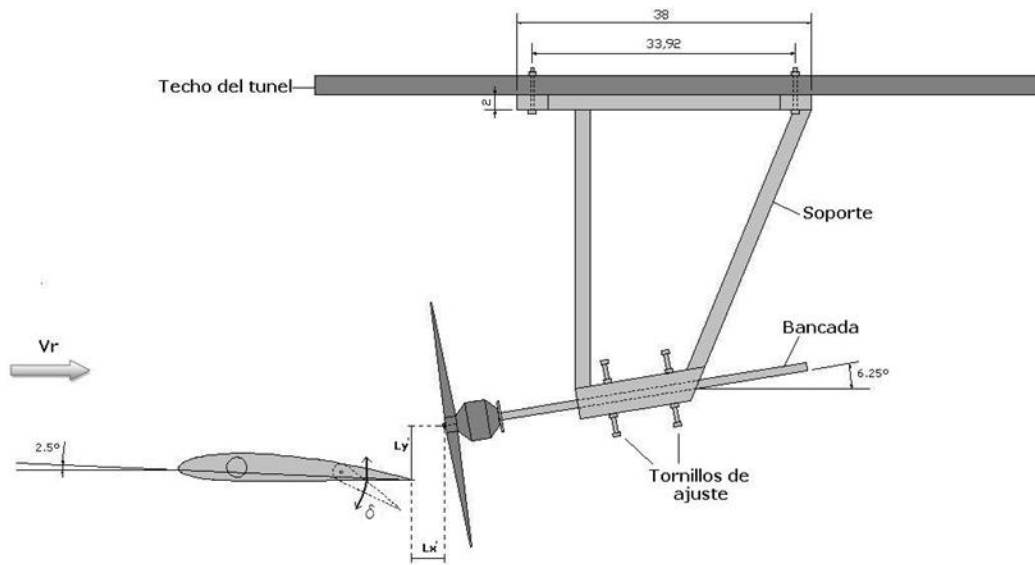


Figura 4: Esquema del montaje de la medición.

El plano rotor de la hélice se ubicó, como muestra la Figura 4, de tal forma que el eje de propulsión se ubicaba en dos posiciones respecto al borde de fuga del modelo. Las posiciones relativas se muestran en la Tabla 1.

Posiciones relativas entre flap y hélice	P0	P1
	($Lx' = 7\% C$)	($Lx' = 11,6\% C$)
Lx' [m]	0,021	0,035
Ly' [m]	0,047	0,056

Tabla 1: Posiciones relativas del motor respecto al modelo.

3.2. Mediciones de presión

Los ensayos fueron realizados con una configuración del flujo, en la sección de prueba, con la mínima intensidad de turbulencia para este Túnel de Viento que es de 1,8%. Como equipamiento se contó con un sistema de medición de presiones de la marca Scanivalve, utilizándose módulos del modelo DSA3217-16px.

El modelo incorporó tomas de presión en la superficie del flap, siendo 9 tomas en el intradós y otras 9 tomas en el extradós, en posiciones homologas en cada lado. (ver Figura 5)

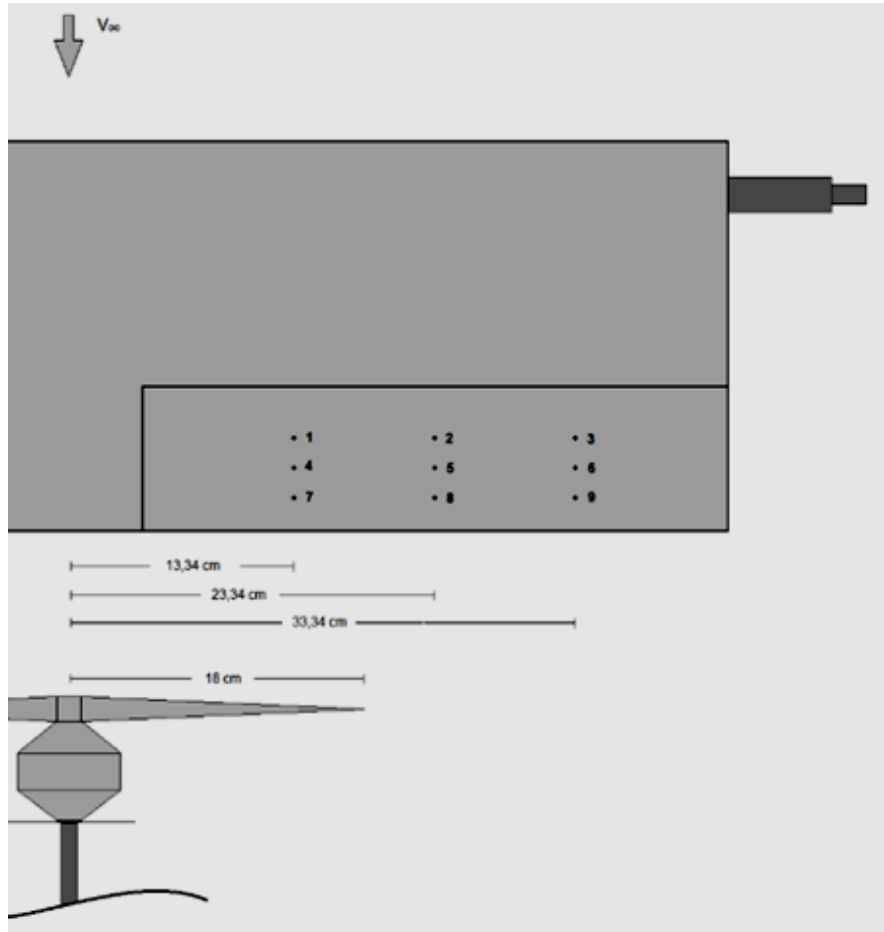


Figura 5: Posiciones de las tomas de presión en el modelo.

Las tomas 1, 4 y 7 se encuentran a una distancia del eje de la hélice correspondiente al 75% de R (13,34 cm.), las tomas 2, 5 y 8 se encuentran al 131% de R (23,34 cm.) y las tomas 3, 6 y 9 se encuentran al 187% de R (33,34 cm.), y ubicadas según la dirección de la cuerda a 2,5 cm. desde el borde de ataque del flap y entre sí.

El total de mediciones realizadas incluyó, las dos posiciones relativas de la hélice P0 y P1, y la variación de los parámetros de deflexión del flap (δ) y las RPM del motor, con los valores presentados en la Tabla 2.

Deflexión del flap (δ)	0°	10°	20°	30°
RPM del motor	0	4000	6000	

Tabla 2: Posiciones de la deflexión del flap y revoluciones del motor empleadas.

Las mediciones fueron realizadas considerando una frecuencia de muestreo de 500 Hz. obteniéndose un total de 7500 valores con una duración de 15 segundos por muestra.

4. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

4.1. Visualización del flujo sobre el ala

Debido a la necesidad de tener una idea del comportamiento del campo del flujo sobre el ala, se realizaron diversos ensayos de visualización con humo, en las distintas configuraciones de ensayo, variando todos los parámetros en juego. Como generalidades podemos mencionar que, condiciones sin deflexión del flap el flujo se mostraba adherido al ala, para este ángulo de ataque analizado, observándose la separación del flujo con el accionamiento del flap, como era esperable para este tipo de dispositivo (ver Figura 6). En lo que respecta al accionamiento de la hélice, y en todas las configuraciones, se observó el desvío de la vena fluida en la superficie del ala, lo cual es explicable debido a la energización del flujo que produce el efecto de la hélice (ver Figura 7 y Figura 8)

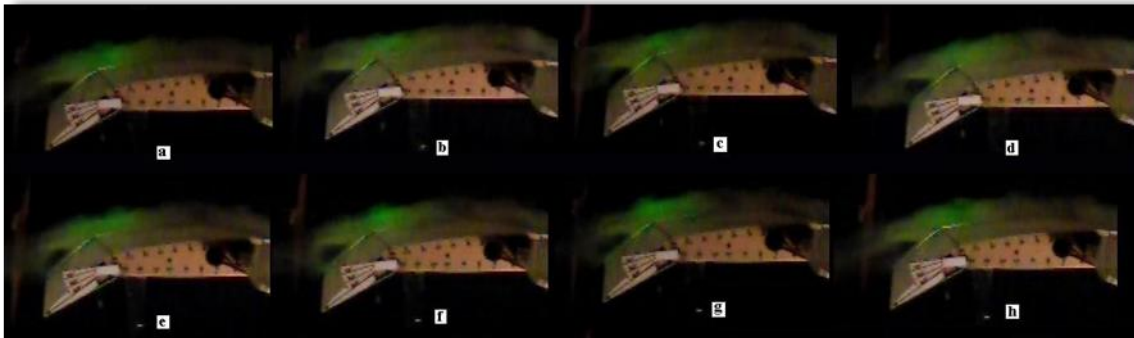


Figura 6: Visualizaciones con humo del flujo sobre el flap deflectado 30° sin accionamiento del motor, mostrando la separación del flujo.



Figura 7: Visualizaciones con humo del flujo sobre el ala en vista lateral: derecha sin accionamiento del motor e izquierda con el motor en funcionamiento.



Figura 8: Visualizaciones con humo del flujo sobre el ala en vista posterior a distintas RPM.

4.2. Mediciones de la presión fluctuante sobre el flap.

Debido a que el objetivo del presente trabajo no es el de mostrar los resultados específicos del ensayo, sino la aplicación de la metodología descrita previamente (modelos CPM), en función de su aplicabilidad a este tipo de mediciones, en lo que sigue presentaremos algunos resultados, necesarios para realizar una comparación y análisis

respecto de las determinaciones realizadas con dicha metodología. El lector podrá remitirse a las referencias [5, 6, 7, 8] en las cuales se realiza un análisis más detallado de los resultados.

De todas las mediciones realizadas, podemos mostrar las señales de presión observadas en algunos casos, como se muestran en la Figura 9, en este caso son los valores de la fluctuación de la presión para la posición P0, sin deflexión del flap y con la hélice a 6000 RPM.

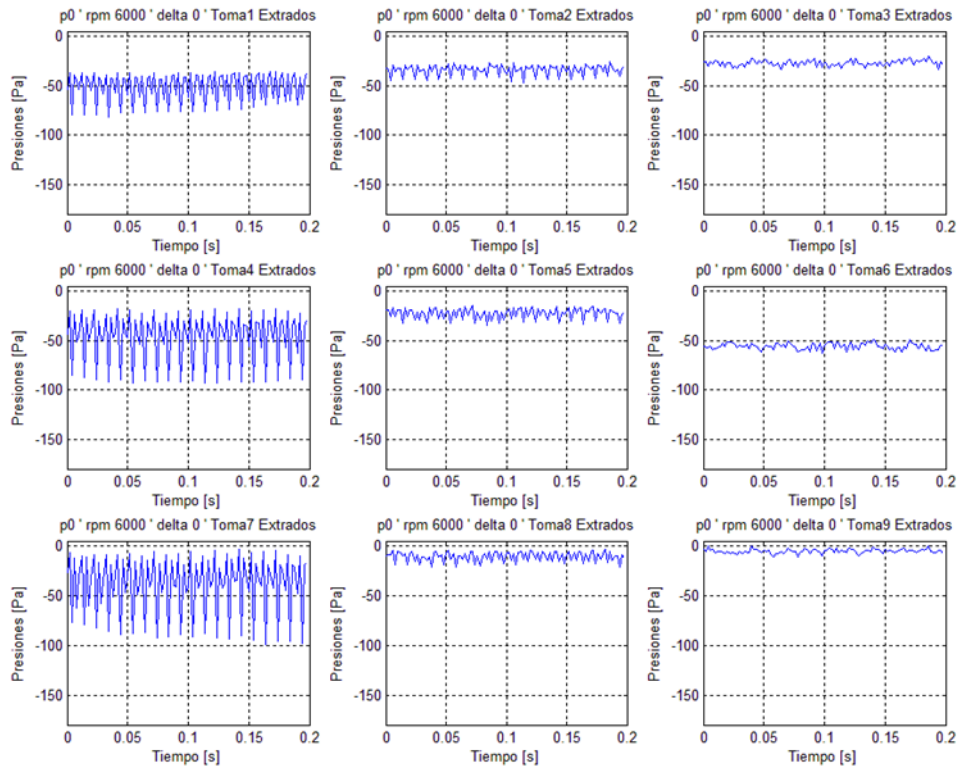


Figura 9: Valores de la presión para todas las tomas en la configuración P0, $\delta = 0^\circ$ y 6000 RPM. [8]

Observamos que se producen altas fluctuaciones de la presión en las tomas 1, 4 y 7 que se corresponden exactamente con la posición al 75% del radio de la pala, donde se producen las mayores cargas sobre la misma y a su vez se incrementan de la toma 1 hacia la toma 7, es decir en la dirección de la cuerda hacia el borde de fuga, reduciéndose significativamente para las demás tomas, que se encuentran alejadas de la pala. Estos resultados muestran claramente la influencia de la pala sobre el comando de flap, a pesar de que el mismo no se encuentra deflectado.

Además, mostramos algunos resultados del análisis espectral realizado mediante la aplicación de la transformada de Fourier a los datos de la presión fluctuante. En la Figura 10 se observa el caso para los mismos datos presentados en la Figura 9. Aquí, principalmente se observa la concordancia del máximo del espectro en cada caso relacionado con la frecuencia de pasaje de la pala, que para el caso de 6000 RPM se encuentra en 200 Hz. aproximadamente. Se encuentra en análisis la explicación de los máximos secundarios que se presentan, lo cual puede ser debido a diferentes factores, entre ellos un desbalance de la hélice, algún acople mecánico o fluidodinámico, etc. Se observa que el máximo secundario decrece hacia las tomas más alejadas de la pala, tanto en envergadura como en la cuerda. Explicable dado la energización que induce la pala sobre el campo del fluido.

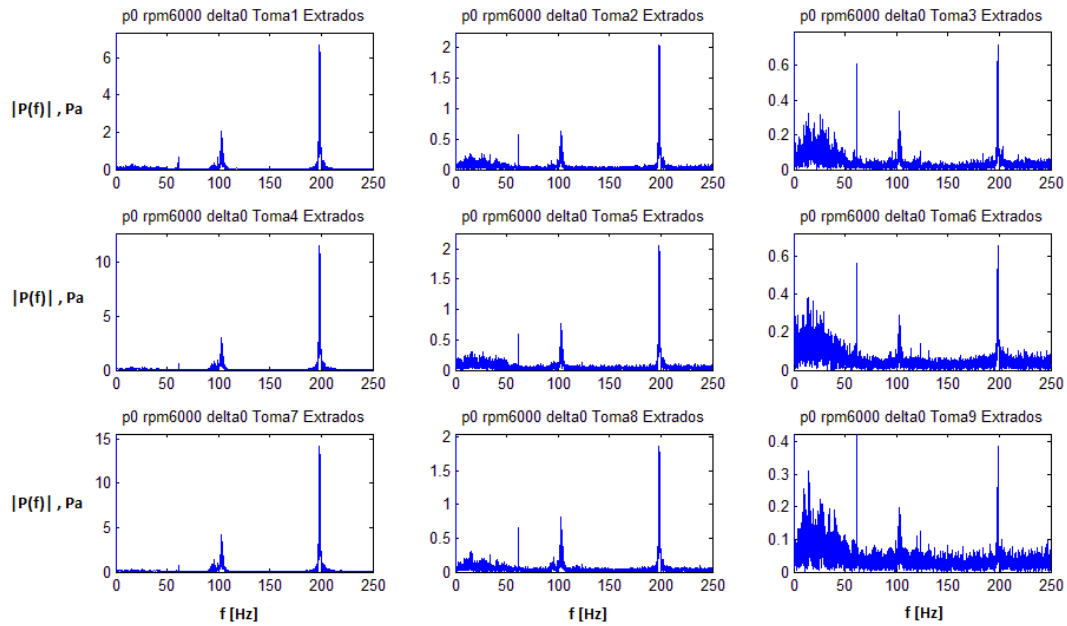


Figura 10: Transformada de Fourier de cada señal para el extrados en la configuración P0, $\delta = 0^\circ$ y 6000 RPM. [8]

4.3. Determinaciones realizadas sobre los datos con la metodología CPM.

En lo que respecta al análisis mediante la metodología CPM, se aplicó al estudio de los datos fluctuantes de la presión el test estadístico CPM-CvM, mediante los algoritmos mencionados precedentemente. Se analizaron algunas configuraciones de medición que presentaban situaciones del comportamiento del flujo diferentes, con el fin de probar los algoritmos para establecer el nivel de detección de estas situaciones particulares. Se aplicó el análisis de Fase I, es decir, con todos los valores de la muestra en forma completa luego de finalizada la medición, y no en tiempo real.

De los cálculos realizados mostramos un caso particular, a modo de ejemplo, mediante una tabla de detecciones (ver Tabla 3), asociada a la señal para la configuración P0, 0 RPM y $\delta = 0^\circ$ en la toma 1, solamente para las primeras 14 detecciones, la cuales se representan en la Figura 11, en la misma se observa en líneas punteadas las posiciones de los cambios detectados en la señal.

Cambio	Tiempo [s]
1	0,008
2	0,032
3	0,058
4	0,08
5	0,1
6	0,12
7	0,188
8	0,2
9	0,228
10	0,244
11	0,264
12	0,296
13	0,312
14	0,334

Tabla 3: Puntos de cambio detectados en el tiempo para la toma 1 en el caso de la configuración P0, a 0 RPM y $\delta = 0^\circ$.

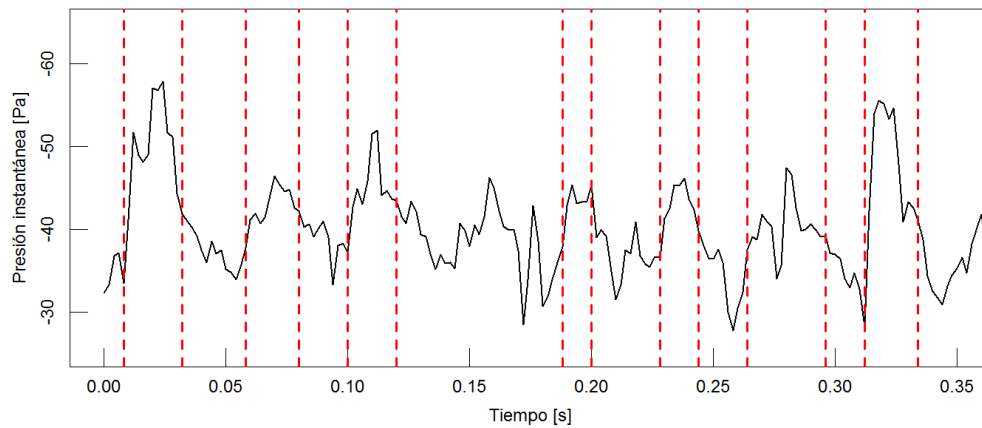


Figura 11: Gráfica de las presiones en el extradós del flap en la toma 1 vs. tiempo, indicando los cambios detectados para los primeros 0,35 segundos de la señal, en el caso de la configuración P0, $\delta = 0^\circ$ y 0 RPM.

Aplicando la metodología se realizó un estudio de todos los datos, por la cantidad de información, se presenta como ejemplo el análisis realizado, en primera instancia, el promedio de cambios detectados y las frecuencias promedio de cambio para la configuración de estudio P0, para 0 RPM, $\delta = 0^\circ$ y $\delta = 30^\circ$ para las mediciones en el extradós (ver Tabla 4). En este caso se observa, para cada toma correspondiente, una disminución del promedio de cambio en el tiempo y, por consiguiente, un incremento en la frecuencia promedio de cambio para todas las tomas de medición sobre el flap al pasar de deflexión 0° a 30° . Este comportamiento era esperable puesto que se generan desprendimientos de flujo sobre el flap que generan mayores frecuencias sobre la fluctuación de la presión. A su vez se observa en los valores que al acercarnos a la hélice en la cuerda (es decir al acercarnos al borde de fuga) las frecuencias decrecen cuando $\delta = 0^\circ$, aunque se notan algunas fluctuaciones para valores cercanos a la hélice sin rotar. Luego para las tomas 3, 6 y 9 en el punta de ala, con el flap a $\delta = 30^\circ$ las frecuencias se incrementan por los desprendimientos del flujo en esta región del flap (en promedio entre 32 y 33 Hz.), y en las restantes tomas para esta deflexión las frecuencias fluctúan entre 27 a 30 Hz., aproximadamente.

	$\delta = 0^\circ - \text{RPM} = 0$			$\delta = 30^\circ - \text{RPM} = 0$		
Toma	1	2	3	1	2	3
Promedio de cambio [s]	0,039	0,041	0,038	0,031	0,034	0,031
Frecuencia promedio [Hz]	25,575	24,682	$\delta = 30^\circ$	32,520	29,321	32,217
Toma	4	5	6	4	5	6
Promedio de cambio [s]	0,042	0,056	0,053	0,035	0,037	0,030
Frecuencia promedio [Hz]	23,785	17,949	18,936	28,449	27,013	33,232
Toma	7	8	9	7	8	9
Promedio de cambio [s]	0,042	0,068	0,067	0,035	0,033	0,031
Frecuencia promedio [Hz]	23,566	14,610	14,909	28,827	30,041	32,250

Tabla 4: Promedios de cambio en el tiempo y frecuencias promedio para los cambios detectados en la señal de presiones en el extradós para las distintas tomas, a 0 RPM, $\delta = 0^\circ$ y $\delta = 30^\circ$.

Por último, y a modo de ejemplo del estudio de todas las señales con esta metodología CPM mostramos los resultados encontrados para las dos configuraciones P0 y P1, en condiciones de funcionamiento de la hélice a 6000 RPM y con las deflexiones del flap a $\delta = 0^\circ$ y $\delta = 30^\circ$. En la Tabla 5 mostramos los resultados obtenidos. Se puede observar, en primera instancia, que no se detectan cambios en la señal en varios casos, además las detecciones muestran ser similares tanto para la configuración P0 como P1, es decir que no hay cambios evidentes en la señal respecto de las posiciones relativas de la hélice para las posiciones consideradas en estos ensayos.

Considerando los comportamientos similares para P0 y P1, analizamos uno de ellos para mostrar una tendencia de los resultados. Observamos que cuando $\delta = 0^\circ$, las tomas más cercanas a la pala (1, 4, 7 y 2, 5, 8) no muestran

resultados de detección de cambios, si aparecen cambios en las tomas 3, 6 y 9, que son las más alejadas a la hélice en la envergadura del flap, en las mismas se observa una variabilidad en las frecuencias, no pudiéndose establecer una tendencia clara. Sin embargo, cuando se produce la deflexión del flap con $\delta = 30^\circ$, se presenta una tendencia clara. Primero, solamente las tomas 1, 4 y 7 no presentan detección de cambios (tomas más cercanas a la hélice en la envergadura), luego las frecuencias crecen en envergadura hacia la punta del flap, este crecimiento da cuenta de un fenómeno esperable, ya que la deflexión del flap produce desprendimiento del flujo, generando mayores fluctuaciones en la señal. A su vez las frecuencias son superiores hacia las puntas, debidas a los efectos de punta en el flujo.

		$\delta = 0^\circ$ - RPM = 6000			$\delta = 30^\circ$ - RPM = 6000		
Posición P0	Toma	1	2	3	1	2	3
	Promedio de cambio [s]	S/D	S/D	0,068	S/D	0,036	0,031
	Frecuencia promedio [Hz]	S/D	S/D	14,690	S/D	27,450	31,963
	Toma	4	5	6	4	5	6
	Promedio de cambio [s]	S/D	S/D	0,048	S/D	0,038	0,035
	Frecuencia promedio [Hz]	S/D	S/D	20,971	S/D	26,475	28,651
	Toma	7	8	9	7	8	9
	Promedio de cambio [s]	S/D	S/D	0,053	S/D	0,035	0,029
	Frecuencia promedio [Hz]	S/D	S/D	18,705	S/D	28,608	34,509
		$\delta = 0^\circ$ - RPM = 6000			$\delta = 30^\circ$ - RPM = 6000		
Posición P1	Toma	1	2	3	1	2	3
	Promedio de cambio [s]	S/D	S/D	0,077	S/D	0,036	0,031
	Frecuencia promedio [Hz]	S/D	S/D	13,015	S/D	27,509	32,631
	Toma	4	5	6	4	5	6
	Promedio de cambio [s]	S/D	S/D	0,058	S/D	0,047	0,035
	Frecuencia promedio [Hz]	S/D	S/D	17,303	S/D	21,461	28,915
	Toma	7	8	9	7	8	9
	Promedio de cambio [s]	S/D	S/D	0,087	S/D	0,039	0,035
	Frecuencia promedio [Hz]	S/D	S/D	11,500	S/D	25,359	28,896

Tabla 5: Promedios de cambio en el tiempo y frecuencias promedio para los cambios detectados en la señal de presiones en el extradós para las distintas tomas, a 6000 RPM, $\delta = 0^\circ$ y $\delta = 30^\circ$, y las configuraciones P0 y P1. (S/D: sin detección de cambios en la señal)

Es claro, según los estudios clásicos previamente realizados, que las tomas que no presentan detección son aquellas, que para condición de rotación de la hélice, son las más influenciadas por el paso de la pala. Esto es claro a partir de la modulación observada en la señal (ver Figura 9). Por otro lado, también, los análisis en frecuencia realizados muestran para las tomas en cuestión los efectos del paso de la hélice ya que se detecta la frecuencia del paso de la pala, claramente (200 Hz. aproximadamente para las 6000 RPM, ver Figura 10), y siendo mayor la energía en juego para dichas tomas, incrementándose para las tomas más cercanas a la pala.

5. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, podemos mencionar que la metodología CPM, propuesta como alternativa para el estudio y análisis de las señales de fluctuaciones de la presión, se presenta como una herramienta aplicable para estos casos, en conjunto con las metodologías convencionales para la evaluación de los resultados obtenidos. En particular el tema de que estos algoritmos no presentan detección de valores en algunos casos está en evaluación, puesto que particularmente no se produce detección en las condiciones y tomas en las cuales la señal sensada presenta una fluctuación y modulación particular, en este caso generada por el pasaje de la hélice en sus cercanías. Cabe acotar, que en los estudios previamente realizados [5, 6, 7 ,8] se concluyó del análisis que se requerían algunas correcciones en la adquisición de datos, puesto que para algunas configuraciones

del ensayo resultaba necesarios cambios en la frecuencia de muestreo para poder identificar de mejor manera los efectos del paso de la pala y su influencia sobre el flap. Se cree, en primera instancia, que posiblemente un aumento de la frecuencia de muestreo, suministraría al algoritmo en estudio mayor cantidad de datos lo cual le permitiría realizar un mejor análisis de la señal.

Finalmente, tomando las consideraciones del caso en estudio, entendemos que la metodología, probada para el análisis de señales anemométricas turbulentas, resulta ser una interesante herramienta para el estudio de señales de presión y se seguirá evaluando su aplicabilidad en distintos casos para comprobar su eficacia y eficiencia para complementar los análisis de este tipo de datos.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen profundamente la colaboración del Ing. Juan Pablo Corsaro, Ing. Carlos Sebastián Hernández, Ing. Juan Manuel Trochez Segura, Ing. Claudio Rimoldi, Ing. Nehuen Savloff y el Ing. Iban Echapresto Garay, los cuales intervinieron en distintas etapas del desarrollo de los trabajos experimentales, desde un inicio en las primeras mediciones y experiencias, hasta las últimas realizadas. Sin su compromiso, dedicación y trabajo estas experiencias no se hubieran podido llevar a cabo.

REFERENCIAS

- [1] D. P. Raymer. “*Aircraft Design - A Conceptual Approach*”, AIAA Education Series, 1992.
- [2] F. M. Catalano: “On the effects of an installed propeller slipstream on wing aerodynamic characteristics”, 2004, Acta Polytechnica Vol. 44 No. 3.
- [3] P.T. Soderman and W.C. Clifton: “Acoustic and Aerodynamic Study of a Pusher-Propeller Aircraft Model” - Naca technical paper 3040, 1990.
- [4] C.A. Sandahl: “Wind-tunnel investigation of effects of a pusher propeller on lift, profile drag, pressure distribution, and boundary-layer transition of a flapped wing” - Advance Confidential Report L5CO8, 1945.
- [5] J. P. Corsaro, C. S. Hernandez, J. Marañón Di Leo y C. Rimoldi. “Efectos fluidodinámicos sobre un ala debido a una configuración pusher” Actas de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia de la Facultad de Ingeniería pp. 37-41 – Facultad de Ingeniería – UNLP - Del 21 al 23 de mayo de 2013, La Plata, Argentina. ISBN 978-950-34-0946-6
- [6] N. Savloff, J. M. Trochez Segura, S. Algozino, J. Marañón Di Leo. “Efectos aerodinámicos de hélices pusher sobre la configuración aerodinámica de un flap en condiciones de bajo Reynolds” Terceras Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería 20, 21 y 22 de abril de 2015. ISBN 978-950-34-1189-6
- [7] S. Algozino; J. Marañón Di Leo; J. S. Delnero; I. Echapresto Garay. “Aerodynamic Study of a Pusher-Propeller effects on a simple flap” 34th AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2016. 13-17 June 2016. Washington D.C., EE UU.
- [8] N. Savloff. “Estudio experimental de la interferencia aerodinámica producida en un flap por una hélice en configuración pusher”. Trabajo Final de Carrera de Ingeniería Aeronáutica. 2016.
- [9] T.L. Lai, Sequential Change-point Detection in Quality Control and Dynamical Systems, Journal of the Royal Statistical Society. Series B - Methodological, 57(4), (1995) 613-658.
- [10] E.S. Page, Continuous Inspection Schemes, Biometrika, 41(1/2), (1954) 100-115.
- [11] S.W. Roberts, Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages, Technometrics, 42(1), (1959) 97-101.

- [12] A.N. Pettitt, A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem, *Journal of the Royal Statistical Society Series C - Applied Statistics*, 28(2), (1979) 126-135.
- [13] G.J. Ross, N.M. Adams, Two nonparametric control charts for detecting arbitrary distribution changes, *Journal of Quality Technology*, 44(2), (2012) 102-116.
- [14] W.A. Jensen, L.A. Jones-Farmer, C.W. Champ, W.H. Woodall, Effects of Parameter Estimation on Control Chart Properties: A Literature Review, *Journal of Quality Technology*, 38, (2006) 349–364.
- [15] J. Marañón Di Leo, M.V. Calandra, J.S. Delnero, Determinación de estructuras turbulentas mediante algoritmos numéricos, *Mecánica Computacional*, 30, (2011) 425-434.
- [16] J. Marañón Di Leo, M.V. Calandra, J.S. Delnero, Detección de eventos turbulentos mediante la aplicación de algoritmos de punto de cambio, *Mecánica Computacional*, Vol XXXII, (2013) 1297-1308.
- [17] J. Marañón Di Leo, M. V. Calandra y J. S. Delnero. “Algoritmos de punto de cambio para la detección de estructuras vorticosas en campos fluidodinámicos turbulentos”. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. Editorial Elsevier - ISSN 0213-1315 (En Prensa) - (2016).
- [18] G.J. Ross, Parametric and Nonparametric Sequential Change Detection in R: The cpm Package, *Journal of Statistical Software*, 66(3), (2015) 1-20.