

Ondeando Banderas

María Fernanda Carvajal Guerrero ^{†*}
Juan Andrés Guarín Rojas ^{†**}
Laura Marcela Montaña Villa ^{†***}

[†] *Universidad Industrial de Santander*
Bucaramanga Colombia

22 de septiembre de 2023

Índice

1. Pregunta de investigación	1
2. Introducción	2
3. Estado del arte	2
4. Objetivos	3
5. Metodología	3
6. Cronograma	4
7. Presupuesto	4

1. Pregunta de investigación

La propuesta de investigación se fundamenta en la siguiente pregunta:

¿Es posible determinar la velocidad del viento sólo mediante el sonido de una bandera que ondea en ese viento?

En esta pregunta entendemos al viento como un fluido laminar con una velocidad homogénea. Consideramos que el material de la bandera puede ser de cualquier tipo como: tela, papel, acetato.

* e-mail: maria2200804@correo.uis.edu.co, **e-mail: juan2201870@correo.uis.edu.co, ***e-mail: laura2190741@correo.uis.edu.co

2. Introducción

El sonido característico de una bandera al ondear es ampliamente conocido. En ese sentido, también es conocido que factores como las dimensiones de la bandera, su material o la velocidad del viento influenciarán el aleteo que esta produce. Ahora bien, el origen de este sonido ha sido explicado por [1], donde se identifican tres momentos principales del ondeo y se relacionan con máximos de presión en el viento que pueden ser detectados por un micrófono. Asimismo, autores como [2], [3] han desarrollado modelos para describir parte de la dinámica de este sistema.

Describir la dinámica de la bandera y encontrar parámetros que permitan relacionar la velocidad del viento con su sonido es de gran utilidad para áreas como el monitoreo ambiental. Por ejemplo, autores como [4] han relacionado la velocidad del viento con el calor y la contaminación por polución en islas. Ahora bien, la cuantificación del viento que se realiza mediante anemómetros que tienen un costo mayor que el de una bandera realizada en papel. Por tal razón, la construcción de un anemómetro usando este aleteo permitirá tener instrumentos de bajo costo que proporcionarían información útil para proyectos medioambientales que se realizan en la región (ver *Proyecto Racimo - Móncora*¹).

Es así como la primera parte del proyecto abordará la descripción del movimiento de una bandera bajo un flujo de aire homogéneo usando un modelo analítico. En la segunda parte se realizará la construcción de un montaje experimental para evaluar el modelo planteado y obtener una base de datos de audio del sistema. Este montaje involucrará la construcción de un túnel de viento para procurar que el flujo al que es sometido la lámina es de tipo uniforme. Finalmente, se realizará la construcción de un anemómetro mediante la relación entre el aleteo de la bandera y la velocidad del viento a la que fue sometida y se evaluará su precisión.

3. Estado del arte

El problema de la bandera ondulante, en general, ha sido resuelto por partes en diferentes artículos [2] [3] que abordan por separado cada parte del problema, a excepción del artículo [1] donde se ataca el problema directamente. En [2] se estudia la dinámica y producción del sonido de una bandera ondulante modelada como un lazo unidimensional. A nivel teórico el modelo considera la rigidez de la bandera, el módulo de Young y la diferencia de presión sobre las dos caras de la bandera; permitiendo modelar una bandera fija o empotrada. Se usa ecuación diferencial en una aproximación lineal. El artículo resuelve las ecuaciones expandiendo la solución en las eigenfunciones del sistema de ecuaciones diferenciales y resolviendo numéricamente los coeficientes de expansión. Entre sus resultados más importantes están que la velocidad crítica U en la cual la bandera empieza a moverse crece monótonamente con la densidad de masa de la bandera, y que la velocidad crítica siempre es mayor para una bandera fija que para una bandera empotrada. Finalmente, en cuanto al sonido se plantea un modelo que determina la intensidad de la onda de sonido, encontrando que banderas con menor densidad de masa presentan mayor intensidad que banderas con mayor densidad. De este artículo rescatamos información clave para el desarrollo del experimento. Por ejemplo, que una bandera empotrada ondea con un viento a velocidad menor y que una bandera ligera produce mayor intensidad de sonido.

En [3] se aborda el problema computacionalmente, se modela la bandera como una membrana

¹<https://class.redclara.net/halley/moncora/intro.html>

bidimensional. El modelo teórico considera la tensión y presión producida por el viento sobre la bandera para un flujo de viento con velocidad relativamente baja. Se usa el principio de Hamilton para encontrar las ecuaciones de movimiento asociadas a la deflexión $w(x, y, t)$ sobre la bandera y a lo largo del tiempo. Se considera una bandera vertical con la dirección del viento igual a la dirección del peso. El artículo encuentra los primeros cuatro modos de vibración, luego la diferencia de presiones y con ello modela la respuesta del sistema numéricamente. Como resultado se obtiene el perfil de deflexión en función de la velocidad del viento y se evidencia la presencia de una velocidad crítica en la cual la bandera empieza a ondular con mayor amplitud.

Por último, en [1] se aborda el problema experimentalmente. El experimento se llevó a cabo en un túnel de viento de tipo succión y de bajo ruido. La bandera usada es de poliestireno y el soporte de aluminio en forma de tubo. La medición consta de dos cámaras de alta velocidad y dos micrófonos, así como 7 sensores láser para medir el desplazamiento en la punta de la bandera. Las pruebas tomaron a la bandera paralela al suelo. Las conclusiones principales del experimento son que la bandera genera un ruido altamente periódico con una frecuencia dominante linealmente proporcional a la velocidad del viento. Y la constante de proporcionalidad dependió inversamente con la longitud y con la raíz cuadrada del grosor. Estos resultados son un precedente importante para el proyecto de esta propuesta.

4. Objetivos

Objetivo general

Caracterizar el movimiento y sonido que produce una bandera de papel bajo el efecto de un flujo de aire uniforme.

Objetivos específicos

- Describir el movimiento de una bandera bajo un flujo de aire homogéneo mediante un modelo analítico.
- Reconstruir experimentalmente un ambiente controlado que permita obtener valores precisos sobre el movimiento y sonido de una bandera ondeante en distintas configuraciones, bajo un flujo de aire uniforme.
- Construir un anemómetro mediante relaciones entre el sonido producido por la bandera ondeante con la velocidad del flujo de viento en el que se encuentra sometida.

5. Metodología

1. Objetivo específico 1: Describir el movimiento de una bandera bajo un flujo de aire homogéneo mediante un modelo analítico.

- A1** Plantear un modelo teórico para una bandera sujeta a un viento uniforme y modelarla de manera unidimensional.
- A2** Analizar la dependencia de los modos de vibración de las soluciones al modelo teórico con los parámetros del sistema.

- A3** Plantear un modelo de una bandera unidimensional como masas idénticas unidas por fuerzas de restauración elástica y resolverlo numéricamente.
- A4** Comparar los modos de vibración de las soluciones de los dos modelos teóricos.
- 2. Objetivo específico 2: Reconstruir experimentalmente un ambiente controlado que permita obtener valores precisos sobre el movimiento y sonido de una bandera ondeante en distintas configuraciones, bajo un flujo de aire uniforme.**
- A5** Construir un túnel de viento hecho de papel acetato y con soportes de madera de balsa para mantener su forma cilíndrica.
- A6** Elaborar un panel hecho con pajillas de plástico para guiar la dirección del viento y lograr aproximadamente un perfil de viento con velocidad uniforme.
- A7** Conseguir los instrumentos de medición de audio, vídeo y velocidad del viento, y conseguir un ventilador como fuente de viento.
- A8** Construir las banderas con papel bond y un soporte hecho con palos de balsa usando la técnica de empotramiento y enrollado para fijar la bandera al soporte.
- 3. Objetivo específico 3: Construir un anemómetro mediante relaciones entre el sonido producido por la bandera ondeante con la velocidad del flujo de viento en el que se encuentra sometida.**
- A9** Grabar los datos del sonido para un tipo de bandera variando la velocidad del viento en repetidas ocasiones por cada velocidad.
- A10** Limpiar los datos de cada grabación restando el sonido de la bandera y una muestra de sonido de ruido ambiental.
- A11** Tratar los datos usando transformada rápida de Fourier para obtener la frecuencia dominante de cada grabación.
- A12** Identificar la dependencia de la frecuencia dominante con la velocidad del viento que permita construir un anemómetro que tome el pico de frecuencia del sonido y devuelva la velocidad del viento.

6. Cronograma

Para la realización del proyecto se cuentan con 16 semanas, lo equivalente a un semestre académico. A continuación se presenta el cronograma con las actividades a realizar a lo largo del semestre.

7. Presupuesto

Para la realización del proyecto se solicita un presupuesto mínimo de \$ 1'212.700 COP, monto que se encuentra justificado en la tabla 7.

Objetivos	Actividad	Semana															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Objetivo específico 1	A1	x	x														
	A2		x	x													
	A3			x													
	A4				x												
Objetivo específico 2	A5					x	x										
	A6						x	x									
	A7					x	x	x									
	A8							x									
Objetivo específico 3	A9								x	x							
	A10										x	x					
	A11												x	x			
	A12														x	x	
	Entrega final																x

Tabla 1: Cronograma de trabajo.

Rubro	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unidad	Subtotal	Total (COP)
Honorarios	Maria Fernanda	32	horas	\$ 10,000.00	\$ 320,000.00	
Honorarios	Juan Andrés	32	horas	\$ 10,000.00	\$ 320,000.00	
Honorarios	Laura Marcela	32	horas	\$ 10,000.00	\$ 320,000.00	
Equipo	Préstamo de ventilador	6	horas	\$ 2,000.00	\$ 12,000.00	
Equipo	Préstamo computador JA	2	horas	\$ 2,000.00	\$ 4,000.00	
Equipo	Préstamo computador LM	2	horas	\$ 2,000.00	\$ 4,000.00	
Equipo	Préstamo computador MF	4	horas	\$ 2,000.00	\$ 8,000.00	
Recursos	Acetato	2	láminas	\$ 12,000.00	\$ 24,000.00	
Recursos	Pitillos	100			\$ 79,400.00	
Recursos	Pistola de silicona	1		\$ 27,900.00	\$ 27,900.00	
Recursos	Barra de silicona	12		\$ 1,700.00	\$ 20,400.00	
Recursos	Anemómetro	1		\$ 73,000.00	\$ 73,000.00	
						\$ 1,212,700.00

Tabla 2: Presupuesto planeado para el proyecto. Todos los valores están en pesos colombianos (COP).

Referencias

- [1] Reon Nishikawa, Osamu Terashima, Yasufumi Konishi, and Miyu Okuno. Noise generation of fluttering flag in a free stream. *Journal of Fluid Science and Technology*, 16(1):JFST0005–JFST0005, 2021.
- [2] Avshalom Manela and Michael Howe. On the sound produced by a flapping flag. In *14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (29th AIAA Aeroacoustics Conference)*, page 2951, 2008.
- [3] Gary Frey, Ben Carmichael, Joshua Kavanaugh, and S Nima Mahmoodi. Dynamic model and simulation of flag vibrations modeled as a membrane. In *Dynamic Systems and Control Conference*,

volume 46209, page V003T53A001. American Society of Mechanical Engineers, 2014.

- [4] Yasser Abbassi, Hossein Ahmadikia, and Ehsan Baniasadi. Impact of wind speed on urban heat and pollution islands. *Urban Climate*, 44:101200, 2022.