

Influencia de paneles acústicos en el momento de rolo de un tren por acción del viento en viaductos.

Accoustic panels influence on rolling moment of a train due to wind action in viaducts.

Presentación: 06/09/2023

Matias Meroniuc

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
mmeroniuc@fth.utn.edu.ar

Guillermo Moreo

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
gmoreo@frh.utn.edu.ar

Bárbara Denise Schiavi

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
bschiavi@frh.utn.edu.ar

Helios Ferrandez

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
hferrandez896@frh.utn.edu.ar

Resumen

La reciente construcción de viaductos a lo largo de la Ciudad de Buenos Aires ha puesto el foco en los fenómenos inherentes a este tipo de construcción elevada. Uno de los aspectos que merecen especial atención es el de la influencia de los vientos cruzados sobre las formaciones que circulan a sobre nivel dado que los mismos toman mayor dimensión a causa de la capa límite terrestre. Esta última surge por la interacción de las corrientes de aire con el suelo, caracterizándose por un incremento de la velocidad del viento relativo conforme aumenta la distancia al piso. En lo que concierne a la construcción adoptada por los viaductos antes mencionados, los mismos constan de paneles acústicos que, dada su forma, tienen influencia en el momento de vuelco de los coches producto de los vientos cruzados. Finalmente, este trabajo estará orientado en conocer como este momento es afectado por la presencia de estas placas.

Palabras clave: viaducto, vientos cruzados, momento de rolo, CFD.

Abstract

The recent construction of viaducts throughout the City of Buenos Aires has focused on the phenomena inherent to this type of elevated construction. One of the aspects that deserve special attention is the influence of the crosswinds on the formations that circulate above level, since they take on a larger dimension due to the terrestrial boundary layer. The latter arises from the interaction of air currents with the ground, characterized by an increase in relative wind speed as the distance from the ground increases. Regarding the construction adopted by the afore mentioned viaducts, they consist of acoustic panels that, given their shape, have an

influence on the moment of overturning of cars due to crosswinds. Finally, this work will be oriented to know how this moment is affected by the presence of these plates.

Keywords: viaduct, crosswinds, rolling moment, CFD.

Introducción

La línea de trenes San Martín tiene sus orígenes en el Siglo XIX, recorriendo el Oeste de la región Metropolitana de Buenos Aires con la estación cabecera de Retiro en la Ciudad de Buenos Aires. La misma permaneció sin grandes modificaciones -en lo que respecta a su traza- hasta que en 2019 se procedió a su elevación por medio de un viaducto. Buenos Aires Ciudad (s.f.) informó que el mismo consiste en un tramo de 5 Km que atraviesa los barrios de Palermo, Chacarita y La Paternal, a 8 m de altura (Musse, 2019).



Figura 1: Viaducto. Elaboración Propia



Figura 2: Construcción del viaducto. Elaboración Propia.

En lo que respecta al punto de vista operativo, y centrándose en el objeto del presente trabajo, los trenes deben contemplar la presencia de los vientos cruzados dado que los mismos generan una componente de fuerza lateral que, bajo ciertas condiciones, puede dar origen al vuelco de la formación. Si bien no es una circunstancia que comúnmente ocurra, la misma debe tenerse en consideración ya que ha habido accidentes que, potencialmente, pudieron haber tenido su origen en esta incidencia de viento cruzado. Como ejemplos, podemos citar los accidentes ocurridos en Austria (2002) y Francia (1994), aunque, de acuerdo con Rolén, Rung y We (2004), hay contabilizados, al menos, 30 accidentes de este tipo. Incluso, en la Argentina misma, hubo un accidente de este tipo en la región patagónica (Diario La Jornada, 2011). La ciudad de Buenos Aires, conforme información pública

provista por el Servicio Meteorológico Nacional (s.f.), presentó una velocidad máxima de viento registrada, en el período 1991-2023, de 30.8 m/s. En general, el viaducto objeto de estudio, circula en un entorno dado por edificaciones de baja altura, sin embargo, en las proximidades de la estación La Paternal, el mismo se encuentra en una zona carente de edificaciones y cruzando amplias avenidas, limitando la interferencia de las edificaciones vecinas.

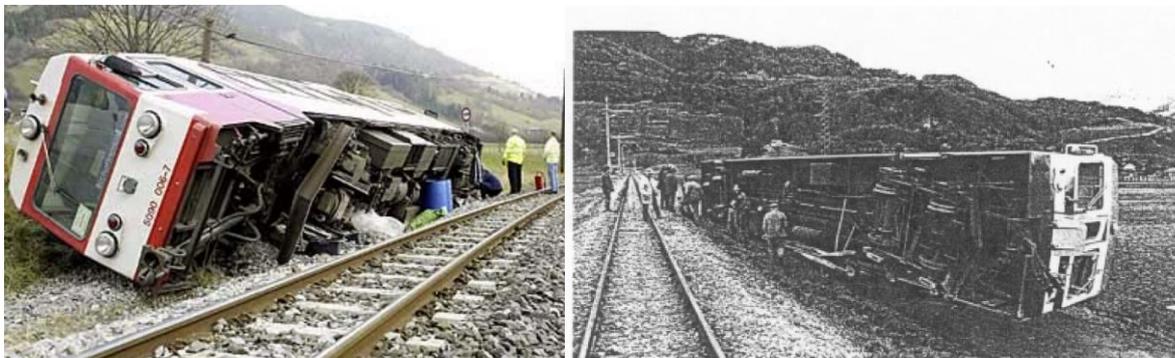


Figura 3: Vuelcos de trenes debido a la incidencia de viento cruzado: Austria (2002) -izq.- y Francia (1994) -der.- (Rolén, Rung y We, 2004).

La presencia de esta componente transversal se trata mediante dos tipos de abordajes: mediante consideraciones inherentes a la operación -velocidad máxima en ciertos tramos, por ejemplo- y/o el uso de barreras físicas que limiten la acción del viento sobre las formaciones.

En lo que concierne a esta última alternativa, ha habido diferentes trabajos que se focalizaron en el efecto de estas barreras. Los trabajos de Zhang (2019) y Avila-Sanchez (2014) evalúan el comportamiento del momento de rolido para diferentes alturas de barreras (y en el caso del primero para diferentes ángulos de incidencia) ubicadas en tendidos ferroviarios a nivel del suelo (con la salvedad de que el segundo contempla el uso de terraplenes de grandes dimensiones en su estudio) mientras que Guo (2015) analiza la influencia de las barreras sobre un puente ferroviario -aunque sin especificar la altura de este último-. Los autores del presente estudio también han hecho publicaciones al respecto (Meronic, Moreo y Saba, 2021), pero siguiendo la línea de trabajo dada por Avila-Sanchez (2014) en cuanto a la utilización de un modelo bidimensional -numérico en este caso-.



Figura 4: Paneles acústicos -identificados en amarillo-. Imagen adaptada a partir de referencia Buenos Aires Ciudad (s.f.)

Las anteriores referencias, sin embargo, adolecen del mismo factor común: no extienden su trabajo a la operación inherente a un viaducto ubicado a sobre nivel. Esta disposición se topa con la presencia de la capa límite terrestre que varía de forma tal que, a una altura determinada, la velocidad de la componente de viento que sufre la formación ferroviaria va a ser mayor con respecto a la medida al nivel del suelo.

La capa límite terrestre (o capa límite planetaria) puede tener un espesor en el orden de 1~2 Km (NOAA, s.f.) y está compuesta por diferentes subcapas, todas caracterizadas por Stull (1988). Conforme puede verse en la Figura 5, la misma sufre variaciones en función de muchos factores, siendo uno de ellos el horario. Este autor -así como la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, s.f)- identifican una capa que está inmediatamente en contacto con el suelo, en la porción inferior, denominada capa límite de superficie (Surface layer). La misma se caracteriza por el hecho de que las tensiones de corte (o los efectos de la fricción si se prefiere) se mantienen más o menos constantes -recordar que las mismas dependen del gradiente del perfil de velocidades-, variando en un valor menor al 10% de su magnitud. Si bien Stull no provee un valor numérico aproximado para su espesor, la NOAA (s.f.) la delimita, grosso modo, en aproximadamente 10m -haciendo hincapié nuevamente en que la capa límite terrestre varía en función de muchos factores-. Por ende, puede apreciarse que el viaducto ubicado a 8m del suelo se encuentra dentro de esta región en que el cambio de velocidad es muy marcado (ver Figura 5 -derecha).

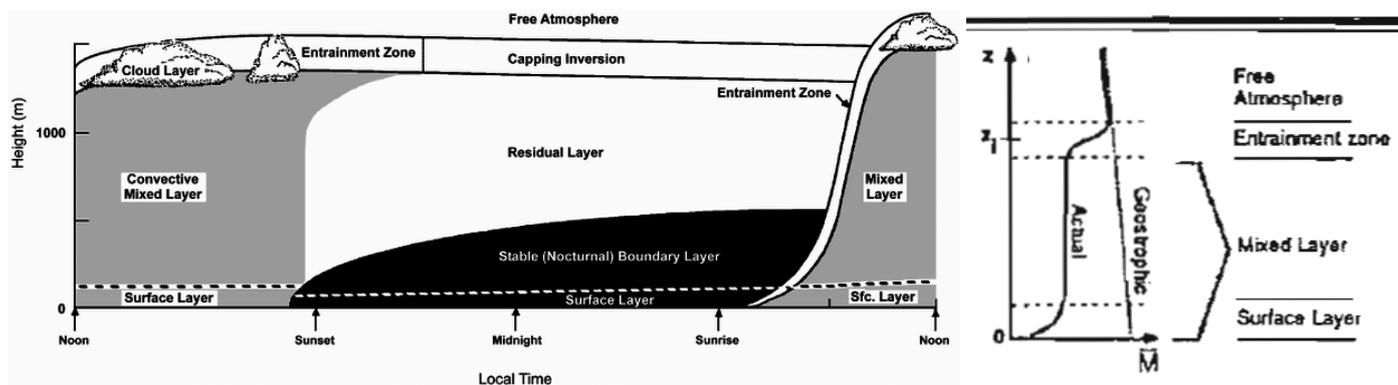


Figura 5: Capa límite terrestre y de superficie (izq.). Perfil de velocidad (M) típico para horario diurno (der.) - (Stull, 1988)

Por otro lado, el hecho de situarse a una altura elevada motiva un cambio en el flujo con respecto al caso a nivel del suelo. Este flujo ahora contempla la presencia de un espaciado entre la vía férrea y el suelo e, incluso, existe la posibilidad de una intercomunicación entre el fluido sobre el viaducto y aquel que pasa por debajo -no siendo el caso del viaducto evaluado en este trabajo-. Es decir, las líneas de corriente adoptarán un patrón particular para este tipo de construcción.

Estas dos características únicas e inherentes al flujo circundante a un viaducto motivaron la realización del presente trabajo, en pos de un mayor conocimiento del fenómeno.

Como se mencionó anteriormente, el entorno que predomina sobre el viaducto analizado tiene una preponderancia de edificaciones bajas. Sin embargo, hay regiones específicas en que la ausencia de edificaciones, junto con el cruce con avenidas de gran tamaño, posibilitarían, a priori, la formación de una capa límite terrestre con un perfil de velocidad desarrollado.

Otro punto a considerar es el hipotético caso de un conjunto edilicio que genere un efecto venturi, con el consiguiente incremento de la velocidad nominal inicial, y como este caso podría invalidar el estudio actual. No obstante, la velocidad adoptada (ver sección siguiente) de 45m/s excede en un 30% al valor máximo registrado en la Ciudad de Buenos Aires de 30.8m/s.

Desarrollo

El presente trabajo busca establecer la influencia de los paneles acústicos ya existentes en el momento de rido, para eso se determinó la diferencia en el momento actuante sobre un coche para dos configuraciones: con y sin barreras/paneles laterales.

Cada una de estas evaluaciones es hecha en base a un modelo CFD (computational fluid dynamics) que considera un flujo bidimensional sobre una sección específica del conjunto viaducto-vagón - mismo abordaje seguido por Avila-Sanchez (2014) y Meroniuc, Moreo (2021)-. El modelo numérico en cuestión se resolvió por medio del software de código abierto Open-Foam. Imágenes del mismo pueden verse en la Figura 6, constituyendo imágenes del modelo completo. Su tamaño, específicamente su altura, fue escogida considerando un valor de bloqueo pequeño (en este caso del 17%) y validando que el campo de velocidades obtenido no presentase patrones inherentes a un bloqueo excesivo – recordando, a su vez, el carácter comparativo del trabajo presentado entre dos configuraciones bien definidas-

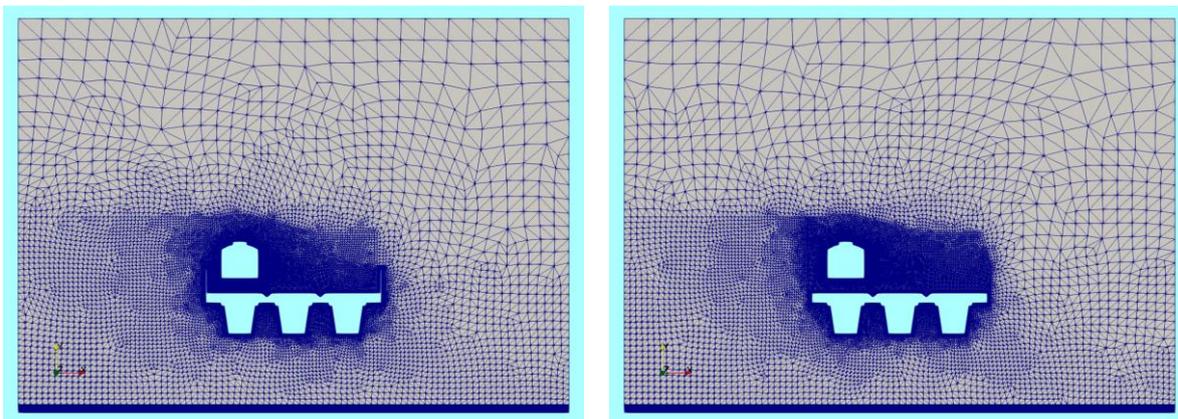


Figura 6: Malla del modelo numérico implementado para el caso con paneles (izq.) y sin paneles (der.).

Este modelo cuenta como condición de contorno un perfil de velocidad lateral que contempla el comportamiento inherente a la capa límite terrestre. Richards (2011) estableció leyes de variación para U_x , k y ε en función de la altura, una velocidad de referencia a una altura determinada (adoptándose 45m/s a 10m, valor de ráfaga de diseño para Buenos Aires, Argentina (INTI-CIRSOC 102, 2008) y cuyo valor está por encima de la máxima registrada por el Servicio Meteorológico Nacional (s.f.) en la ciudad de Buenos Aires en el período 1991-2023: 30.8 m/s), la rugosidad del terreno (0.1m en el presente estudio), la constante de Von Karman ($\kappa_{k-\varepsilon}$) y el coeficiente de viscosidad turbulenta (C_{μ}). El modelo de turbulencia empleado fue $k-\varepsilon$ dado que OpenFoam posee una herramienta para aplicar el desarrollo de capa límite arriba explicado haciendo uso de este modelo de turbulencia. Como requisito al emplear este modelo se verificó que las simulaciones tuviesen un valor de $y^+ \sim 30$.

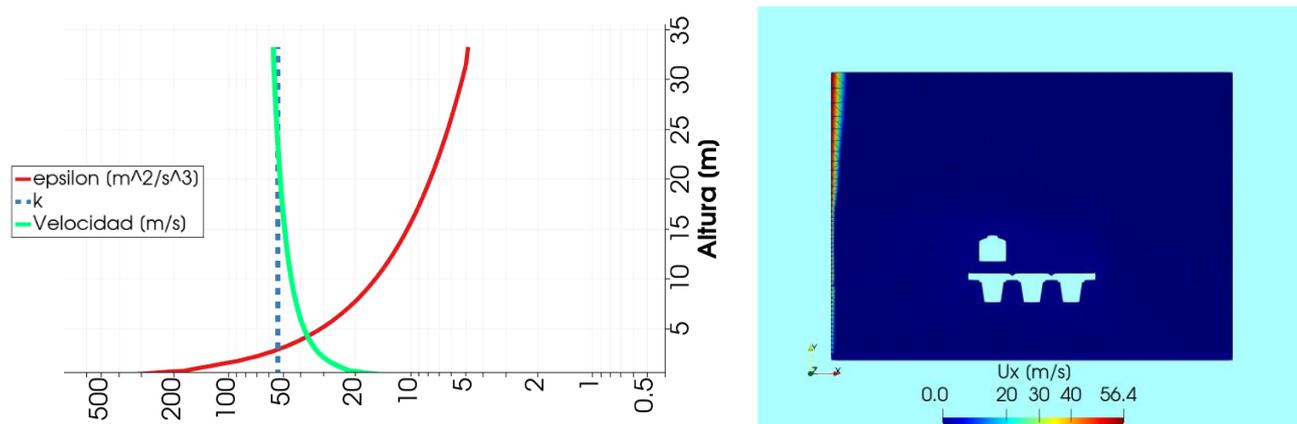


Figura 7: Distribución de velocidad, κ y ε en función de la altura implementada en el modelo como condición de contorno.

La cara lateral derecha, mientras tanto, posee una condición de velocidad del tipo *inlet/outlet* con una presión inicial nula. Para finalizar, la cara superior tiene aplicada una condición de simetría.

Por otro lado, y como requisito casi excluyente para este tipo de simulaciones, fue menester hacer un estudio de sensibilidad de malla para validar la convergencia de los valores obtenidos.

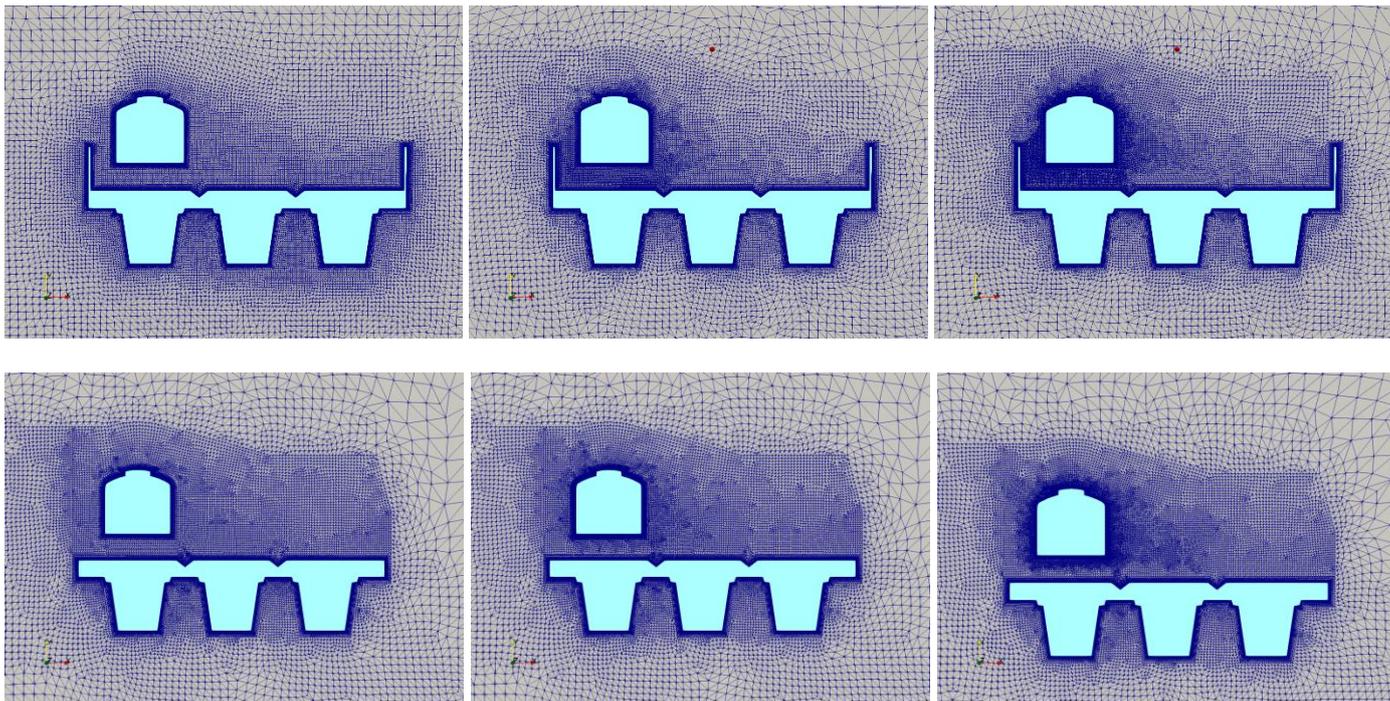


Figura 8: Análisis de sensibilidad de malla para el caso con paneles #1 (28834 elementos), #2 (30739 elementos) y #3 (37010 elementos) y sin paneles #1 (28118 elementos), #2 (31542 elementos) y #3 (34862 elementos).

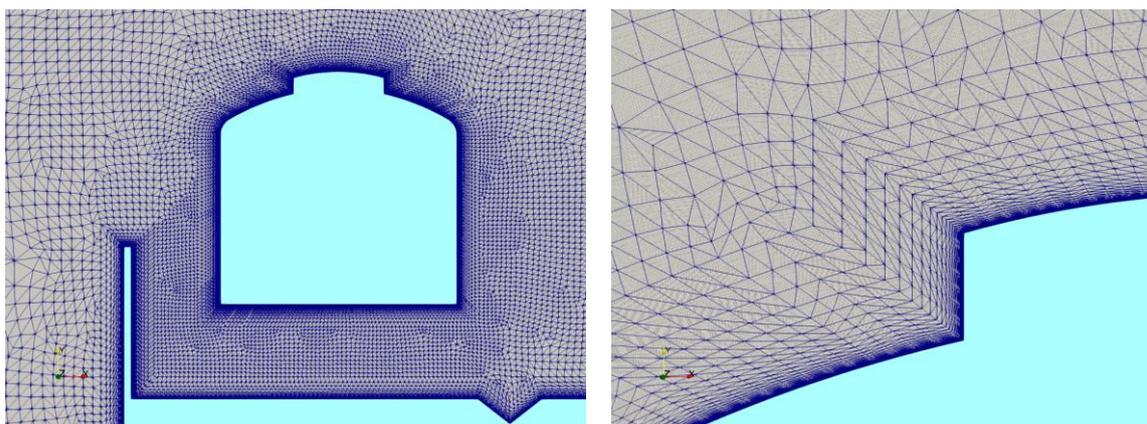


Figura 9: Detalle de la malla para el modelo con paneles final.

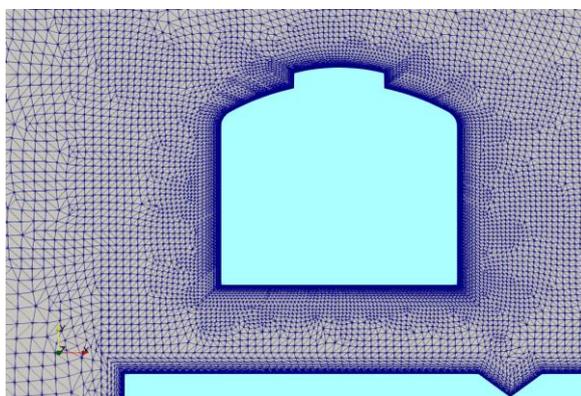


Figura 10: Detalle de la malla para el modelo sin paneles final.

La simulación ofrece como resultado las fuerzas y momentos actuantes sobre el cuerpo bajo análisis. En el presente trabajo se evaluará el coeficiente de momento obtenido como (UNE-EN, 2011):

$$C_{Mz,lee} = \frac{M_{z,lee}}{0.5 * \rho_0 * V_{\infty}^2 * d_0 * A_0}$$

siendo función del momento de rolido a sotavento o *leeward* ($M_{z,lee}$) que es el obtenido al considerar como punto de reducción de momentos el dado por el extremo inferior ubicado en la cara a resguardo del viento relativo, de la densidad de referencia del aire (ρ_0) 1.225 Kg/m³, de la velocidad de la corriente libre (V_{∞}) -evaluada a la altura del viaducto-, de una superficie de referencia (A_0) y de una longitud de referencia (d_0). Estos dos últimos valores están establecidos en la norma de referencia utilizada (UNE-EN, 2011), adoptándose 10m² y 3m respetivamente.

El coeficiente de fuerza lateral (c_f) se define de manera análoga al anterior, aunque usando el dato de la fuerza lateral ejercida (F_x) sobre el vagón obtenido de la simulación:

$$c_f = \frac{F_x}{0.5 * \rho_0 * V_{\infty}^2 * A_0}$$

Es menester aclarar que el momento total va a ser la conjunción de la fuerza lateral (arriba citada) y la vertical aplicadas a una distancia del punto de reducción de momentos adoptado, siendo que la inclusión del coeficiente de fuerza lateral solo persigue poner de manifiesto el incremento en la fuerza lateral sufrida por el tren al retirar los paneles.

Resultados

En la Figura 11 puede apreciarse la distribución de velocidades que corresponden a los casos evaluados. Es interesante notar como se forman dos vórtices estacionarios en la porción inferior, entre los alojamientos de las 3 vías. A la hora de evaluar y comparar el campo de presiones (Figura 12), puede apreciarse como hay una zona de baja presión entre la barrera y la cara a barlovento (región marcada como “A”). Además, para el caso sin paneles, se hacen más notorias la región correspondiente a la presión de impacto en esta cara (región “B”) y la caída de presión -siempre comparando con el caso con barreras- en la región de sotavento (“C”). En definitiva, esta circunstancia de la presencia de una región de baja presión en la cara a barlovento para el caso con paneles y de una sobrepresión para el caso restante va a ser la responsable de la diferencia en los coeficientes de momento y de fuerza lateral presentes en la Tabla 1 (en la misma además se incluyen los resultados correspondientes al análisis de sensibilidad de la malla con las configuraciones mostradas en la Figura 8).

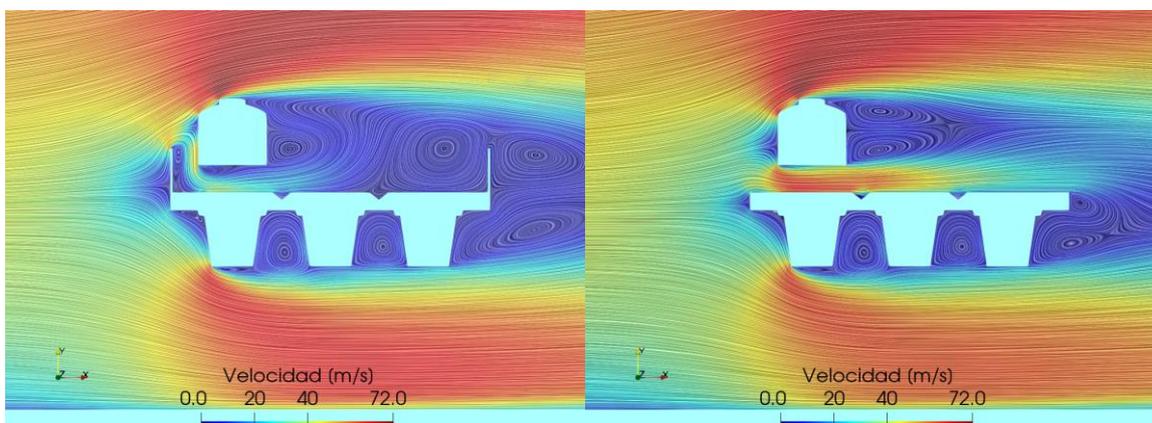


Figura 11: Campo de velocidades y líneas de corriente para ambos casos evaluados.

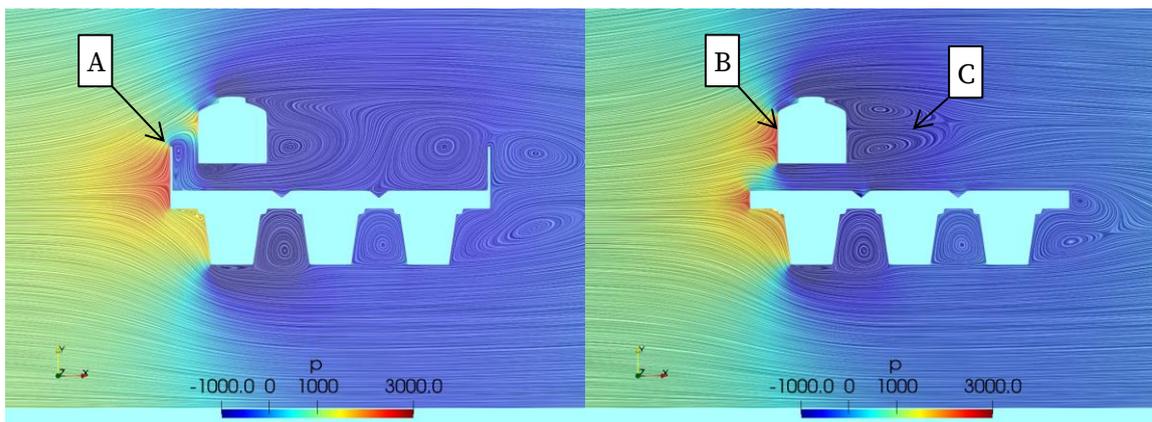


Figura 12: Campo de presiones y líneas de corriente para ambos casos evaluados.

Coeficiente	Viaducto con paneles			Viaducto sin paneles		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
$C_{Mz,lee}$	-0.244	-0.235	-0.231 (ref.)	-0.372	-0.363	-0.351 (+51.94 %)
C_f	0.433	0.421	0.423 (ref.)	0.823	0.818	0.812 (+ 91.96 %)

Tabla 1: Coeficiente de momento y de fuerza lateral

Conclusiones

Si bien los paneles montados a ambos lados del viaducto cumplen una función de aislación acústica para las viviendas circundantes al viaducto, la construcción de estos permite discernir que, a modo de segundo rol, hacen las veces de barreras que mitigan la acción de los vientos cruzados.

En la Tabla 1 puede apreciarse como la fuerza lateral -expresada a través de un coeficiente- tiene un aumento de casi el doble al retirar los paneles. En lo que concierne al momento, recordando que este no es solo un producto de la fuerza anterior sino también de la vertical, el mismo sufre un incremento del orden del 50% ante la ausencia de las placas. El análisis posterior de si este momento es suficiente o no como para volcar a la formación se escapa del presente trabajo, dado que es necesario contar con las informaciones inherentes a masas, posibles fuerzas de inercia por giro, elasticidad en el vínculo entre el carro y el bogie, etc.

Como puede apreciarse en la Figura 3, los fenómenos de vientos cruzados son necesarios de evaluar aún en formaciones que no sean comúnmente denominadas de “alta velocidad” y que tienen un diseño poco aerodinámico. Por ende, quedará para un futuro trabajo, en el caso de que se decida hacer un diseño específico de los paneles para que hagan las veces de barrera de viento propiamente dicha, la determinación de la altura óptima de los mismos. Es decir, hallar el umbral de altura a partir del cual el momento de rolido sufre modificaciones marginales.

Referencias

- Avila-Sanchez, S., Pindado, S., Lopez-García, O. y Sanz-Andrés, A. (2014). Wind Tunnel Analysis of the Aerodynamic Loads on Rolling Stock over Railway Embankments: The Effect of Shelter Windbreaks. *The Scientific World Journal*, 2014 (ID 421829), <https://doi.org/10.1155/2014/421829>
- Diario La Jornada. (23 de abril de 2011). Esquel: por el viento descarriló La Trochita con 150 turistas a bordo. *La Jornada*.
https://diariojornada.com.ar/13637/Policiales/Esquel_por_el_viento_descarrilo_La_Trochita_con_150_turistas_a_bordo.
- Guo, W., Wang, Y., Xia, H. y Lu, S. (2015). Wind tunnel test on aerodynamic effect of wind barriers on train-bridge system. *Science China-Technological Sciences*, 58 (2), 219–225. <http://dx.doi.org/10.1007/s11431-014-5675-1>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2008). Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones, INTI-CIRSOC 102.
- Meroniuc, M., Moreo, G., Saba, J. (2021). Inversión de momento de rolido por uso de barreras: método numérico. 3er CONGRESO sobre MEDIOS de TRANSPORTE y sus TECNOLOGÍAS ASOCIADAS, p.101-105. ISBN 978-987-88-2765-0
- Muse, V. (10 de Julio de 2019). Línea San Martín: inauguraron el viaducto que elimina 11 barreras. URL: <https://www.lanacion.com.ar/buenos-aires/el-viaducto-san-martin-horas-cambiar-forma-nid2265726/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (s.f.) Glossary. Recuperado en 30 de junio de 2023, de <https://forecast.weather.gov/glossary.php?word=boundary%20layer#:~:text=The%20surface%20boundary%20is,are%20strongest%20within%20this%20layer>
- Richards, P.J., Norris S.E. (2011). Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models revisited. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99 (2011), 257-266. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.008>
- Rolén, C., Rung, T. y Wu, D. (24-28 de Julio de 2004). COMPUTATIONAL MODELLING OF CROSS-WIND STABILITY OF HIGHSPEED TRAINS. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS 2004, Jyväskylä, Finlandia.
- Servicio Meteorológico Nacional, (s.f.). Velocidad máxima del viento. Ciudad de Buenos Aires. Enero 1991 / abril 2023. Ciudad de Buenos Aires. <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=27706>
- Stull, R.B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, p. 666. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3027-8>.
- UNE-EN 14067-6 (2011). Aplicaciones Ferroviarias-Aerodinámica, Requisitos y procedimientos de ensayo para la evaluación del viento cruzado. Comité Técnico AEN/CTN 25.
- Viaducto San Martín. (s.f.). Buenos Aires Ciudad. <https://buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/desarrollo/viaducto-ffcc-san-martin>
- Zhang, J., He, K., Wang, J., Liu, T., Liang, X. y Gao G. (2019). Numerical Simulation of Flow around a High-Speed Train Subjected to Different Windbreak Walls and Yaw Angles. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 12 (04), 1137-1149. <https://doi.org/10.29252/jafm.12.04.29484>