

SOBRE LAS CARGAS AERODINÁMICAS PRODUCIDAS POR EL VIENTO EN CONJUNTOS DE EDIFICIOS

**García, Jorge Osvaldo^a; Soria Castro, Luis Mario^{a,b}; Pinto, Federico^{b,c};
Gon Klubek, Mariela^{c,d}**

^aDpto. Ing. AeroEspacial, FCEfyN, UNC, jgarcia@unc.edu.ar

^bDpto. Estructuras, FCEfyN, UNC

^cInstituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT-CONICET)

^dObservatorio Hidro-Meteorológico de la Provincia de Córdoba

Palabras clave: aerodinámica, capa límite terrestre, presiones, interacción

RESUMEN

En los últimos años se ha vuelto frecuente la construcción de conjuntos de edificios aislados pero próximos entre sí, conformando complejos habitacionales con anexos comerciales y de servicios. En estos casos, la disposición geométrica relativa entre los edificios modifica los efectos de las acciones aerodinámicas, debido a la interacción mutua entre las estructuras, con lo cual pueden aumentar o disminuir las solicitaciones respecto de las que actuarían sobre un edificio completamente aislado.

Entre los fenómenos que pueden producirse se encuentran: la canalización del flujo de aire, efectos de interferencia y de escudo, así como alteraciones en las acciones sobre el entorno peatonal y sobre edificios bajos vecinos. A su vez, estos mecanismos pueden interactuar entre sí generando efectos sinérgicos, cuya determinación y estimación presentan una complejidad significativa que pueden llegar a comprometer la seguridad de las personas y la integridad estructural global o de los cerramientos.

En este contexto, el presente trabajo analiza dichos fenómenos mediante métodos numéricos de dinámica de fluidos computacional (CFD), mediante un diseño de experimento factorial evaluando los Factores de Interferencia (IF) de fuerza, presión y momento torsor, con el objetivo de poner en evidencia estos efectos de interacción y explorar su posible parametrización como guía para la estimación de acciones aerodinámicas en las disposiciones de edificios.

ABSTRACT

In recent years, the construction of groups of buildings has become frequent, forming housing complexes with commercial and service annexes. In these cases, the relative geometric arrangement between the buildings modifies the effects of the aerodynamic actions due to the mutual interaction between the structures, which can

increase or decrease the stresses with respect to an isolated building.

Among the phenomena that can occur are: the channeling of air flow, interference and shield effects, as well as alterations in actions on the pedestrian environment and on neighboring low-rise buildings. In turn, these mechanisms can interact with each other generating synergistic effects, the determination and estimation of this effects present significant complexity that can compromise people's safety and overall structural or cladding integrity.

The present work analyzes these phenomena using numerical computational fluid dynamics (CFD) methods in a factorial experiment design evaluating Interference Factors (IF) for force, pressure, and torsional moment, with the aim of highlighting these interaction effects and exploring their possible parameterization as a guide for estimation. of aerodynamic actions in building layouts.

INTRODUCCIÓN

El movimiento del aire sobre la superficie terrestre se comporta como una capa límite donde la velocidad se incrementa con la altura. Este perfil de velocidad media y su turbulencia asociada son críticos para entender los efectos aerodinámicos en edificios, dado que dicho perfil se ve influenciado por la presencia de obstáculos (topografía, edificios, vegetación), los cuales no sólo disminuyen la velocidad media de dicha capa límite, sino que también aumentan en forma significativa la turbulencia de la misma.

Simular estos fenómenos de manera exacta es un campo de desarrollo actual de la ingeniería de viento, donde el empleo de códigos de Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) es de principal importancia. Sin embargo, esto conlleva numerosos inconvenientes en la validación de los métodos, principalmente debido a la carencia de los modelos numéricos asociados a la turbulencia de copiar correctamente los modelos experimentales y cantidad de experimentos numéricos necesarios para obtener valores comparables a experimentales. Si bien el uso de modelos de turbulencia RANS es ampliamente reconocido como un estándar para simulaciones industriales, solo permite una modelación regular de los efectos de estelas de grandes vórtices, como las que se observan en estas simulaciones. Por ello en este trabajo se decide emplear un software basado en la simulación de Grandes Vórtices (LES, Large Eddy Simulation).

El software de simulación empleado es FDS (*Fire Dynamics Simulator, version 6.11*) del NIST [13]. El cual emplea el método de diferencias finitas sobre mallas cartesianas ortogonales estructuradas. Con un esquema explícito tipo predictor-corrector de segundo tanto en espacio como en tiempo. La turbulencia se resuelve mediante LES con submodelos de escala sub-malla tales como Deardorff o Smagorinsky.

La mayor parte de las normativas estructurales [9] regulan las cargas de diseño de tipo aerodinámico para edificaciones aisladas de baja y mediana altura. En los agrupamientos de edificios se modifica sustancialmente el campo de velocidades y la distribución de presiones en comparación con estructuras aisladas. Estas interacciones complejas alteran las cargas aerodinámicas mediante la combinación

de los siguientes fenómenos:

- Efecto de Canalización (*Funnelling*): la restricción del flujo de aire en pasos estrechos acelera el fluido por encima de la velocidad de corriente libre, generando un gradiente negativo de presión estática en fachadas laterales adyacentes según el teorema de Bernoulli. [1] [4].
- Efecto de Escudo e interferencia (*Shielding*): un edificio situado a barlovento puede proporcionar protección al edificio de sotavento al reducir sus cargas aerodinámicas [2]. Pero, en ciertas configuraciones críticas las cargas en el edificio posterior pueden aumentar significativamente.
- Efecto de desviación descendente (*Scoop*): Los edificios que sobresalen por encima de sus vecinos actúan como "cucharas" al coleccionar en niveles superiores flujo de aire de mayor intensidad y desviarlo hacia la base del edificio. Este flujo descendente genera vórtices en la parte inferior del edificio que pueden aumentar notablemente las cargas aerodinámicas en los techos más bajos de edificios cercanos [1] [2] y además generar molestias en los corredores peatonales.
- Re-adherencia del Flujo: La presencia de un edificio situado a sotavento puede forzar a que el flujo de aire que se separó de un edificio anterior se vuelva a adherir a su superficie posterior con mayor intensidad. Este fenómeno puede causar que las cargas de succión locales en el revestimiento del edificio anterior aumenten varias veces su valor normal [2].
- Regímenes de Flujo en Conjuntos de Estructuras: Dependiendo de las distancias entre las diferentes construcciones, se definen tres tipos de regímenes: el *skimming flow* (flujo rasante) en agrupaciones muy cercanas de edificios donde el viento "salta" sobre los techos atrapando un vórtice estable en la calle, el *wake-interference Flow* (flujo de interferencia de estelas) típico de construcciones separadas a mediana distancia y el *isolated-roughness flow* (flujo de rugosidad aislada) común en edificaciones separadas a distancias mayores [2].
- Conmutación de Flujo ("Flow Switching"): En conjuntos de edificios con formas similares, con patrones de distribución regulares, el flujo de aire puede volverse inestable y "*cambiar*" de un edificio a otro de forma rítmica o aleatoria. Si las estructuras son flexibles, este cambio puede inducir vibraciones y grandes esfuerzos al coincidir con la frecuencia natural de las construcciones [1].

El estudio de estos efectos aerodinámicos, al considerarse conjuntos de construcciones, se vuelve sumamente complejo al emplearse métodos aproximados. Por lo cual la evaluación experimental en túneles de viento con efecto de capa límite terrestre se considera la opción viable para obtener resultados confiables, con el consiguiente costo y complejidad que puede llevar dicha actividad [6]. Es por ello que, un estudio previo de los efectos aerodinámicos en la configuración de edificios empleando técnicas de CFD (Computer Fluid Dynamics) o Dinámica de Fluidos Computacional, permite obtener una gran variedad de resultados con diversas combinaciones de factores, con lo cual se puede enfocar el estudio experimental mediante túnel de viento a los casos más críticos o importantes, reduciendo notablemente los costos y tiempos de estudio.

Para ello, y a los fines de poner de relevancia los efectos aerodinámicos principales, las interacciones y los efectos sinérgicos que ocurren entre el conjunto de los diferentes edificios y su disposición, resulta importante diseñar adecuadamente el

estudio mediante CFD. Es aquí donde el Diseño Factorial de Experimentos provee una metodología de estudio que permite poner en evidencia dichos efectos a fin de ser evaluados posteriormente de forma experimental [7] [8].

El Diseño Factorial de Experimentos es una técnica estadística que permite definir e investigar todas las combinaciones posibles de los niveles de múltiples factores en cada prueba completa de un experimento. A diferencia de los métodos tradicionales, que modifican un solo factor a la vez, esta metodología varía los factores de forma conjunta y sistemática para observar sus efectos sobre una variable de salida. Una de las mayores ventajas del diseño factorial es su capacidad única para detectar e investigar las interacciones entre factores.

Se entiende que aparece una interacción cuando el efecto que produce un factor sobre el resultado depende del nivel en el que se encuentre otro factor. El método habitual de "*un factor a la vez*" (OFAT) no tiene capacidad para detectarlas, con lo cual puede perderse información valiosa.

DISEÑO EXPERIMENTAL

A fin de ilustrar el uso de experimentos factoriales se consideró una disposición de cinco (5) edificios dispuestos de la forma indicada en la Figura 1 donde las dimensiones de los mismos se indican en la Tabla 1 y en la vista en planta de la Figura 2. La separación entre edificios se estableció en 15 m salvo entre A03 y A04 que es de 5 m.

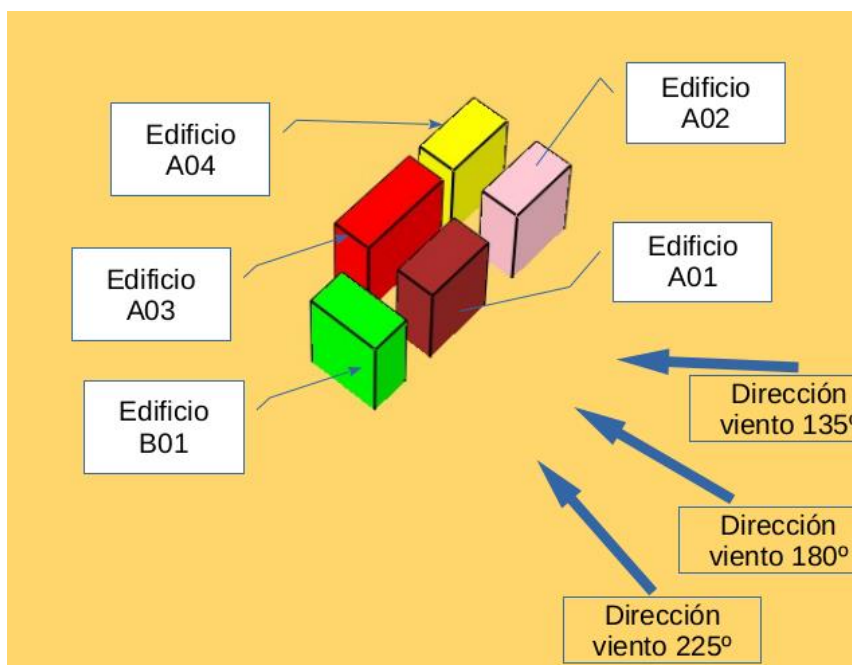


Figura 1: Esquema del modelo de simulación.

Edificio	Ancho [m]	Largo [m]	Alto [m]
Edificio A01	30	15	40

Edificio A02	30	15	40
Edificio A03	40	15	40
Edificio A04	30	15	40
Edificio B01	15	30	40

Tabla 1: Dimensiones edificios simulación

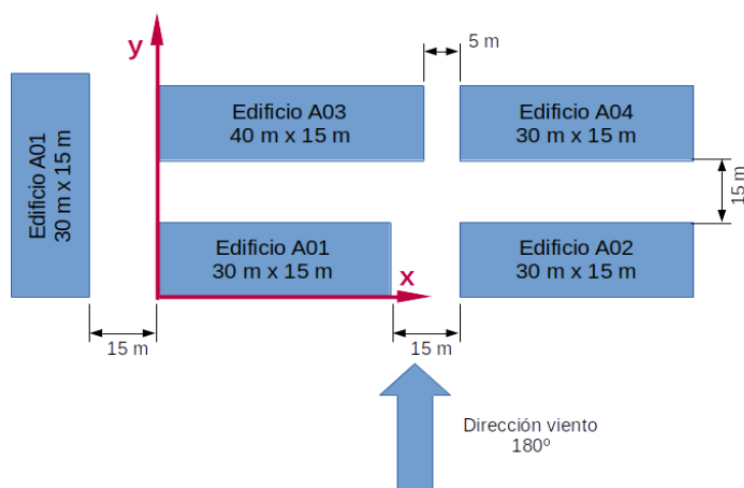


Figura 2: Vista en planta del clúster de edificios.

Para analizar los efectos del viento y su interacción con el entorno, se tomó como referencia el edificio A03. La evaluación busca precisar qué combinación geométrica de las construcciones vecinas y qué dirección del viento produce las menores cargas aerodinámicas sobre el edificio objetivo.

Para las condiciones de contorno de la simulación CFD, se toma como perfil de capa límite incidente el indicado en CIRSOC 102-2005 [9], definido mediante una ley potencial de la forma indicada en la expresión (1), donde:

$V_0 = 60 \text{ km/hr} = 16,6 \text{ m/seg}$, $a = 5$, y z se expresa en metros.

$$V(z) = V_0 \left(\frac{z}{10} \right)^a \quad (1)$$

Los factores del estudio se listan en la Tabla 2.

Factores	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Dirección viento [°]	135	180	225
Edificio A01 altura [m]	0	20	40
Edificio A04 altura [m]	0	20	40
Edificio B01 altura [m]	0	20	40

Tabla 2: Factores y sus niveles

Como resultados se consideran la presión manométrica promedio en cada cara del edificio objetivo y la fuerza resultante sobre la misma.

Para el diseño de experimento factorial en el presente estudio se emplea el denominado L9 [8], para el cual se toman 4 factores, cada uno con tres niveles. Este diseño es extremadamente eficiente, ya que permite estudiar las variables con solo 9 ensayos, en lugar de los 81 que requeriría un diseño factorial completo ($3^4 = 81$).

En la Tabla 3 puede observarse el arreglo ortogonal para los ensayos.

Ensayo	Dirección viento	Edificio A01 altura	Edificio A04 altura	Edificio B01 altura
1	1 (135°)	1 (0 m)	1 (0 m)	1 (0 m)
2	1 (135°)	2 (20 m)	2 (20 m)	2 (20 m)
3	1 (135°)	3 (40 m)	3 (40 m)	3 (40 m)
4	2 (180°)	1 (0 m)	2 (20 m)	3 (40 m)
5	2 (180°)	2 (20 m)	3 (40 m)	1 (0 m)
6	2 (180°)	3 (40 m)	1 (0 m)	2 (20 m)
7	3 (225°)	1 (0 m)	3 (40 m)	2 (20 m)
8	3 (225°)	2 (20 m)	1 (0 m)	3 (40 m)
9	3 (225°)	3 (40 m)	2 (20 m)	1 (0 m)

Tabla 3: Arreglo ortogonal L9

En este arreglo L9, debido a que es un diseño saturado, no hay columnas sobrantes para estimar interacciones entre los factores sin sacrificar el estudio de uno de los factores principales. Se asume como hipótesis que los factores actúan de manera independiente o que las interacciones son mínimas en comparación con los efectos principales. Con estudios posteriores similares es posible determinar el efecto de las interacciones.

Para dar respuesta completa a la caracterización aerodinámica, se evalúan las siguientes variables de salida en el Edificio A03:

- **Coefficiente de Presión Local (C_p)**: calculado como

$$C_p = \frac{P_{est} - P_{atm}}{P_{din}} \quad (2)$$

En la expresión (2) la P_{est} es la presión estática sobre un punto de la superficie del edificio, P_{atm} la presión atmosférica de referencia y P_{din} la presión dinámica según la expresión (3).

$$P_{din} = \frac{\rho V_0^2}{2} \quad (3)$$

Donde ρ es la densidad del aire.

La expresión del coeficiente de presión (2) tiene la siguiente interpretación física:

- $C_p > 0$ (Presión positiva / Sobrepresión): Indica que la presión estática local $P_{est} > P_{atm}$ es mayor que la atmosférica de referencia, lo que se interpreta como que la presión ejerce un empuje hacia el interior de la estructura.

- $C_p < 0$ (Presión negativa / Succión): Indica que $P_{est} < P_{atm}$ producida por la aceleración del flujo y/o desprendimiento de la capa límite en las caras del edificio, ejerciendo una fuerza de tracción o succión hacia el exterior de los cerramientos.

- **Fuerza Resultante (F):** Para determinar la fuerza que actúa sobre cada una de las caras de un edificio se realiza la sumatoria ponderada según las superficies, de los diferentes coeficientes de presión sobre la misma. Se obtiene un coeficiente de fuerza [10], según la expresión (4), sobre cada una de las caras del edificio objetivo, las cuales se consideran los resultados de cada uno de los ensayos del arreglo ortogonal L9.

$$F = \sum_{i=1, j=1}^{n, m} C_{p_{ij}} A_{ij} P_{din} \quad (4)$$

Siendo $C_{p_{ij}}$ el coeficiente de presión en las coordenadas i, j , A_{ij} la superficie elemental correspondiente sobre el área de la cara del edificio.

Se debe tener en cuenta la influencia del signo del C_p para determinar la dirección de la fuerza según los ejes coordenados.

- **Factores de Interferencia (IF):** estos efectos se cuantifican adimensionalmente mediante la razón entre la respuesta del edificio en el conjunto (*cluster*) y la respuesta del mismo edificio aislado (*isolated*) con el viento incidiendo sobre el mismo con la dirección de 180° :
 - Factor de Interferencia de Fuerza: $IF_F = F_{Fcluster} / F_{Faislado}$
 - Factor de Interferencia de Momento Torsor $IF_{Mt} = M_{t(cluster)} / M_{t(aislado)}$
 - Criterio de evaluación:
 - $IF > 1$ Amplificación de la carga (Efecto desfavorable por interferencia).
 - $IF < 1$ Reducción de la carga (Efecto favorable o de apantallamiento / shielding).
 - $IF < 0$: Inversión en el sentido de la fuerza neta (aparición de succión neta en fachadas expuestas).

El procesamiento de los resultados se realiza según los siguientes pasos [11]:

- Para cada una de las simulaciones se obtiene un valor de respuesta y_i (por ejemplo, el IF_F calculado en la simulación i), con estos valores se obtiene el total (T) mediante la suma de todos los resultados y el promedio global mediante la expresión (5):

$$\underline{y} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 y_i \quad (5)$$

- Con los resultados obtenidos se procede a realizar la Suma Total de Cuadrados (SS_T) mediante la expresión (6):

$$SS_T = \sum_{i=1}^9 \quad (6)$$

- Luego se procede a calcular la suma de los cuadrados de cada factor considerando los resultados obtenidos para cada nivel del mismo, por ejemplo para el factor correspondiente a la altura del edificio A01 se aplica la expresión (7):

$$SS_{A01} = \quad (7)$$

Dónde por $A01_i$ se ha representado la suma de los resultados obtenidos del ensayo correspondiente al nivel i del factor $A01$. Esta expresión se aplica para cada uno de los factores empleados en L9.

- Grados de libertad y estrategia de Pooling. Los grados de libertad determinan la cantidad de información independiente de la siguiente forma:
 - DF totales = $N - 1 = 9 - 1 = 8$
 - DF por factor = Niveles $- 1 = 3 - 1 = 2$

En el arreglo L9 con cuatro factores, el cual se considera saturado, la suma de los grados de libertad de los factores coincide con los grados de libertad totales, con lo que no se tienen grados de libertad para el error residual.

Como alternativa a lo anterior, se suele emplear la estrategia de Pooling o Agrupación, que es un procedimiento estadístico en la metodología de Taguchi, para lo cual se identifica el factor con la suma de los cuadrados más baja, que presente baja significación estadística, quitándolo como un factor principal y considerándolo como la suma de los cuadrados del error residual ($SS_{error} = SS_{factor\ menor}$) junto con sus grados de libertad.

- Se calculan las sumas de cuadrados de los factores corregidas según la expresión (8) en la que se ha tomado por ejemplo el factor $A01$:

$$SS'_{A01} = SS_{A01} - SS_{error} \quad (8)$$

- Determinación de las varianzas de cada factor y del error

$$V_A = SS_A / DF_A \quad V_e = SS_e / DF_e \quad (9)$$

- Corrección de la sumas de cuadrados de cada factor

$$SS'_A = SS_A - V_e DF_e \quad (10)$$

- Determinación de las contribuciones porcentuales de cada factor.

$$P = SS'_A \times 100 / SS_T \quad (11)$$

RESULTADOS OBTENIDOS

Se simuló el movimiento de viento utilizando un software CFD con metodología LES (Large Eddy Simulation), la cual permite considerar un flujo de aire no estacionario en el dominio bajo estudio, con lo que se obtuvieron los coeficientes de presión sobre las superficies de los edificios del modelo planteado. En la Figura 3 puede apreciarse el campo de velocidades alrededor del edificio objetivo.

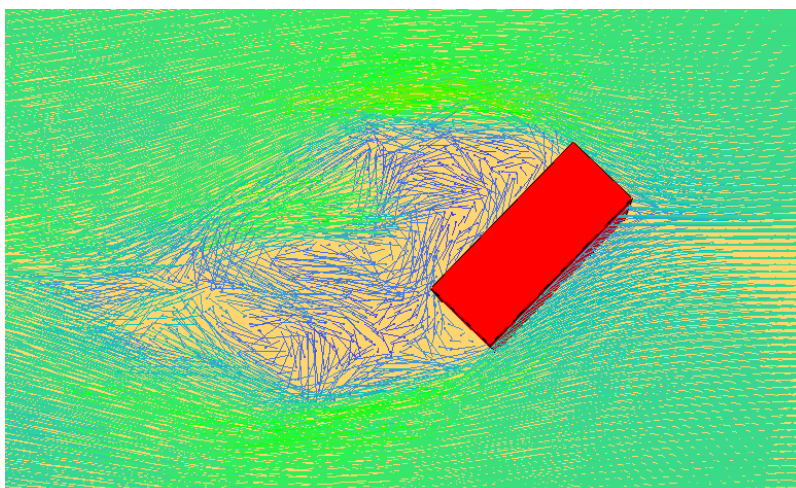


Figura 3: Simulación del campo de velocidades de viento
alrededor del edificio objetivo.

Aplicando las expresiones anteriores a los resultados obtenidos de la simulación se presentan en la Tabla 4 las fuerzas, momentos de torsión y factores de interferencias de cada ensayo sobre el cluster de edificios.

Ensayo	Direcc. viento	Edificio A01 altura	Edificio A04 altura	Edificio B01 altura	Fuerza total sobre A03 [kN]	Momento Torsor sobre A03 [kN m]	Factor Interf. Fuerza sobre A03	Factor Interf. Momento Torsor sobre A03
0	2 (180°)				461,03	8,22		
1	1 (135°)	1 (0 m)	1 (0 m)	1 (0 m)	144,20	-873,07	0,31	-106,21
2	1 (135°)	2 (20 m)	2 (20 m)	2 (20 m)	243,38	239,82	0,53	29,18
3	1 (135°)	3 (40 m)	3 (40 m)	3 (40 m)	121,80	885,15	0,26	107,68
4	2 (180°)	1 (0 m)	2 (20 m)	3 (40 m)	421,40	-127,70	0,91	34,03
5	2 (180°)	2 (20 m)	3 (40 m)	1 (0 m)	333,36	279,71	0,72	34,03
6	2 (180°)	3 (40 m)	1 (0 m)	2 (20 m)	64,23	1451,46	0,14	176,58
7	3 (225°)	1 (0 m)	3 (40 m)	2 (20 m)	498,35	-521,13	1,08	-63,40
8	3 (225°)	2 (20 m)	1 (0 m)	3 (40 m)	345,94	-75,39	0,75	-9,17
9	3 (225°)	3 (40 m)	2 (20 m)	1 (0 m)	198,30	-1139,16	0,43	-138,58

Tabla 4: Resultados de las simulaciones

Donde los Factores de Interferencia de Fuerza y Momento Torsor se han calculado tomando como referencias la Fuerza y el Momento Torsor del edificio A03 solo con un viento de dirección 180° impactando sobre él.

En las Figuras 4 y 5 se presentan gráficos de los efectos principales sobre la fuerza y momento torsor resultante sobre el edificio A03 objetivo.

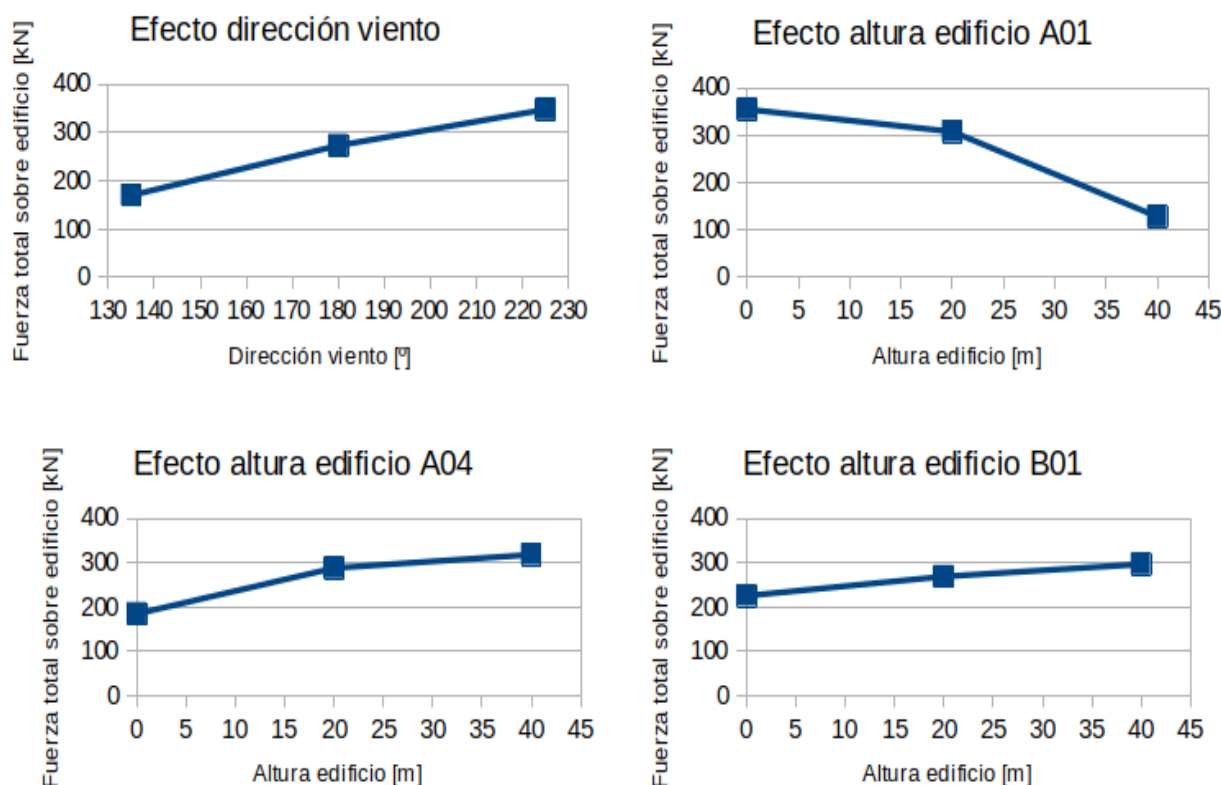


Figura 4: Efectos principales de los factores en la fuerza total sobre el edificio A03.

La forma de presentar resultados elegida en este trabajo obvia los efectos locales, mostrando efectos globales que son importantes en la estimación de las cargas de viento, esto se evidencia en que se comparan cargas totales sobre el edificio objetivo y no ubicaciones localizadas sobre el mismo.

En la figura 4, se observan varias consecuencias esperadas del posicionamiento del edificio objetivo, es útil para entender estos gráficos, el verificar la Figura 2 que presenta la disposición completa de edificaciones. Por ejemplo, en la fig. 4 (b) “Fuerza total sobre el edificio” se presenta la disminución de la fuerza total debido al apantallamiento producido por el edificio A01, este es un efecto claramente esperado, donde se espera una relación inversa entre altura de A01 y fuerza total.

En la Figura 4(d), se presenta el efecto del edificio lateral (B01), donde el aumento de altura causa efectos directos en la fuerza medida sobre el edificio objetivo.

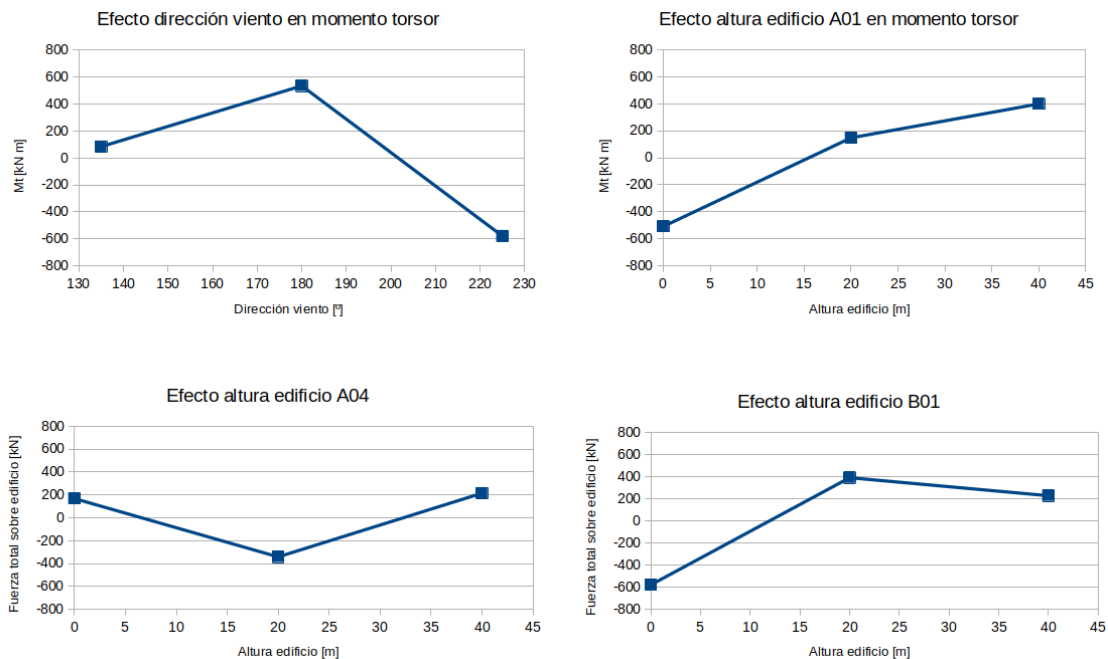


Figura 5: Efectos principales de los factores en momento torsor sobre edificio A03.

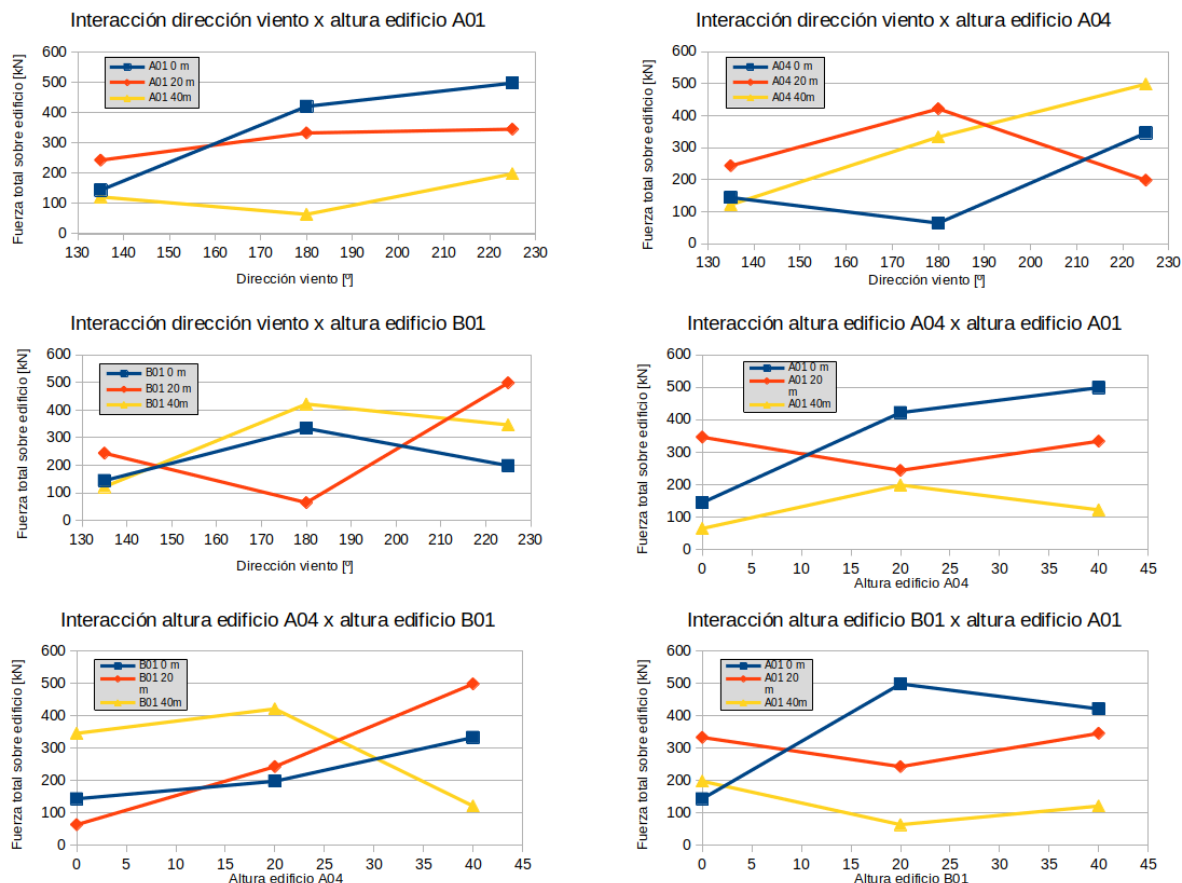


Figura 6: Efectos de interacciones entre los factores respecto a la fuerza ejercida sobre edificio A03.

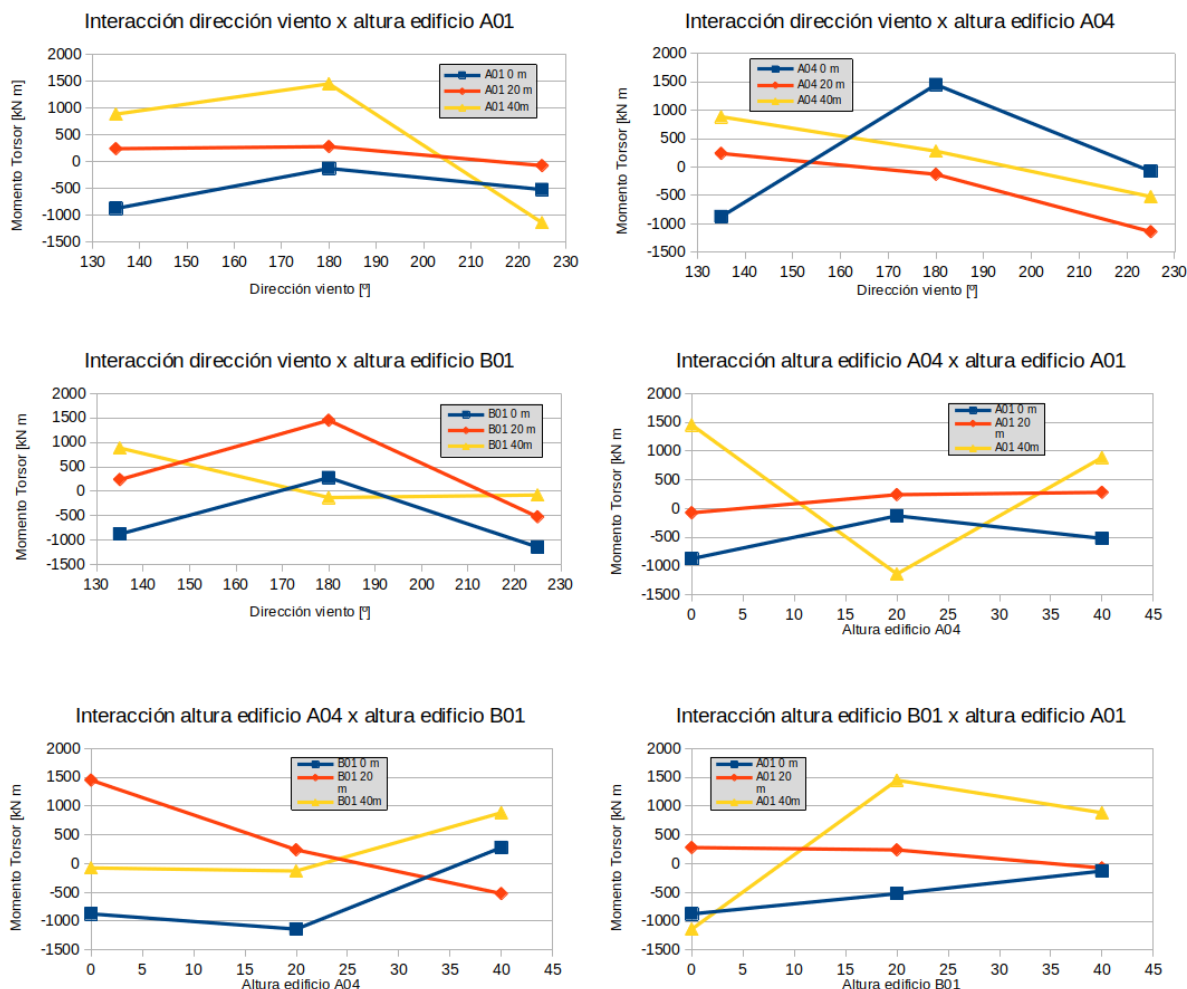


Figura 7: Efectos de interacciones entre los factores respecto al momento torsor sobre edificio A03.

De las Figura 6 y 7 se observan que aparecen interacciones entre los diferentes factores dado el cruzamiento de las rectas que representan los diferentes niveles de cada uno de ellos respecto a otro factor dentro del dominio en estudio, siendo algunas son más intensas cuanto mayor es el ángulo de cruzamiento [8].

Aplicando el procedimiento anteriormente descrito se obtienen los siguientes resultados presentados en las Tablas 5 y 6 para la fuerza y el momento torsor sobre el edificio A03 respectivamente.

Factor	DF	SS	V	SS'	P %
Viento dirección	2	47797,52	23898,76	40093,72	23,52
A01 altura	2	85744,18	42872,09	78040,39	45,79
A04 altura	2	29200,11	14600,05	21496,32	12,61
Error (B01)	2	7703,79	3851,90		18,08
Total	8	170445,60			100,00

Tabla 5: Resultados del análisis para la fuerza sobre edificio A03

Puede observarse de la Tabla 5 que se determinó que la altura del edificio B01 presentaba la menor variancia y no resultaba significativo su efecto sobre la fuerza total del edificio A03, siendo según estos resultados la mayor contribución realizada por el edificio A01 en primer lugar y en segundo lugar la dirección del viento.

Factor	DF	SS	V	P %
Viento dirección	2	1880793,16	940396,58	34,97
A01 altura	2	1314183,74	657091,87	24,44
A04 altura	2	572477,75	286238,87	10,65
B01 altura	2	1610435,73	805217,86	29,95
Total	8	5377890,38		100,00

Tabla 6: Resultados del análisis para el momento torsor sobre edificio A03

Respecto a los resultados presentados en la Tabla 6 se determinó que no es posible realizar el agrupamiento (pooling) con factor alguno dado que todos son significativos estadísticamente, por lo cual se determina que la dirección del viento tiene la mayor influencia en el valor del momento torsor sobre el edificio A03, siguiendo con la altura del edificio B01 y, por último la altura del edificio A01.

De esta manera se ponen en evidencia la influencia de los diferentes factores en los efectos aerodinámicos del cluster de edificios.

CONCLUSIONES

La metodología de experimentos factoriales permite determinar cuáles son los factores y los niveles que mayormente influyen en los efectos buscados de una forma fácil.

Los resultados obtenidos tienen múltiples lecturas, aunque es importante destacar un caso muy particular, el ensayo 7, donde para la configuración de edificios; A01 de altura nula (0m), B01 de altura media (20m) y A04 de altura completa (40m), se obtiene la máxima fuerza sobre el edificio objetivo.

Para el caso del momento torsor, se observan dos valores preponderantes del mismo para el ensayo 6 y el 9 en los cuales se produce un cambio de sentido en el mismo. En dichos casos se observa que la dirección del viento y alturas de los edificios B01 y A04 presentan modificaciones que probablemente provoquen dicho cambio.

Si bien el diseño del experimento es saturado, mediante gráficos de relación entre los diferentes factores es posible observar la existencia de interacciones entre los mismos, las cuales pueden ser cuantificadas mediante otros experimentos con diseños no saturados.

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Huerta, por su colaboración y aporte de ideas al presente trabajo.
- Al Dr. Ing. Andrés Rodríguez, por su colaboración y facilitarnos el uso del cluster del Laboratorio Hidrometeorológico de la FCEFyN-UNC

REFERENCIAS

- [1] Lawson, Tom, "Building Aerodynamics", Imperial College Press, Londres, 2001.
- [2] Holmes, John D., "Wind Loading of Structures", CRC Press, Boca Raton, 2015.
- [3] Simiu, Emil y Yeo, Donghun, "Wind Effects on Structures: Modern Structural Design for Wind", John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, 2019.
- [4] Jones, James y Telionis, Demetri, "Aeroform: Designing for Wind and Air Movement", Routledge, Nueva York, 2022.
- [5] Meseguer Ruiz, José; Sanz Andrés, Ángel; Perales Perales, José Manuel y Pindado Carrión, Santiago, "Aerodinámica de Instalaciones Aeroportuarias", Fundación Aena, Madrid; 2000.
- [6] Cermak, J. E., "Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures". Alemania: American Society of Civil Engineers, 1998.
- [7] Montgomery, D. C., "Diseño y análisis de experimentos", España, Ed. Limusa, 2002.
- [8] Peace, G. S., "Taguchi Methods: A Hands-on Approach". Reino Unido: Addison-Wesley, 1993.
- [9] CIRSOC 102, "Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones", INTI, 2005.
- [10] Afonso de Lavôra, Thiarly Feitosa, Vital de Brito, José Luis, Loredou-Souza, Acir Mércio, "Interference effects on wind loads as prescribed by codes and standards: can they be generalized?", Rev. IBRACON Estrut. Mater., vol. 17, no. 6, e17607, 2024.
- [11] Fadl, M.S. and Karadelis, J.N. "CFD simulation for wind comfort and safety in urban area: a case study of Coventry university central campus". International Journal of Architecture, Engineering and Construction (IJAEC), volume 2 (2): 131-143. 2013.
- [12] Roy, Ranjit K., "A primer on the Taguchi Method", Society of Manufacturing Engineers, 2da edición, 2010.
- [13] McGrattan, K., McDermott, R., Weinschenk, C., & Forney, G. "*Fire Dynamics Simulator User's Guide*", NIST Special Publication 1019, 6.^a ed., National Institute of Standards and Technology, 2013. <https://doi.org/10.6028/NIST.sp.1019>