

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Análisis comparativo del comportamiento numérico y real de edificios sometidos a condiciones de viento en la localidad de San Román

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Saul Thaquima Chuctaya
Jorge Shirosky Turpo Quispe
Yhon Yauri Miranda

Asesor:

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Juliaca, agosto de 2023

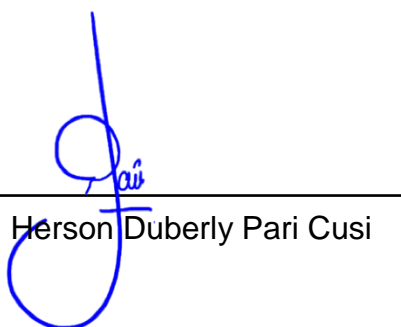
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Herson Duberly Pari Cusi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO NUMÉRICO Y REAL DE EDIFICIOS SOMETIDOS A CONDICIONES DE VIENTO EN LA LOCALIDAD DE SAN ROMÁN”** de los autores **Saul Thaquima Chuctaya, Jorge Shirosky Turpo Quispe y Yhon Yauri Miranda** tiene un índice de similitud de 10% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 13 días del mes de setiembre del año 2023.



Ing. Herson Duberly Pari Cusi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 29 día(s) del mes de agosto del año 2023 siendo las 16:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mtro. Leonel Chahuarez Paucan el (la) secretario(a): Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquinia y los demás miembros: Dr. Leonel Suasaca Pelinco y el (la) asesor(a) Ing. Herson Dulerly Pari Cusi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Análisis comparativo del comportamiento numérico y real de edificios sometidos a condiciones de viento en la localidad de San Román"

del(los) bachiller(es): a) Saul Thaquima Chuctaya b) Jorge Shirotsky Turpo Quispe c) Yhon Yauri Miranda

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Saul Thaquima Chuctaya

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller (b): Jorge Shirotsky Turpo Quispe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy Bueno

Bachiller (c): Yhon Yauri Miranda

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.


President(a)

Asesor(a)

Bachiller (a)


Miembro

Bachiller (b)


Secretario(a)

Miembro

Bachiller (c)

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
2.1. Instrumentación de medida.....	12
2.1.1. Edificios en estudio:	12
2.1.2. Selección de equipos de medición:	15
2.1.3. Selección de software.....	16
2.2. Recolección de datos en campo	16
2.3. Recolección de información para modelado.....	18
2.3.1. Consideraciones de modelado.....	18
3. RESULTADOS	20
3.1. Análisis numérico	20
3.1.1. Derivas por viento:	21
3.1.2. Desplazamientos por viento	22
3.2. Análisis real	23
3.2.1. Velocidad del viento	23
3.2.2. Desplazamiento Real.....	24
4. DISCUSIONES	25
4.1. Interpretación de resultados	29
6. BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Deriva por viento del edificio A y B.....	21
Tabla 2. Desplazamiento numérico y real para velocidad del viento de 26 km/h en el edificio A y 23 km/h en el edificio B.	22
Tabla 3. Comparación de los desplazamientos, medidas en campo y los resultados computacionales.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de Ubicación de edificios A y B.....	13
Figura 2. Plano en planta Edificio A	13
Figura 3. Plano en planta Edificio B	14
Figura 4. Edificios A de 8 niveles y Edificio B de 6 niveles	15
Figura 5. Equipos para monitoreo de desplazamiento y de viento.....	16
Figura 6. Matriz de sensores generalizadas en plano de planta genérico con fotografías insertadas del equipo.....	17
Figura 7. Mediciones y recolección de datos en campo	18
Figura 8. Simulación de cargas de viento en edificios A y B en ambas direcciones con el programa Robot Structural 2021	20
Figura 9. Modelado en Robot Structural 2021 de edificios A y B.....	21
Figura 10. Derivas por cargas de viento edificio A y B.....	22
Figura 11. Desplazamiento por cargas de viento edificio A y B.....	23
Figura 12. Velocidad máxima 26km/h edificio A	24
Figura 13. Velocidad máxima 23km/h edificio B.....	24
Figura 14. Desplazamiento por viento edificio A.....	27
Figura 15. Desplazamiento por viento edificio B	28
Figura 16. Desplazamiento en X por viento del edificio “A” a frente a diferentes velocidades	28
Figura 17. Desplazamiento en Y por viento edificio “A” a diferentes velocidades.	29

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS 1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio	33
---	-----------

Análisis comparativo del comportamiento numérico y real de edificios sometidos a condiciones de viento en la localidad de San Román

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un estudio de medición real y análisis numérico de los efectos del viento en edificios de la provincia de San Román, Juliaca-Puno. En la prueba real se realizaron mediciones de los efectos del viento en edificios existentes, también se registraron los desplazamientos de los edificios inducidos por el viento. Los datos obtenidos como la velocidad del viento y desplazamientos en edificios, fueron monitoreados de manera continua desde un equipo de medición de contacto, instalado en las estructuras durante el mes de julio en la ciudad de Juliaca. Se realizó un análisis detallado de los datos de campo para determinar los parámetros del viento, y los desplazamientos inducidos por el viento en cada estructura. Las características de los desplazamientos de cada edificio se determinaron a partir de mediciones de contacto reales en campo, y se realizaron comparaciones con el análisis numérico obtenido con un software por computadora a partir del modelo de elementos finitos (FEM). Finalmente, se determinó la relación entre los desplazamientos y la velocidad del viento donde el resultado obtenido muestra que los desplazamientos calculados vs los reales para el edificio A fueron 17.5% y 26.1% respectivamente en los ejes X e Y; para el edificio B el resultado fue de 31.1 % y 54.8% respectivamente en los ejes X e Y. Se concluye que existe una variación de desplazamientos entre lo real y numérico, esto producto de las distintas condiciones a las cuales están expuestas las estructuras en estudio.

Palabras clave: Efectos del viento, desplazamientos, edificios, análisis numérico, mediciones a gran escala.

ABSTRACT

This article presents the results of a real measurement study and numerical analysis of the effects of wind on buildings in the province of San Román, Juliaca-Puno. In the actual test, measurements of the effects of wind on existing buildings were made, the displacements of buildings induced by wind were also recorded. The data obtained, such as wind speed and displacements in buildings, were continuously monitored from contact measurement equipment, installed in the structures during the month of July in the city of Juliaca. A detailed analysis of the field data was carried out to determine the wind parameters, and the displacements induced by the wind in each structure. The displacement characteristics of each building were determined from actual contact measurements in the field, and comparisons were made with numerical analysis obtained with computer software from the finite element model (FEM). Finally, the relationship between the displacements and the wind speed was determined where the result obtained shows that the calculated vs. real displacements for building A were 17.5% and 26.1% respectively in the X and Y axes; for building B the result was 31.1% and 54.8% respectively in the X and Y axes. It is concluded that there is a variation of displacements between the real and the numerical, this product of the different conditions to which the structures under study are exposed.

Keywords: Wind effects, displacements, buildings, numerical analysis, large-scale measurements.

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos del viento son generalmente la principal preocupación en el diseño estructural de los edificios, especialmente en zonas con mayor presencia de vientos.(Xiao Li & QS Li, 2019). A medida que estas estructuras son más altas son más vulnerables a excitaciones del viento pudiendo ocasionar vibraciones en la estructura y de esta manera afectar a los ocupantes, daño e incluso fallas catastróficas en la estructura (Fangwei Hou, 2018).

Según (Xiao Li & QS Li, 2019) los edificios altos son considerados a partir de 100 m de altura. En este trabajo de investigación los edificios de estudio no superan los 25 m como máximo, por lo tanto, se consideran edificios de mediana altura. En edificios altos las cargas de viento controlan el diseño estructural, por lo tanto, los efectos del viento necesitan mayor estudio para la comprensión estructural de los edificios bajo acciones de viento (Jun Yi, 2015). De acuerdo a las condiciones de viento que existen en la ciudad de Juliaca denominada (*Ciudad de los Vientos*) por estar ubicada dentro de la meseta del Collao, es importante realizar estudios sobre el comportamiento de estructuras existentes para así determinar los desplazamientos reales que se generan.

A principios de la década de 1970, el Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido inició un programa de mediciones de campo como cargas y efectos del viento en una vivienda esencialmente construida en Aylesbury, Inglaterra de esta manera se inician los estudios reales que ocurren por efectos naturales. Durante las últimas tres décadas, se han llevado a cabo numerosas mediciones de campo de las características de la dinámica estructural y las respuestas inducidas por el viento de edificios altos y estructuras de gran altura (Robertson & Naka, 1980).

En los últimos años se llevaron a cabo algunos programas de monitoreo de campo en edificios bajo fuertes vientos, el método más fiable y convincente para investigar las

respuestas de vibración inducidas por el viento en los edificios es la medición de campo que adquiere información directamente de las estructuras en condiciones reales de viento, los datos de medición de campo se utilizan comúnmente para validar las técnicas de diseño resistentes al viento incluida el análisis de elementos finitos (Li et al., 2021). Se han producido enormes cantidades de estudios respecto al estudio de comportamiento de estructuras de concreto armado por las acciones del viento, llegando estos estudios a la siguiente conclusión, el edificio resultó un 20% más rígido in situ en la dirección “X” y 13% más rígido in-situ en la dirección “Y” que se predijo originalmente por el modelo de elementos finitos (Bashor & Bobby, 2012).

El presente trabajo de investigación busca determinar los desplazamientos inducidos por el viento en edificios. Para el análisis numérico se somete a cargas de viento de acuerdo a la E-020 del RNE (*Reglamento Nacional de Edificaciones*) y el ASCE 7-16 en el capítulo 26, Estas normativas se utilizaron para verificar las derivas máximas y de esta forma controlar que se encuentren dentro de lo permitido, ya que este código es considerado en la mayoría de los países para el diseño por viento. Para analizar los desplazamientos por efectos del viento fueron necesarios obtener datos de campo como la velocidad del viento, y respuestas de desplazamiento estructural, los cuales fueron monitoreados de forma continua desde un sensor de desplazamiento y un anemómetro. Posteriormente se estimaron los desplazamientos con un software por elementos finitos y un análisis detallado de los datos de campo. Finalmente se validó los desplazamientos medidos en campo de los edificios haciendo un comparativo con el análisis numérico por elementos finitos.

San Román-Juliaca es una de las zonas con más presencia de vientos con una velocidad de hasta 130 km/h según el mapa eólico del Perú del RNE E-020. Los sensores de monitoreo en tiempo real deben proporcionar información precisa durante el periodo de evaluación con

fines de medir movimientos (Pieraccini et al., 2004). Para la identificación de características dinámicas en la estructura se utilizan datos de medición de desplazamiento, los sensores de desplazamiento están divididos en dos tipos, de contacto y sin contacto.(Ye et al., 2013). Durante el periodo de monitoreo se utilizó un sensor de desplazamiento de contacto SHOWRANGE modelo VM-6380 con precisión de 0.001- 4.00mm, el cual muestra movimientos en direcciones X e Y.

Por lo tanto, el propósito de la presente investigación es determinar el desplazamiento por efectos del viento en una estructura existente sometida a cargas de viento. El artículo se divide en a) selección de la estructura, b) selección de equipos de medición y software, c) recolección de datos para modelado, d) análisis del comportamiento numérico y real de edificios sometidos a cargas de viento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Instrumentación de medida.

En base a la investigación realizada por (J C Li, S Y Hu, Q S Li, 2021); el presente artículo evaluó dos edificios de mediana altura en el cual se recolectaron datos de campo como la configuración estructural del edificio, velocidad del viento y desplazamientos en periodos de tiempo corto, posteriormente se realizó el modelamiento numérico en un software por computadora para luego realizar las comparaciones de ambos resultados. Estos se detallan en los siguientes apartados.

2.1.1. Edificios en estudio

Los edificios a evaluar tienen la denominación de A y B el primero A consta de 8 niveles, 24.50 m de altura, 13.15 m de frentera por 14.05 m de fondo y el segundo B de 6 niveles, 18.5 m de altura, 7.25 m de frentera por 15.10 m de fondo; se asume que son del sistema

estructural aporticado, estos edificios están ubicados en el centro de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román - Región Puno, véase en la figura 1 la ubicación de las estructuras, las formas rectangulares de color negro muestran la ubicación de los edificios A y B.



Figura 1. Plano de Ubicación de edificios A y B

Por cada edificio se realizó una evaluación de campo para la elaboración de los planos como columna, viga y demás elementos estructurales. Los planos de cada estructura se muestran en la figura 2 y 3, en la figura 2 se observa la vista en planta del edificio A, en la figura 3 se muestra la vista en planta de del edificio B, ambos de geometría rectangular.

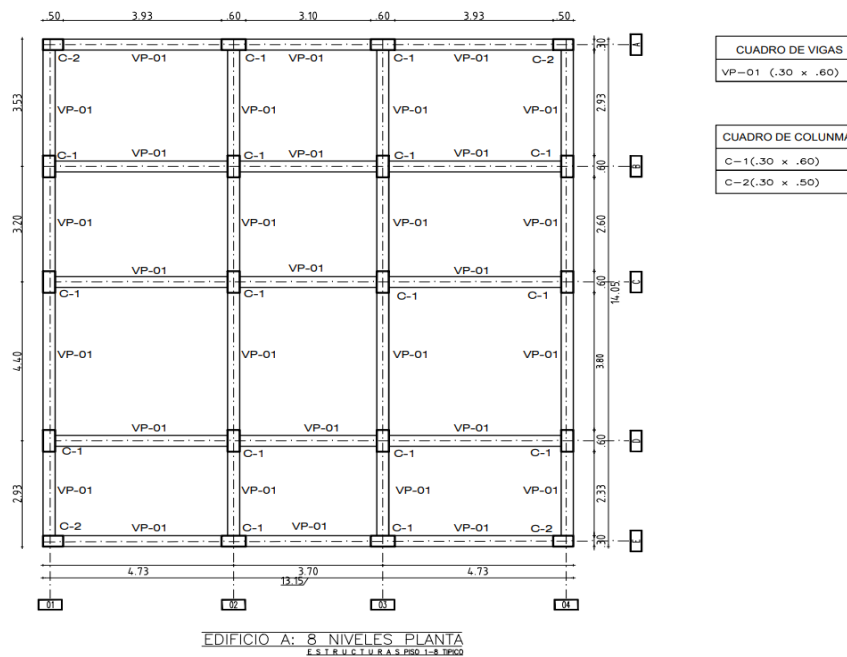


Figura 2. Plano en planta Edificio A

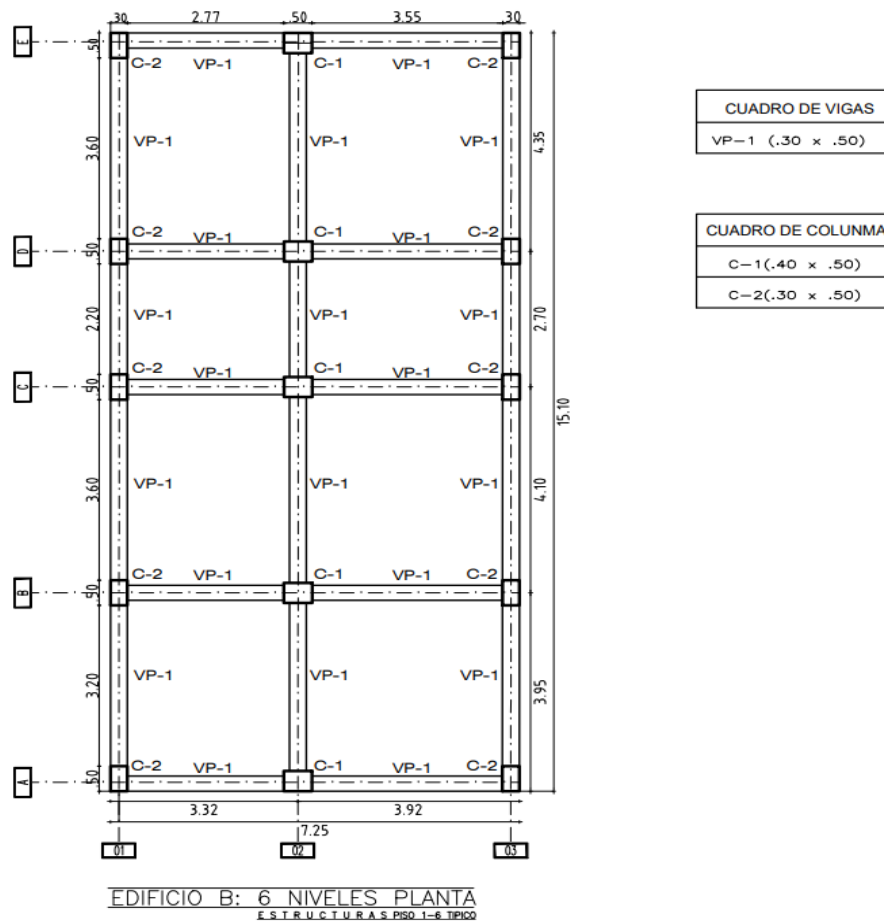


Figura 3. Plano en planta Edificio B

Los edificios en esta investigación fueron seleccionados considerando los aspectos mencionados según (Bashor & Bobby, 2012) en el cual se considera a los edificios más representativos de los sistemas estructurales más comunes en este tipo de edificaciones. Se consideró estudiar dos edificios en el centro de la ciudad de Juliaca, los cuales fueron seleccionados considerando la tipología representativa de edificios en esta ciudad, a continuación, se observa en la figura 4 los edificios estudiados A y B.



Figura 4. Edificios A de 8 niveles y Edificio B de 6 niveles

2.1.2. Selección de equipos de medición

Para la medición real en esta investigación se utilizaron equipos de contacto SHOWRANGE modelo VM-6380 con precisión de 0.001- 4.00mm para determinar el desplazamiento en dos direcciones X e Y en ambas estructuras de estudio, este equipo tiene la capacidad de lecturar y almacenar información en periodos de tiempo de 15 minutos obteniendo el valor máximo ocurrido. Para determinar la velocidad del viento y la dirección de la misma se utilizó anemómetros digitales Benetech modelo GT-8907 que tienen la capacidad de almacenar información a cada segundo, los cuales muestran los resultados en unidades de km/h. Los equipos para el monitoreo de viento y desplazamiento se muestran en la siguiente figura 5.



Figura 5. Equipos para monitoreo de desplazamiento y de viento

2.1.3. Selección de software

El comportamiento numérico de la estructura fue determinada en el software que utiliza el método de elementos finitos FEM Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021, el cual es capaz de modelar, analizar y dar respuestas estructurales como el desplazamiento por viento, cumpliendo las normativas vigentes nacionales e internacionales.

2.2. Recolección de datos en campo

La investigación realizada por (Fubin Chen, Q.S. Li, J.R. Wu, J.Y. Fu, 2011) indica que, para investigar los efectos del viento en la estructura, se instaló un sistema de monitoreo de viento y desplazamiento estructural del edificio, se colocó un anemómetro en la parte superior, para medir las respuestas estructurales inducidas por el viento, se instaló un acelerómetro, que fue utilizado para medir el movimiento periódico y de esta manera obtener el desplazamiento ocurrido en el último piso de cada estructura, de esta manera se obtuvieron simultáneamente la velocidad del viento y las respuestas estructurales de desplazamiento inducidas por el viento. En la figura 6 se muestra el esquema de monitoreo.

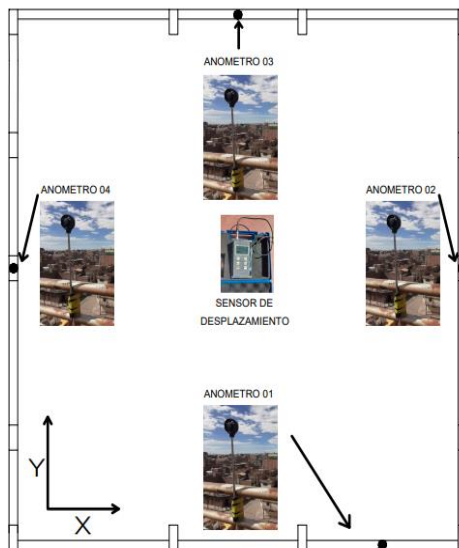


Figura 6. *Matriz de sensores generalizadas en plano de planta genérico con fotografías insertadas del equipo.*

En el presente trabajo de investigación se instaló un sistema de monitoreo de viento y desplazamiento los cuales fueron verificados de manera continua durante los días 07,08,09 y 12 del mes de julio como se muestra en la figura 7. El sistema de monitoreo de viento consta de 4 anemómetros digitales, ubicados en la parte frontal, posterior y laterales de la azotea de cada edificio, las lecturas se realizaron en horas de mayor presencia de viento, los cuales ocurrieron durante las tardes en esta temporada, por lo cual se consideró realizar las mediciones desde las 11:00 am hasta las 6:30 pm. Las lecturas de velocidad del viento por el anemómetro en tiempo real fueron registradas en una computadora dando resultados por cada segundo, finalmente se realizaron lecturas manuales en periodos de 15 minutos considerando la velocidad máxima durante este lapso de tiempo. El sistema de monitoreo de desplazamiento se instaló en la parte central del último nivel de cada edificio, para las direcciones X e Y en los edificios en estudio se consideró dirección X la parte frontal e Y la parte lateral izquierda en ambos edificios, se programó para que el equipo realice lecturas de desplazamiento en periodos cortos de 15 minutos almacenando el valor máximo durante este tiempo, para luego registrar manualmente estos datos; el tiempo de evaluación con este

equipo fue desde las 11:00 am hasta las 6:30 pm. Durante el monitoreo de desplazamientos ocurrieron eventos particulares como vibraciones por tráfico pesado los cuales fueron registrados y no fueron considerados en los análisis en esta investigación. Estos datos obtenidos fueron tomados para realizar los análisis reales y numéricos.



Figura 7. *Mediciones y recolección de datos en campo*

2.3. Recolección de información para modelado

Se realizó el modelado en 3D de todos los elementos estructurales del edificio A y B basados en el diseño estructural y la información considerada sobre la masa y rigidez de las estructuras en estudio, los elementos estructurales reales fueron insertados en el software de la siguiente forma: columnas y vigas como elemento frame, losas aligeradas como elementos ortótropos.

2.3.1. Consideraciones de modelado

El valor de módulo de elasticidad del concreto asumido es de $218819.79 \text{ kg/cm}^2$ considerando la resistencia de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, los elementos estructurales como columnas y vigas se modelaron en base a las mediciones realizadas en campo.

Con las velocidades del viento obtenidas en ambas direcciones se realizó la conversión de velocidad de viento obtenido en campo a velocidad de diseño según RNE E-020 el cual se obtiene utilizando la siguiente ecuación 1:

$$V_h = V(h/10)^{0.22} \quad (1)$$

Donde:

V_h: Velocidad de diseño en la altura h en km/h.

V: Velocidad de diseño hasta 10m de altura en km/h.

h: Altura sobre terreno en metros.

$$P_h = 0.005 C V_h^2 \quad (2)$$

A continuación, realizamos la obtención de carga exterior de viento el cual se calcula con la siguiente ecuación 2:

Donde:

Ph: Presión o succión del viento a una altura h en kg/m².

C: Factor de forma adimensional de acuerdo al tipo de construcción.

V_h: Velocidad de diseño a la altura h, en kilómetros por hora.

La obtención de la presión y luego la carga de viento en el edificio se hizo la simulación de la carga de viento en el programa Robot Structural 2021 en las direcciones X e Y, considerando el perfil del viento según la norma ASCE.

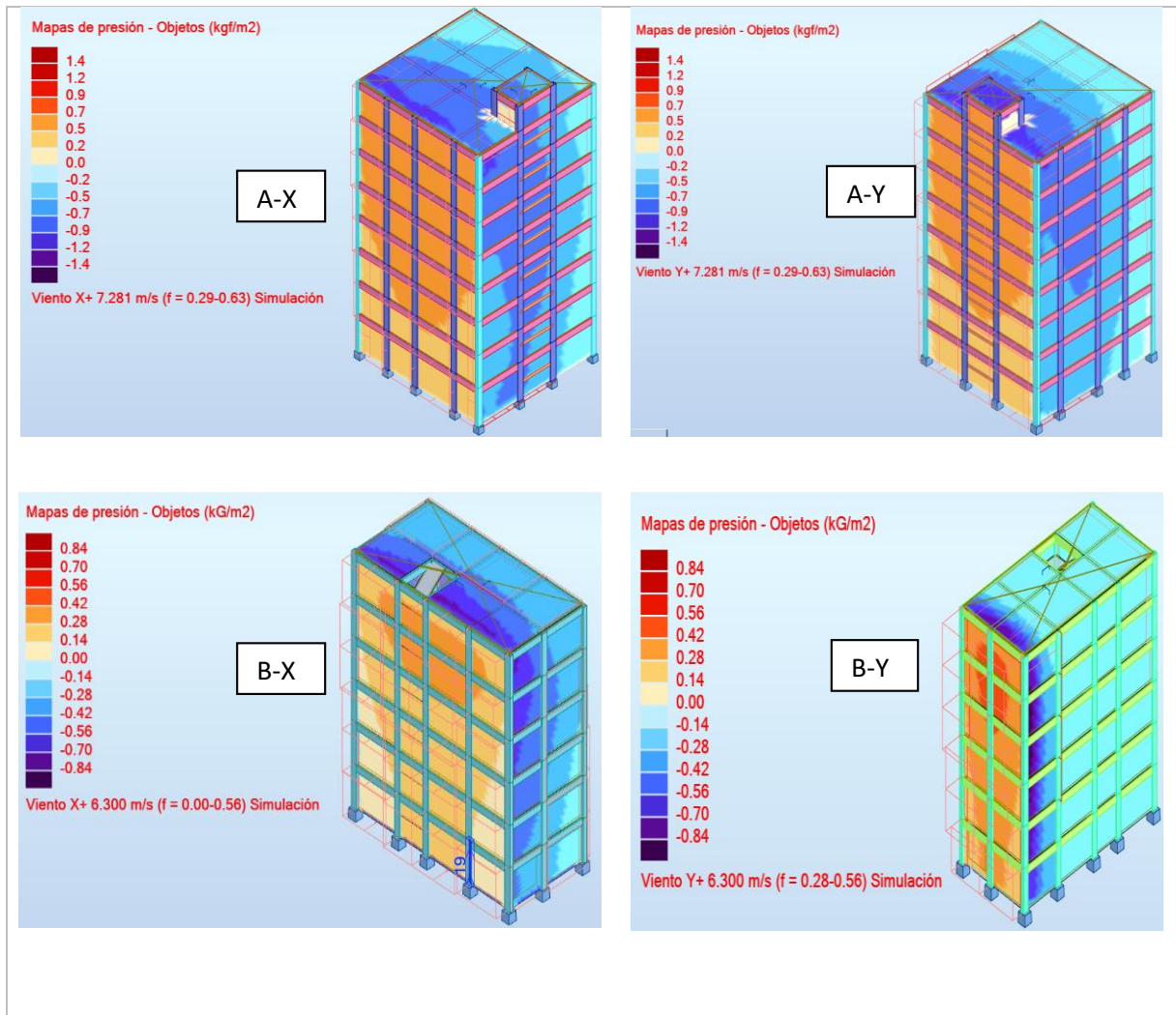


Figura 8. Simulación de cargas de viento en edificios A y B en ambas direcciones con el programa Robot Structural 2021

3. RESULTADOS

3.1. Análisis numérico

El modelado numérico realizado con la información recolectada en campo se muestra en la siguiente figura 9 donde se muestran los elementos estructurales tipo frame en ambos edificios en estudio.

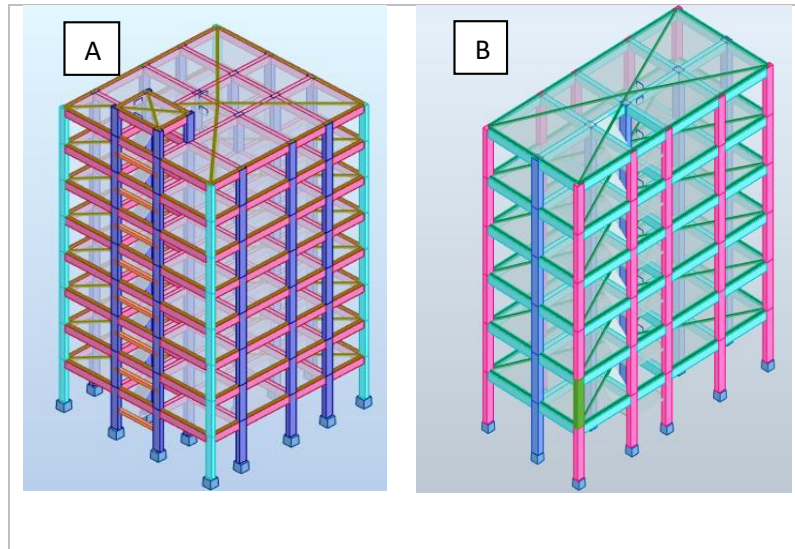


Figura 9. Modelado en Robot Structural 2021 de edificios A y B

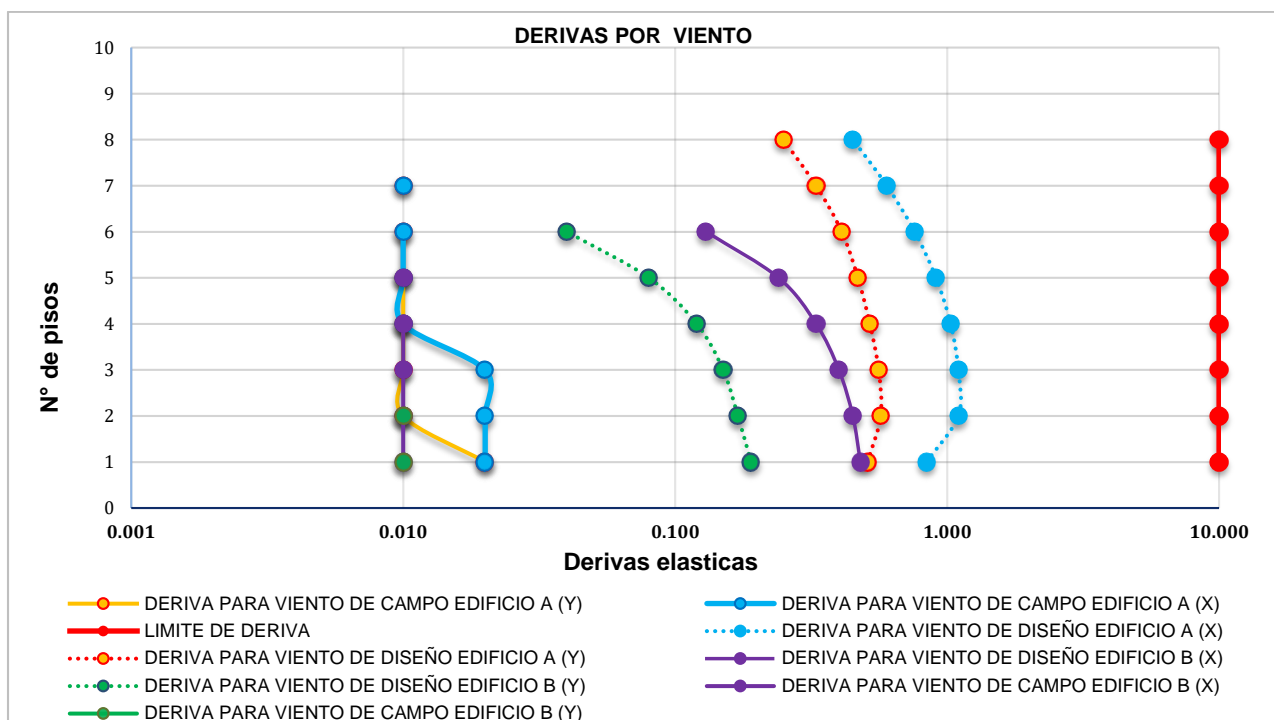
3.1.1. Derivas por viento

Según el Código ASCE 7-16, la deriva máxima para condición de servicio es $1/1000 \approx 0.001$ por lo tanto, en la tabla 1. Los resultados del análisis numérico indican que las derivas de entrepiso están dentro del rango permitido según normativa anterior. Se verifica que en la dirección Y se tiene mayor rigidez a cargas de viento respecto a la dirección X.

Tabla 1. Deriva por viento del edificio A y B

Edificio	Nivel	Deriva "X" para viento de diseño (130 km/h)	Deriva "Y" Para Viento de Diseño (130 Km/h)	Deriva "X" Para Viento de Campo (26 Km/h)	Deriva "Y" Para Viento de Campo (26 Km/h)	Deriva "X" Para Viento de Campo (23 Km/h)	Deriva "Y" Para Viento de Campo (23 Km/h)	Deriva Límite
A	P8	0.84	0.51	0.00	0.00	-	-	10.00
	P7	1.10	0.57	0.01	0.01	-	-	10.00
	P6	1.10	0.56	0.01	0.01	-	-	10.00
	P5	1.03	0.52	0.01	0.01	-	-	10.00
	P4	0.91	0.47	0.01	0.01	-	-	10.00
	P3	0.76	0.41	0.01	0.02	-	-	10.00
	P2	0.60	0.33	0.01	0.02	-	-	10.00
	P1	0.45	0.25	0.02	0.02	-	-	10.00
B	P6	0.71	2.30	-	-	0.00	0.00	10.00
	P5	0.50	1.50	-	-	0.01	0.00	10.00
	P4	0.42	1.22	-	-	0.01	0.00	10.00
	P3	0.33	0.96	-	-	0.01	0.00	10.00
	P2	0.23	0.66	-	-	0.01	0.01	10.00
	P1	0.13	0.33	-	-	0.01	0.01	10.00

Nota: Los valores presentados en la tabla 1 están multiplicados por (10000)



Nota: Los valores presentados en la tabla 1 están multiplicados por (10000)

Figura 10. Derivas por cargas de viento edificio A y B

3.1.2. Desplazamientos por viento

En la tabla 2 se observa los resultados numéricos y reales de los desplazamientos de entre pisos de cada nivel de los edificios A y B, obteniendo un desplazamiento mayor en el último piso en ambos casos los cuales tienen un gráfico como se muestra en la figura 11.

Tabla 2. Desplazamiento numérico y real para velocidad del viento de 26 km/h en el edificio A y 23 km/h en el edificio B.

Piso	Desplazamiento Numérico Edificio A		Desplazamiento Real Edificio A		Desplazamiento Numérico Edificio B		Desplazamiento Real Edificio B	
	"X"	"Y"	"X"	"Y"	"X"	"Y"	"X"	"Y"
P1	0.008	0.006	-	-	0.005	0.002	-	-
P2	0.013	0.010	-	-	0.009	0.003	-	-
P3	0.018	0.014	-	-	0.012	0.005	-	-
P4	0.023	0.017	-	-	0.015	0.006	-	-
P5	0.027	0.020	-	-	0.018	0.006	-	-
P6	0.030	0.023	-	-	0.019	0.007	0.013	0.003
P7	0.032	0.025	-	-	-	-	-	-
P8	0.033	0.026	0.027	0.019	-	-	-	-

Nota: Los valores representados en la tabla están en (mm)

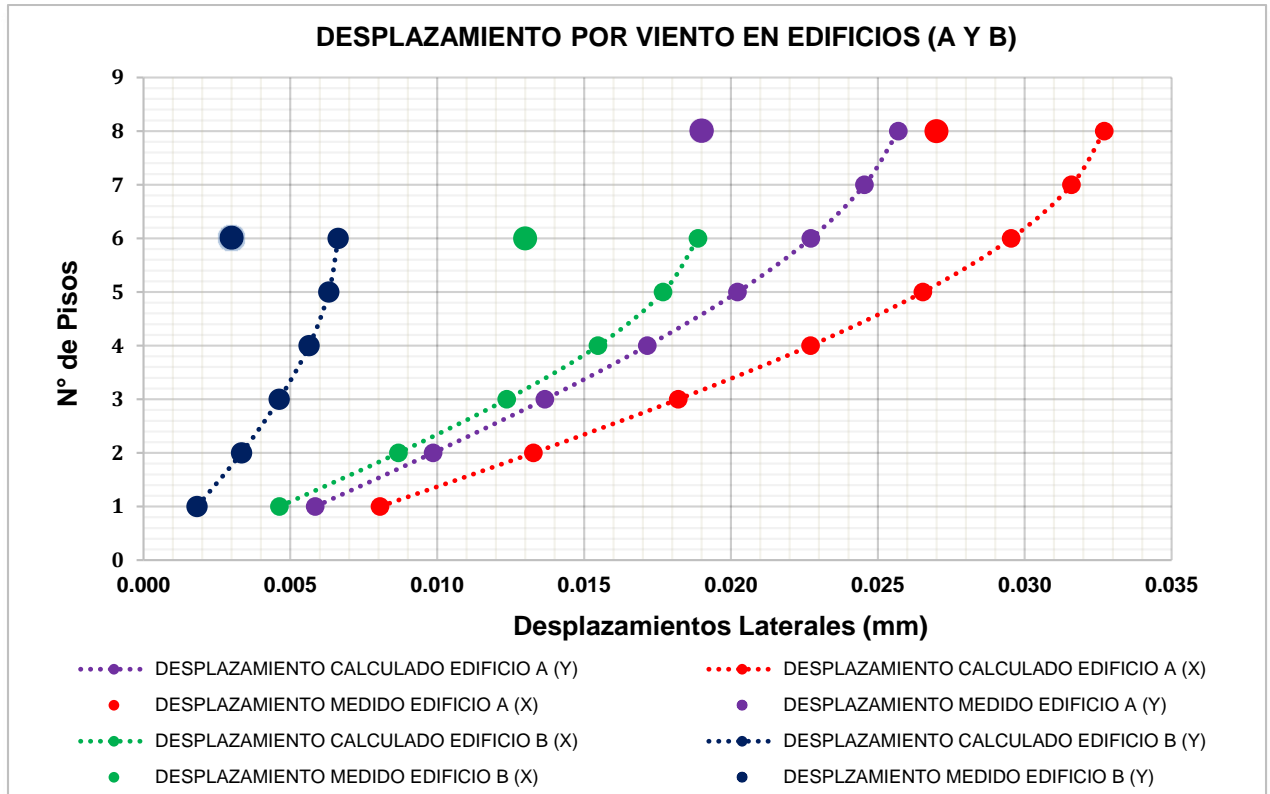


Figura 11. Desplazamiento por cargas de viento edificio A y B

3.2. Análisis real

3.2.1. Velocidad del viento

Los datos brindados por los 4 anemómetros instalados en el último nivel de la estructura muestran una mayor velocidad de viento ocurrido el día 07 de julio, registrando un valor máximo de 26 km/h para el edificio A por otra parte, las pruebas realizadas en el edificio B registraron el mayor valor de velocidad de viento el día 12 de julio mostrando un valor de 23 km/h. A continuación, se muestran los gráficos de velocidades de viento máximo registradas en ambos edificios:

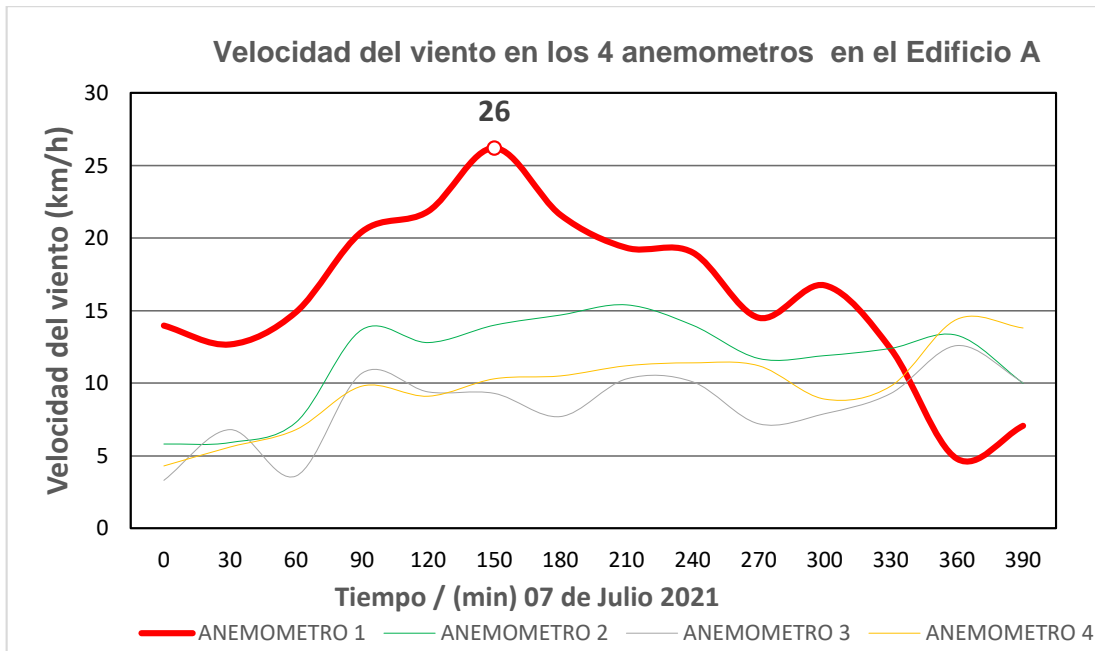


Figura 12. Velocidad máxima 26km/h edificio A

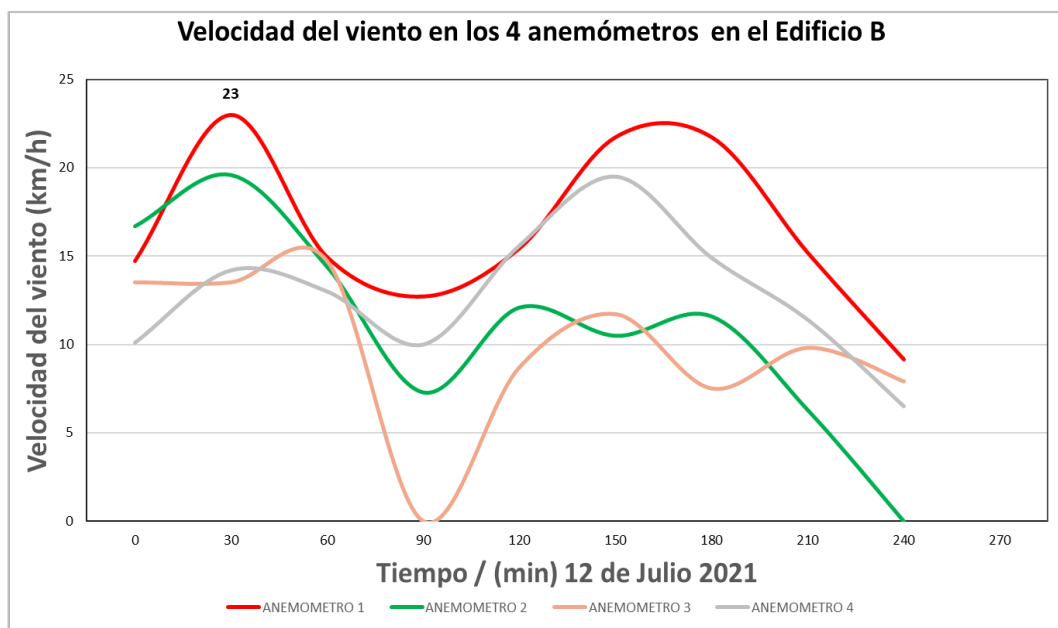


Figura 13. Velocidad máxima 23km/h edificio B

3.2.2. Desplazamiento Real

El sensor de desplazamiento instalado en el centroide de los edificios brindó información en periodos cortos de 15 minutos obteniendo mayor desplazamiento en instantes que se

presentó la mayor velocidad de viento que se muestran en la figura 12 y 13, El sensor de contacto utilizado reveló valores de desplazamiento en el edificio A, se tiene como resultado en el eje “X” 0.027mm y en el eje “Y” 0.019mm; en el edificio B se obtuvo desplazamientos de 0.013mm en el eje “X” y 0.003 en el eje “Y”, tal como se muestran en la tabla N° 3

4. DISCUSIONES

Uno de los objetivos principales de la medición en campo a escala real es validar las suposiciones realizadas en el cálculo de modelado de elementos finitos en el diseño, mediante comparaciones de sus predicciones y valores in situ, para la velocidad de diseño se utilizó el RNE E-020 y para la deriva máxima para condición de servicio se utilizó Código ASCE 7-16.

Las derivas de entrepiso inducidos bajo las acciones del viento de 26 km/h en el edificio A y de 23 km/h en el edificio B, se presentan respectivamente, en las tablas 1 y 2. Afirmando que las derivas de entrepiso están dentro del rango permitido según el código ASCE 7-16. El edificio A, en la dirección X es más rígido que en la dirección Y, se da por la configuración estructural que tiene en planta, y por la ubicación de los elementos estructurales.

Se realizó la verificación de la deriva elástica por cargas de viento en los edificios A y B, como conclusión para el edificio A, la deriva para viento de diseño en la dirección X es de 4.5% y dirección Y es de 2.5%, ambos respecto a la deriva por cargas de servicio, la deriva para viento medido en campo en la dirección X es de 0.2% y dirección Y es de 0.1% respectos a la deriva por cargas de servicio según el ASCE 7-16; para el edificio B la deriva por viento de diseño en la dirección X es de 1.3%, y dirección Y es de 0.4%, ambos respecto a la deriva por cargas de servicio, la deriva para viento medido en campo en la dirección X

es de 0.2% y dirección Y es de 0.001% respectos a la deriva por cargas de servicio según el ASCE 7-16.

Las predicciones de diseño en la tabla 2 muestra que los desplazamientos teóricos calculado del edificio A, es de 0.033mm en la dirección “X” frente a la medición del desplazamiento en campo de 0.027mm, y en la dirección “Y” el desplazamiento teórico calculado es de 0.026mm, y lo medido en el campo es de 0.019mm, estos resultados indican una mayor rigidez in situ y en ambas direcciones, como muestra en la tabla 3 y figura 11. La diferencia en los resultados del análisis numérico y las mediciones de campo pueden ser debido a grietas que aún no se han observado en la vida útil de este edificio según (Tracy Kijewski-Correa, M. ASCE 1, 2007) asimismo es posible que el módulo de elasticidad in situ sea mayor que el supuesto en el modelo de EF. Conclusiones a las que también llegaron (Bashor & Bobby, 2012). Se han explorado y seguirán explorando una variedad de fuentes para determinar las causas de esta discrepancia, desde compensaciones rígidas en el modelado.

Existe una variación de desplazamientos entre lo real y numérico, esto puede verse afectado por la rigidez de escaleras que no fueron considerados en el modelado, las falta de juntas sísmicas en edificaciones cercanas a los edificios en estudio los cuales podrían aportar rigidez a los edificios, la existencia de edificaciones alrededor de las estructuras estudiadas podrían disminuir las presiones de viento en los niveles inferiores, posibles elementos estructurales que no fueron percibidos al momento de recolectar las dimensiones reales, posiblemente el módulo de elasticidad del concreto in situ sea mayor al asumido en el modelado.

Existe una gran necesidad considerable de conocer los procesos utilizados para predecir el comportamiento de los edificios de concreto armado inducidos a la carga de viento en campo

y validar los resultados de análisis numérico, así como el desplazamiento calculado y medido en campo.

Tabla 3. Comparación de los desplazamientos, medidas en campo y los resultados computacionales.

Edificios	Pisos	Medido en	Calculado	Medido en	Calculado	Diferencia	Diferencia
		Campo UX (mm)	UX (mm)	Campo UY (mm)	UY (mm)	UX (%)	UY (%)
Edificio A	Piso 8	0.027	0.033	0.019	0.0026	17.5	26.1
Edificio B	Piso 6	0.013	0.019	0.003	0.007	54.8	31.1

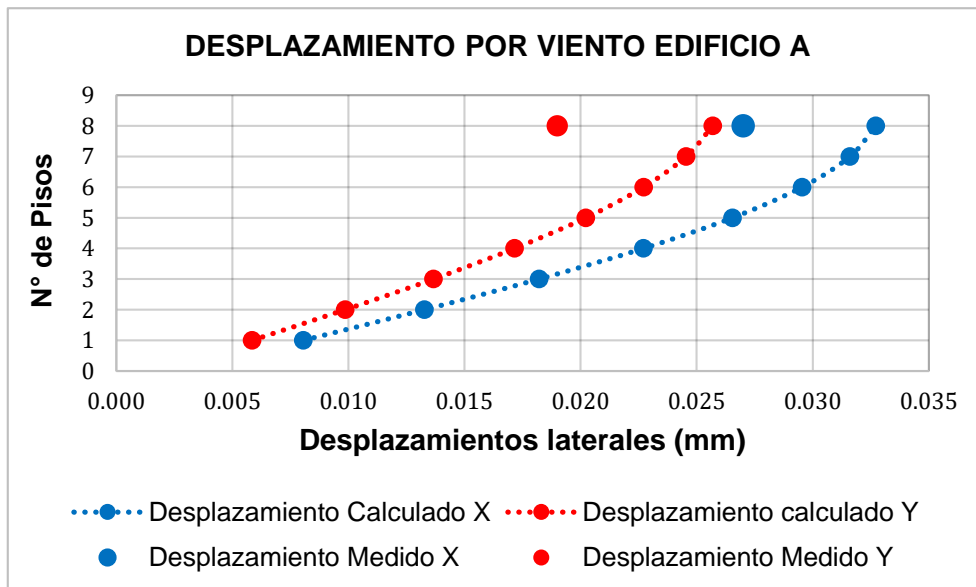


Figura 14. Desplazamiento por viento edificio A

El edificio B calculado en el modelo de elementos finitos tiene un desplazamiento de 0.019mm en la dirección X y 0.007 mm en Y, las mediciones de campo resultan ligeramente menores, en X es de 0.013mm y 0.003mm en la dirección Y. como se muestra en la tabla 3 y figura 15.

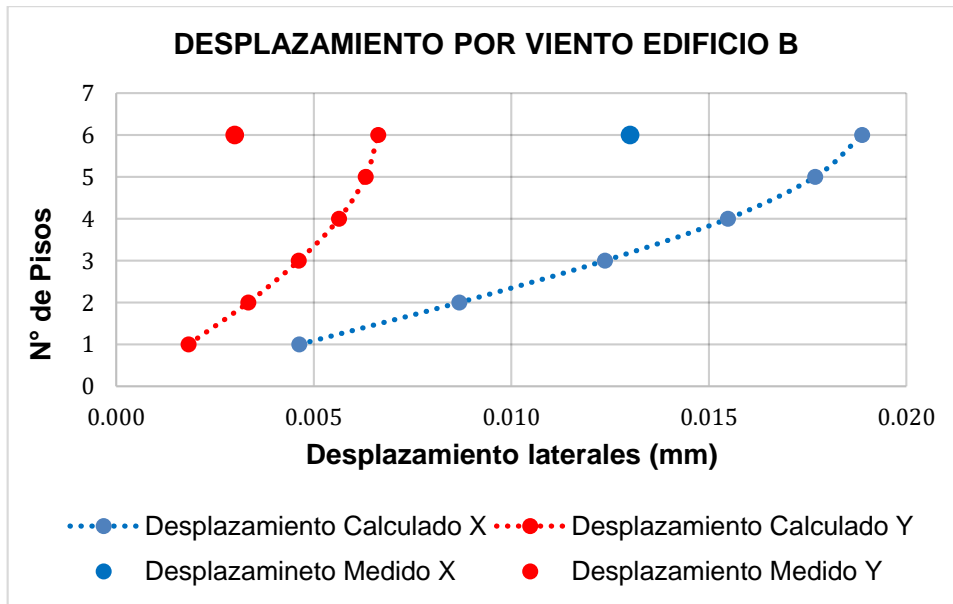


Figura 15. Desplazamiento por viento edificio B

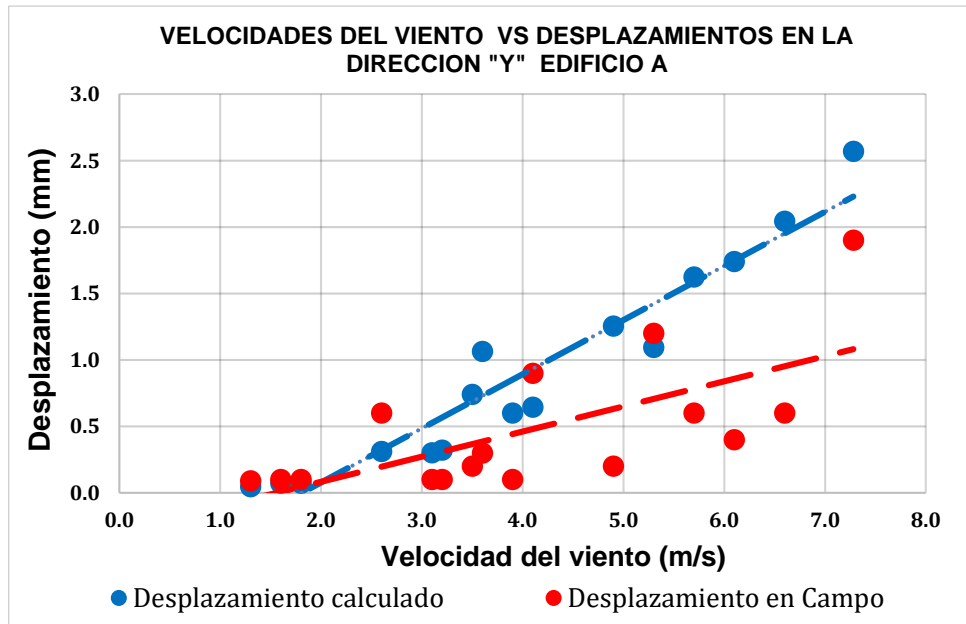


Figura 16. Desplazamiento en X por viento del edificio "A" a frente a diferentes velocidades

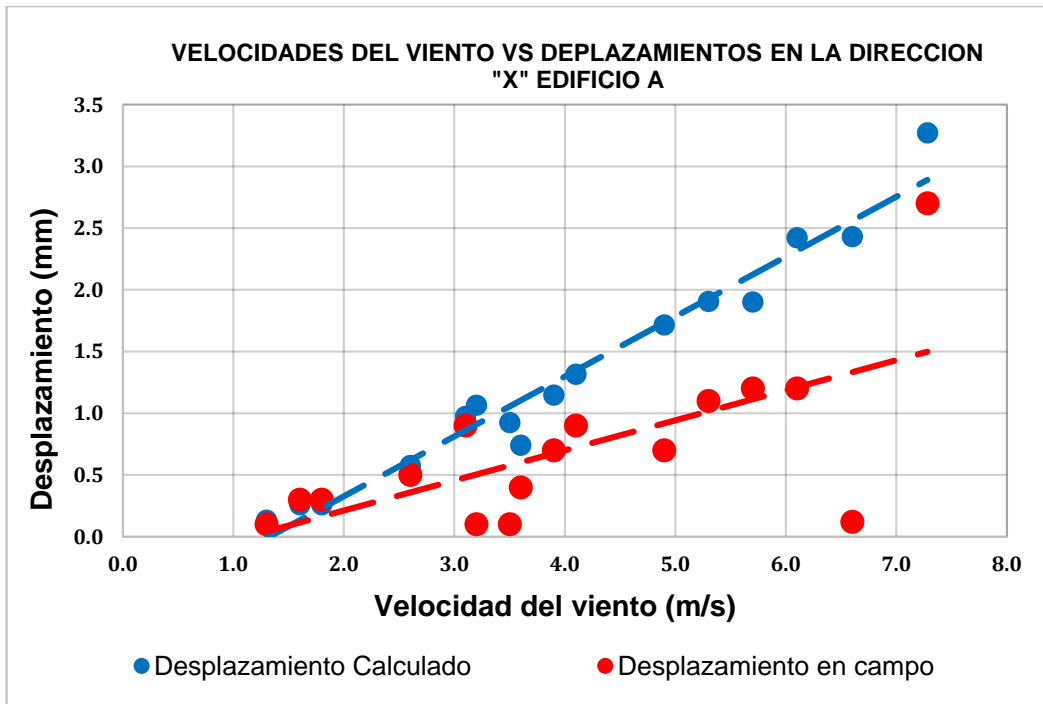


Figura 17. Desplazamiento en Y por viento edificio “A” a diferentes velocidades.

4.1. Interpretación de resultados

La variabilidad de los resultados en el análisis numérico de elementos finitos con respecto a la medición en campo se da por numerosos factores. Por ejemplo, las características de los materiales, la antigüedad del edificio, el grado de agrietamiento, los efectos de la temperatura y los errores que se dan en el modelado y análisis, entre otros. Los efectos de la temperatura en la medición de campo están fuera del alcance en este estudio.

Como se predijo en el diseño de los edificios, la respuesta estructural como es el desplazamiento, varía de acuerdo a la velocidad del viento como se detalla en (S. Campbell, KCS Kwok, Pensilvania Hitchcock, 2005) .En el edificio A en diferentes velocidades de viento medidos in situ tenemos diferentes desplazamientos en ambas direcciones que están dispersos alrededor de la línea de tendencia del análisis numérico como se muestra en el figura 16 y 17. Estos resultados indican que los desplazamientos medidos a escala real a lo largo de diferentes velocidades de viento, son generalmente más bajos que las predicciones

en el modelado de elementos finitos. Según (Kijewski & Kochly, 2007), esto ocurre por la influencia del entorno y la geometría estructural.

5. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de desplazamientos reales y numéricos de dos edificios de mediana altura, en el edificio A el cual consta de 8 niveles de 24.50 m de altura, 13.15 m de frentera por 14.05 m de fondo y el edificio B de 6 niveles, 18.5 m de altura, 7.25 m de frentera por 15.10 m de fondo, el material de ambas estructuras es de concreto armado $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$

Se determinó que los desplazamientos calculados en el software Robot Structural para el edificio A en el eje X tendría una diferencia de 17.5% y en el eje Y una diferencia de 26.1% respecto a los desplazamientos obtenidos en campo; para el edificio B el desplazamiento calculado en el eje X tendría una diferencia 54.8% y en el eje Y una diferencia de 31.1% respectos los desplazamientos obtenidos en campo.

El análisis de los desplazamientos inducidos por el viento en los edificios estudiados en ambas direcciones indica una mayor rigidez in situ al análisis numérico. En el edificio A el desplazamiento medido en la dirección X es 0.027mm y el calculado es 0.033mm, asimismo en la dirección Y el medido es 0.019 mm y el calculado es 0.026mm, en el edificio B el desplazamiento medido en la dirección X es 0.013mm y el calculado es 0.019mm, asimismo en la dirección Y el medido es 0.003 mm y el calculado es 0.007 mm. La diferencia en los resultados del análisis numérico y las mediciones de campo pueden ser debido a grietas que aún no se han observado en la vida útil de este edificio y es posible que el módulo de elasticidad in situ sea mayor que el supuesto en el modelo, también no se considera la influencia de los edificios a su alrededor.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Fangwei Hou, P. P. S. (2018). A time-domain method for predicting wind-induced buffeting response of tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 182, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.09.013>
- Fubin Chen, Q.S. Li, J.R. Wu, J.Y. Fu. (2011). Wind effects on a long-span beam string roof structure: Wind tunnel test, field measurement and numerical analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(10), 1591–1604. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.04.003>
- J C Li, S Y Hu, Q S Li. (2021). Comparative study of full-scale and model-scale wind pressure measurements on a gable roof low-rise building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 208, 104448. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104448>
- Jun Yi, Q. S. L. (2015). Wind tunnel and full-scale study of wind effects on a super-tall building. *Journal of Fluids and Structures*, 58, 236–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2015.08.005>
- Li, X., Yu, X., Li, Q. S., & Allsop, A. (2021). Field measurement and validation of structural dynamic parameters of skyscrapers under super typhoon excitation. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 11(3), 609–627. <https://doi.org/10.1007/s13349-021-00470-3>
- Xiao Li & QS Li, 2019. Observations of typhoon effects on a high-rise building and verification of wind tunnel predictions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 184, 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.11.026>
- Pieraccini, M., Luzi, G., Mecatti, D., Fratini, M., Noferini, L., Carissimi, L., Franchioni, G.,

- & Atzeni, C. (2004). Remote sensing of building structural displacements using a microwave interferometer with imaging capability. In *NDT & E International* (Vol. 37, Issue 7, pp. 545–550). <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2004.02.004>
- Robertson, L. E., & Naka, T. (1980). *Tall Building Criteria and Loading*. ASCE Publications.
- RNE (2018). Norma Técnica E.020 Cargas. Reglamento Nacional de Edificaciones, 21(12-13). Obtenido de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366640/50%20E.020%20CARGAS.pdf>
- Ye, X. W., Ni, Y. Q., Wai, T. T., Wong, K. Y., Zhang, X. M., & Xu, F. (2013). A vision-based system for dynamic displacement measurement of long-span bridges: algorithm and verification. In *Smart Structures and Systems* (Vol. 12, Issue 3_4, pp. 363–379). https://doi.org/10.12989/sss.2013.12.3_4.363
- Rachel Bashor y Sarah Bobb. (2012). Full-scale performance evaluation of tall buildings under wind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. J. Eng. Ind. Aerodyn. 104-106, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.04.007>
- Tracy Kijewski-Correa, M.ASCE 1. (2007). Validación de la respuesta de edificios altos inducida por el viento: sinopsis del programa de monitoreo a gran escala de Chicago. *Revista de ingeniería eólica y aerodinámica industrial* 95, 1176–1198. doi:10.1016 / j.jweia.2007.02.002

ANEXOS

ANEXOS 1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Revista Ingeniería de Construcción
ISSN: 0718-5073

HOME ABOUT SEARCH CURRENT ARCHIVES AHEAD OF PRINT

Home > User > Author > Submissions > #1633 > Summary

SUMMARY REVIEW EDITING

Submission

Authors	Saul Thaquima Chuctaya Thaquima Chuctaya, Jorge Shirosky Turpo Quispe, Yhon Yauri Miranda, Herson Duverly Pari Cusi
Title	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO NUMÉRICO Y REAL DE EDIFICIOS SOMETIDOS A CONDICIONES DE VIENTO EN LA LOCALIDAD DE SAN ROMÁN.
Original file	1633-8639-2-SM.DOCX 2023-06-18
Supp. files	None ADD A SUPPLEMENTARY FILE
Submitter	yhon yauri miranda
Date submitted	June 18, 2023 - 09:50 PM
Section	Original Research
Editor	Ximena Araya Gallardo

Status

Status	In Review
Initiated	2023-06-18
Last modified	2023-06-18

Search Keywords [] Search

- Submit a manuscript
- Useful author info
- User Home
- Logout

Language

Keywords cloud

Brazil Bridges Concrete Seismic vulnerability bridges compressive strength concrete construction corrosion degradation design durability energy efficiency evaluation mechanical properties permeability quality reliability seismic vulnerability sustainability water absorption

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Revista Ingeniería de Construcción
ISSN: 0718-5073

HOME ACERCA DE BUSCAR ACTUAL ARCHIVO YA DISPONIBLE

Inicio > Usuario > Autor > Envíos > #1633 > Revisar

RESUMEN REVISAR EDICIÓN

Envío

Autores	Haga clic en Descargar para guardar Jorge Shirosky Turpo Quispe - Yhon Yauri Miranda mp3 youtube com
Título	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO NUMÉRICO Y REAL DE EDIFICIOS SOMETIDOS A CONDICIONES DE VIENTO EN LA LOCALIDAD DE SAN ROMÁN.
Sección	Investigación original
Editor	Ximena Araya Gallardo

Revisión por pares

La ronda 1

Versión de revisión	1633-8640-1-RV.DOCX 2023-06-18
Iniciado	—
Última modificación	—
archivo subido	Ninguno

Search Keywords [] Buscar

- Enviar un manuscrito
- Información útil del autor.
- Inicio del usuario
- Cerrar sesión

Idioma

Nube de palabras clave

Brasil Puentes Concreto vulnerabilidad sísmica puentes resistencia a la compresión construcción de concreto corrosión degradación diseño durabilidad eficiencia energética evaluación propiedades mecánicas permeabilidad calidad confiabilidad vulnerabilidad sísmica sustentabilidad absorción de agua

-Captura de pantalla de la web “Revisión por pares”