

Evaluation of wind pressure in low-rise buildings with full-scale metal roofs in Juliaca city

Evaluación de la presión del viento en edificios de poca altura con coberturas metálicas a escala real en la ciudad de Juliaca

Pari Cusi, Herson Duberly*¹, Itusaca Maldonado, Dianet R.*, Choquehuanca Yapura, Eli R.*, Montesinos Tamara, Rody S.*,

* Universidad Peruana Unión, Lima, Perú

Fecha de Recepción: 10/11/2022

Fecha de Aceptación: 31/01/2023

Fecha de Publicación: 30/12/2023

PAG: 397-418

Abstract

The study of the loads resulting from the action of the wind in buildings is one of the relevant aspects of structural design, for which its correct consideration in the design, as well as the study of real cases, adds great value to the field of engineering. Civil construction. In this sense, the present work was developed in order to evaluate wind pressure in low-rise buildings with full-scale metal roofs in the city of Juliaca. It was quantitative and experimental, where, as the object of study, they took 3 structures, which were evaluated from the natural ground level to the top of the coverage; being the following: Coliseum of the University Peruana Unión [UPeU], 13.13 meters high with parabolic coverage; Los Uros dining room of the University Peruana Unión, 4.75 meters high with one water roof and; Grass field of the University Peruana Unión of 7.30 meters high with gabled coverage. Data collection and recording was performed at intervals of 30 minutes, for a period of 12 hours, in an arrangement of 7 rows by 6 columns, for each coverage, where 840 reading data were the speed of wind obtained from the anemometers digital installed in the coverages. As a result of the statistical analysis through the application of the Correlation and linear regression method, it was obtained that the 3 evaluated structures comply with the parameters established in the Peruvian Technical Standard E-020 of the National Building Regulations for the design of wind loads.

Keywords: Structure; load; wind; metallic cover.

Resumen

El estudio de las cargas producto de la acción del viento en edificaciones es uno de los aspectos relevantes del diseño estructural, por lo cual, su correcta consideración en el diseño, así como, el estudio de casos reales aporta un gran valor al campo de la construcción civil. En este sentido, se desarrolló el presente trabajo con el fin de evaluar presión del viento en edificios de poca altura con coberturas metálicas a escala real en la ciudad de Juliaca. El mismo fue de corte cuantitativo y de tipo experimental, donde, como objeto de estudio de se tomaron 3 estructuras, las cuales fueron evaluados desde el nivel terreno natural hasta la cúspide la cobertura; siendo las siguientes: Coliseo de la Universidad Peruana Unión [UPeU] de 13.13 m de altura con cobertura parabólica; Comedor los Uros de la Universidad Peruana Unión de 4.75 metros de altura con cobertura a una agua y; Cancha Grass de la Universidad Peruana Unión de 7.30 metros de altura con cobertura a dos aguas. La toma y registro de los datos se realizó en intervalos de 30 minutos, por un periodo de 12 horas, en un arreglo de 7 filas por 6 columnas, por cada cobertura, donde se obtuvieron 840 datos de velocidad del viento en los anemómetros digitales instalados en las coberturas. Como resultado del análisis estadístico mediante la aplicación del método de Correlación y regresión lineal se obtuvo que las 3 estructuras evaluadas cumplen con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Peruana E-020 del Reglamento Nacional de Edificaciones para el diseño de cargas por viento. se obtuvo un porcentaje al 95% de confiabilidad de que la correlación de dependencia de la presión de viento es dependiente de la velocidad de viento.

Palabras clave: Estructuras; Carga; Viento; Cobertura metálica.

¹ **Corresponding author:**

Construtechnik SpA., Santiago, CHILE

Corresponding author: hparic@upeu.edu.pe

1. Introducción

Para el diseño de edificaciones y diseño estructural en general, uno de los aspectos de mayor relevancia es la influencia del viento sobre los edificios. Tal como lo expresa el Reglamento Nacional de Edificaciones según la NTP E.020 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ((Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006), pág. 19) toda la edificación que se encuentra expuesta a la acción del viento debe considerarse un diseño estructural de acuerdo a la normativa que se da y que sea capaz de resistir todas las cargas positivas y negativas (presión y succión) producidas por la acción del viento y que actúan en varias direcciones; horizontales y perpendiculares entre sí. Sin embargo, tanto a nivel nacional como a nivel internacional son diversos los eventos inesperados que han generado como consecuencia daños estructurales y colapso de estructuras debido a las cargas del viento. Por solo nombrar algunos casos como en las tormentas de viento en Australia que equivalen al 25 % de las pérdidas económicas ocasionados por los desastres naturales ((Hao y Mark G., 2019), págs. 2-3) y el Huracán Andrews que fue responsable de una pérdida de 20 millones de dólares en el año 1992 en los Estados Unidos (Adnan et al., 2021) así como las estructuras han cedido ante la presión del viento, tenemos al emblemático puente Tacoma de Estados Unidos en el año 1940 ((INSTAINGENIERIA, 2020), pág. 2), el frecuente colapso de torres de transmisión en México en 2013 ((Ibarra y Tapia y, 2014), págs. 1-4), y en el ámbito nacional tenemos; el colapso de estructuras metálicas ocasionadas por el viento en la ciudad de Arequipa por fallas en el diseño ((Morón y Milón, 2019), págs. 27-47), Las edificaciones en la ciudad de Juliaca no están exentas a la acción del viento, debido a que llegan a experimentar velocidades del viento de hasta 126 km/h ((Quiñonez et al., 2019), pág. 2). Esta condición aumenta la exposición de las estructuras, sobre todo aquellas que por sus características propias de construcción o por fallas de diseño presenten mayor vulnerabilidad a las cargas debidas al viento, lo que ocasiona que aumente el riesgo para la vida y salud de las personas, así como para las pérdidas materiales por colapso parcial o total de las estructuras. Este estudio pretende responder la interrogante de ¿Cómo afecta la presión del viento en las coberturas metálicas en edificios de poca altura en la ciudad de Juliaca? Para lo cual, tomando como referencia el trabajo de ((Li et al., 2021), págs. 1-7) y ((Terrés-Nicolí y Mans, 2014), págs. 2-4) se indagará sobre el efecto de la carga del viento para realizar un comparativo de las presiones del mismo sobre edificios de poca altura a gran escala.

2. Metodología y desarrollo

2.1. Descripción de la cobertura metálica

En esta investigación de corte cuantitativo se consideró la influencia del viento sobre las estructuras metálicas de baja altura ((Caracoglia y Jones, 2009), págs. 2-3), focalizando el análisis, en el sistema de cobertura, el cual, expresan investigadores como ((López y Godoy, 2005), págs. 1-6) así como, ((Li y Ellingwood, 2006), págs. 2-3) constituye uno de los aspectos más vulnerables de estas estructuras ante la acción directa del viento. La velocidad del viento fue medida en campo, por lo cual, el diseño del trabajo fue experimental ((Hernández y Mendoza, 2018), pág. 22).

El estudio se desarrolló en edificaciones a escala real pertenecientes a la “Universidad Peruana Unión – Campus Juliaca”. Esta se encuentra localizada en la ciudad de Juliaca a una altura de 3824 m.s.n.m. y pertenece al departamento Puno, Perú; y así conociendo también el análisis realizado para estas estructuras metálicas, dando a conocer los 3 tipos de coberturas para dicho trabajo que se está realizando: Coliseo de la Universidad Peruana Unión con una cobertura de tipo Parabólico que data su construcción en el año 1996 y su última remodelación de cobertura se realizó en el año 2019, el comedor Los Uros de la Universidad Peruana Unión con una cobertura a una agua que data su construcción en el año 2018 y la Cancha de Grass de la Universidad Peruana Unión con una cobertura a dos aguas que data su construcción en el año 2017 y las 3 coberturas se encuentran en uso actualmente. El procedimiento seguido para el estudio fue el mostrado a continuación (Figura 1).

ENGLISH VERSION.....

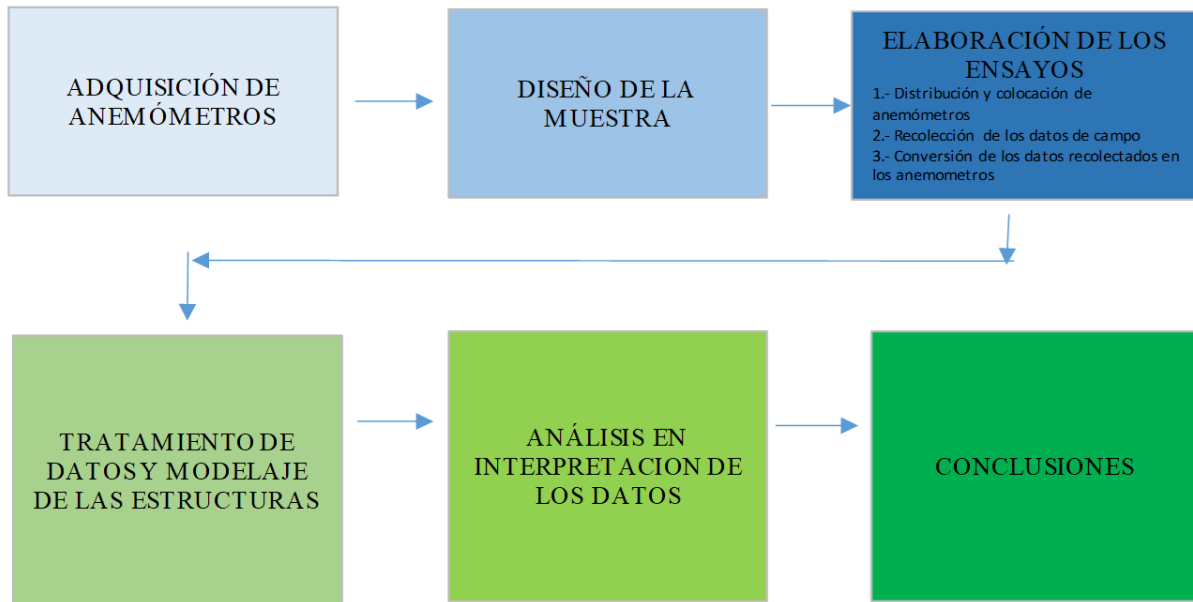


Figure 1. Procedimiento general del estudio

2.2 Evaluación probabilista de una estructura metálica

2.2.1 Adquisición de Datos

Para la toma de velocidad real del viento sobre las coberturas, se realizó la distribución en 7 filas por 6 columnas en cada cobertura, empleándose un total de 42 Anemómetros digitales, realizándose el registro de velocidades en cada punto y en diferentes intervalos de tiempo, para así obtener la mayor velocidad en cada punto y con los datos obtenidos determinar la presión máxima sobre las coberturas, las características de los anemómetros usados se detallan a continuación:

- Marca: Benetech
- Modelo: GM816
- Rango: 0 a 126 km/h
- Precisión: $\pm 5\%$
- Resolución: 0.1 km/h

A su vez se utilizaron 3 tipos de cobertura las cuales se ven a continuación (Figura 2), (Figura 3), (Figura 4):

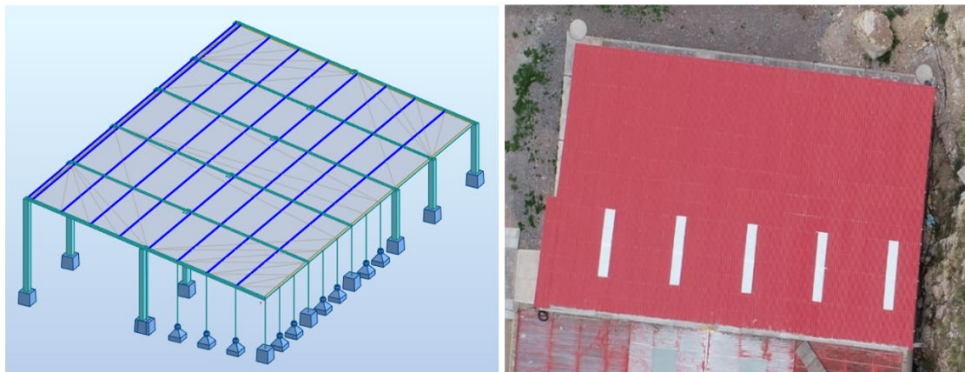


Figure 2. Cobertura a un agua modelada a usar en la investigación / cobertura real. Nota. Elaboración Propia

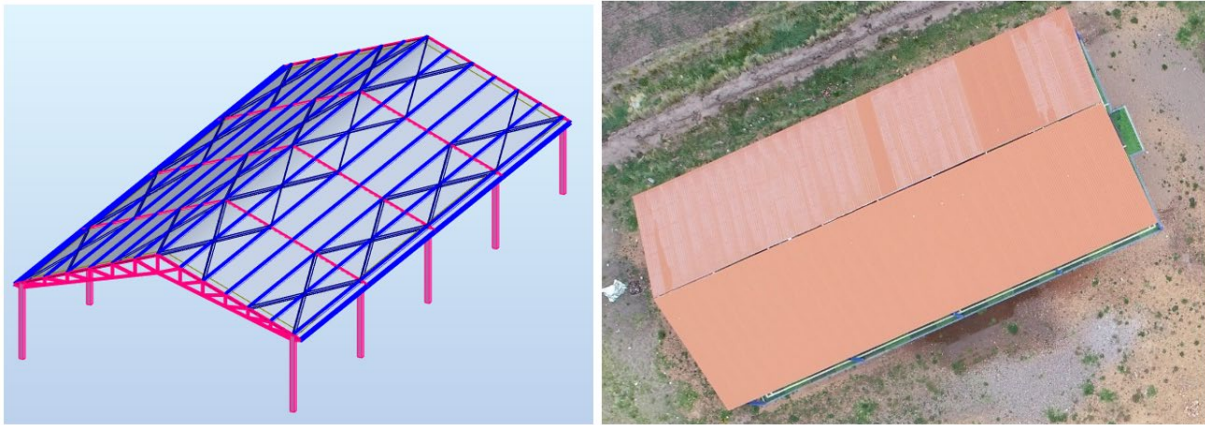


Figura 3. Cobertura modelada a dos aguas modelada a usar en la investigación / cobertura real. Nota. Elaboración Propia

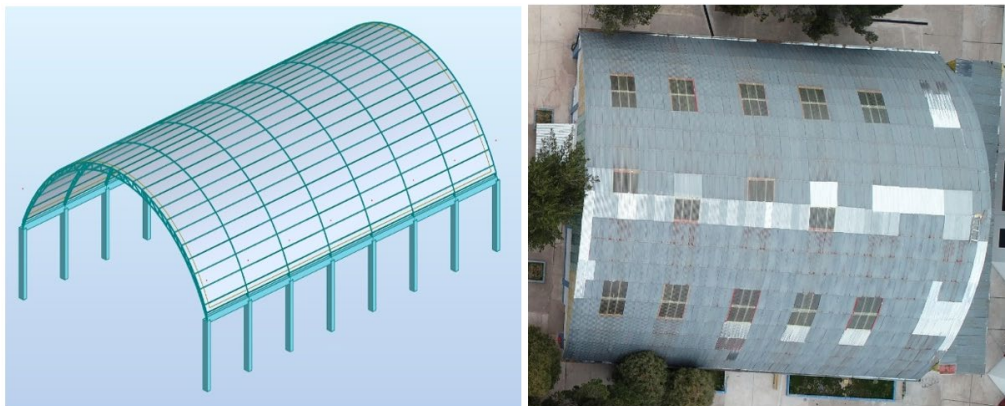


Figura 4. Cobertura parabólica modelada a usar en la investigación / cobertura real. Nota. Elaboración Propia

2.2.2 Selección de estructuras para el estudio

Previo a la elaboración de los ensayos, se realizó un proceso sistemático de inspección para la selección de 3 estructuras que sirvieran como objeto de estudio. Las edificaciones seleccionadas cumplieron con los requisitos mostrados a continuación:

- Poca altura (menor a 15 metros)
- Contar con una cobertura metálica.
- Edificaciones con sistemas de cobertura diferente.

Una vez identificados los objetos de estudio, se solicitó autorización y permisos a la entidad dueña de la infraestructura con cobertura metálica, se adquirió los planos en formato digital y fueron verificadas insitu para la medición de la velocidad de viento. Las edificaciones seleccionadas como muestra se indican en la (Tabla 1).

Tabla 1. Coberturas para las muestras de estudio

Número	Nombre	Altura	Tipo de cobertura	Código
1	Comedor los Uros de la Universidad Peruana Unión	4.75 m	Una agua	Tipo 1
2	Cancha Grass de la Universidad Peruana Unión	7.30 m	Dos aguas	Tipo 2
3	Coliseo de la Universidad Peruana Unión	13.13 m	Parabólica	Tipo 3

Las coberturas se encuentran dentro del campus de la Universidad Peruana Unión – Juliaca.

2.2.3 Elaboración de Ensayos

La medición de la velocidad del viento en las estructuras se realizó una a la vez, instalando un total de 42 anemómetros digitales por edificación a fin de lograr una medición completa. La distribución fue de 7 filas por 6 columnas en las 3 coberturas metálicas como se observa en las (Figura 5), (Figura 6), (Figura 7), (Figura 8), (Figura 9), (Figura 10):

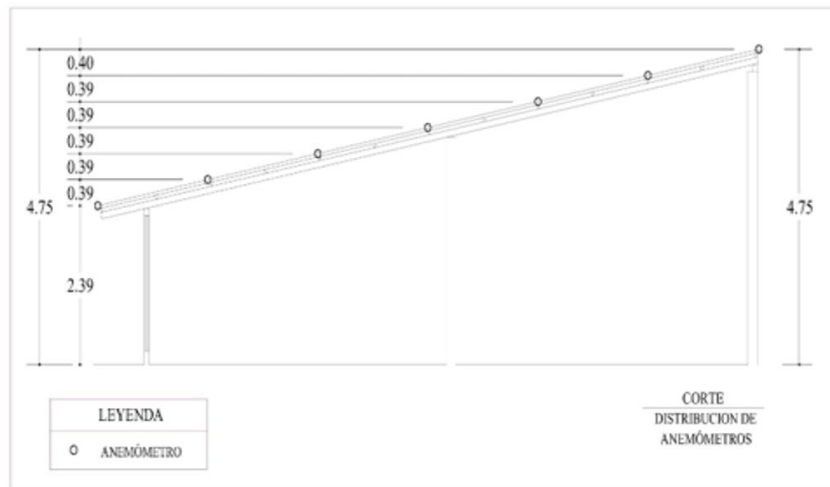


Figura 5. Esquema de distribución de punto de lectura en la cobertura Tipo I según la altura

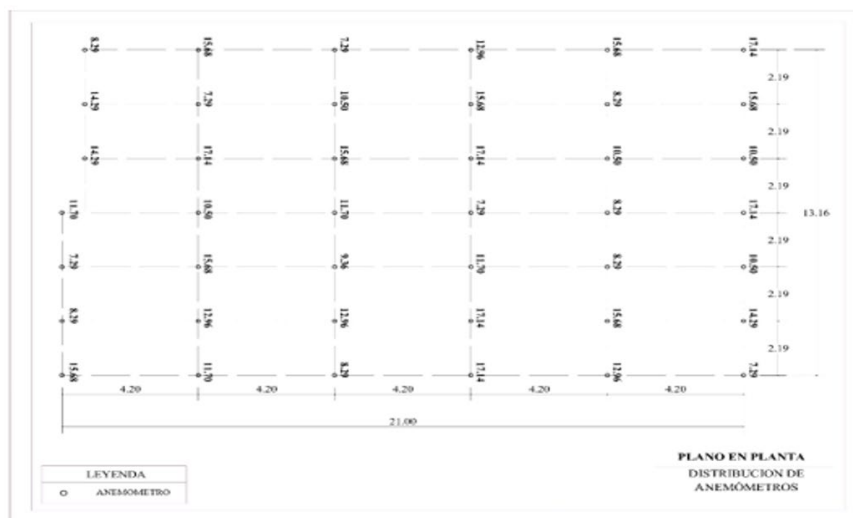


Figura 6. Esquema de distribución de punto de lectura en la cobertura Tipo I con las respectivas presiones (kg/m²) en cada punto

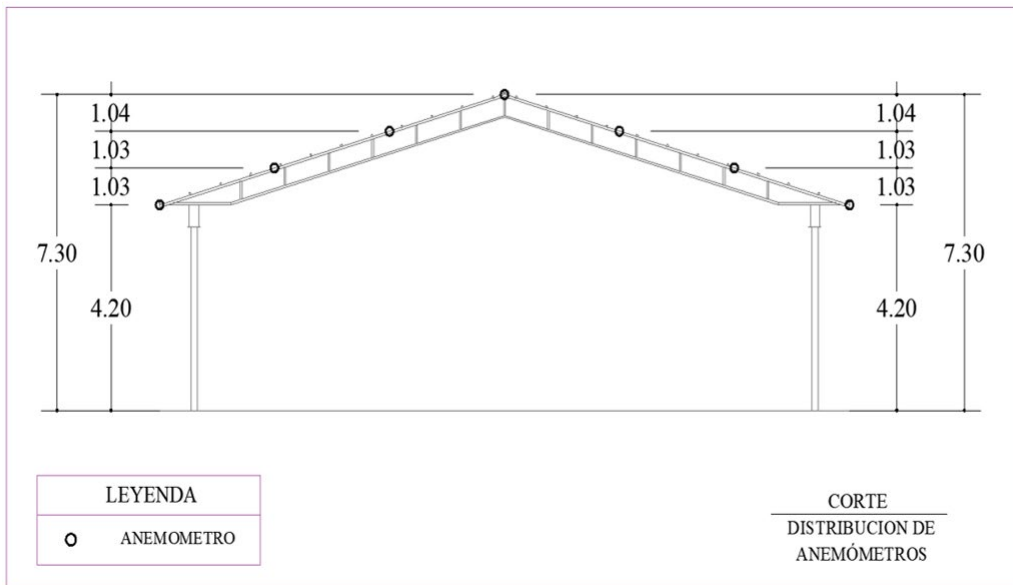


Figura 7. Esquema de distribución de punto de lectura en la cobertura Tipo 2 según la altura

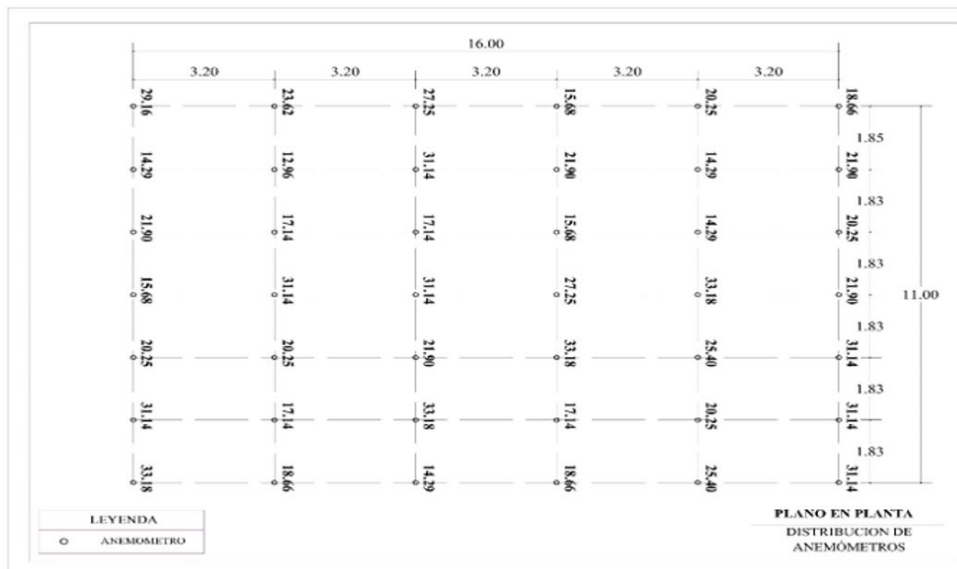


Figura 8. Esquema de distribución de punto de lectura en la cobertura Tipo II con las respectivas presiones (kg/m²) en cada punto

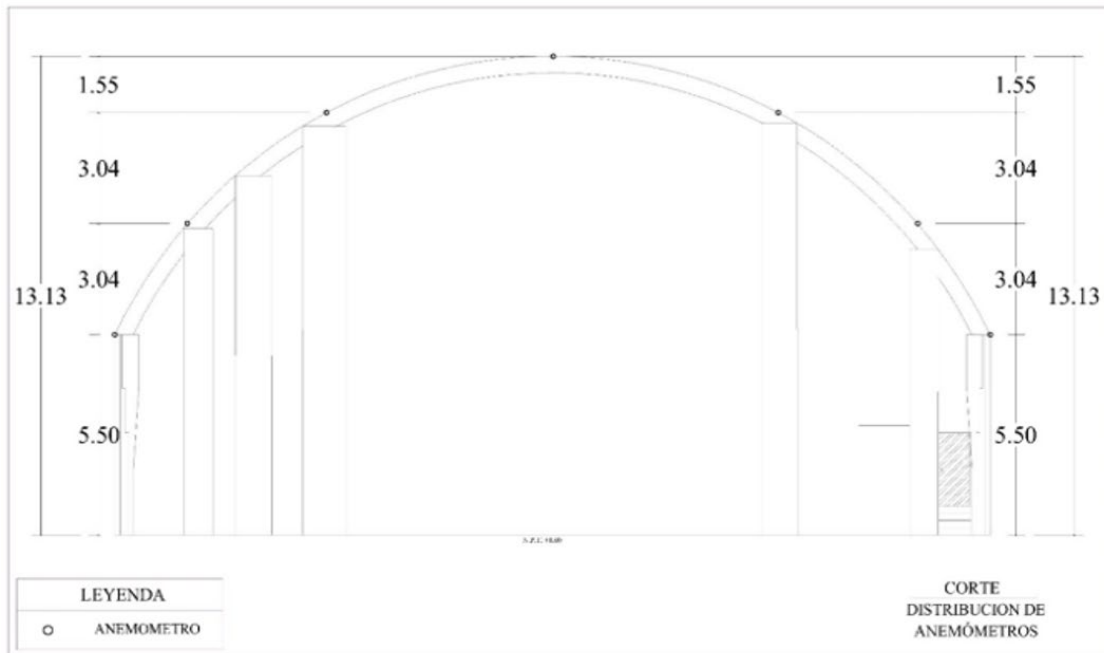


Figura 9. Esquema de distribución de punto de lectura en la cobertura Tipo I según la altura

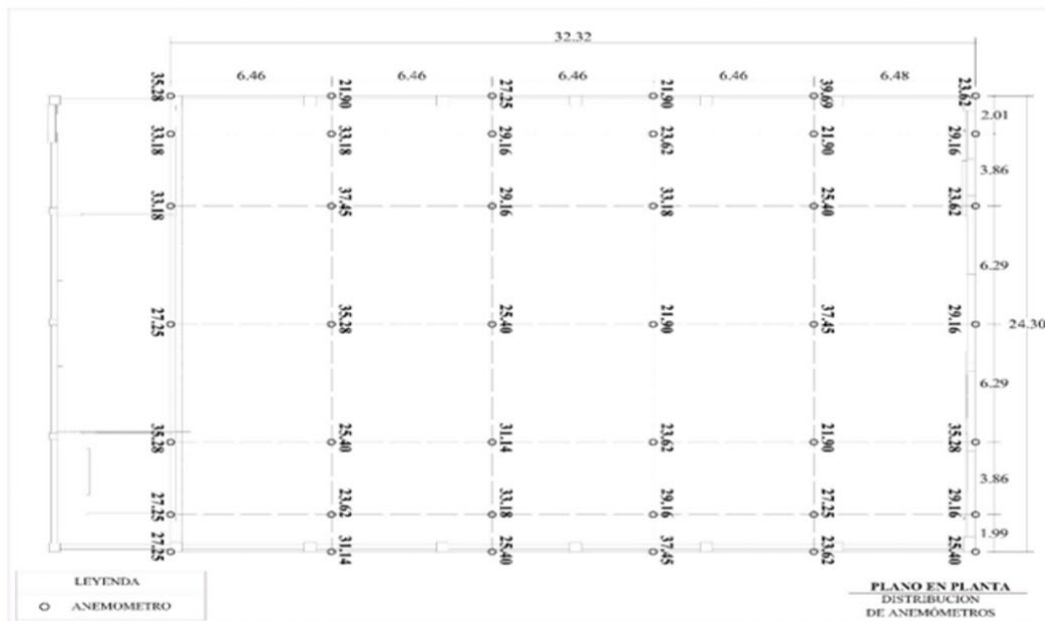


Figura 10. Esquema de distribución de punto de lectura en la cobertura Tipo I con las respectivas presiones (kg/m²) en cada punto

2.2.4 Tratamiento de los datos y Modelaje de las estructuras

Para tratamiento de los datos se tomó en consideración la Norma Técnica Peruana NTP E.020 “Cargas” ((Reglamento Nacional de Edificaciones - NTP E.020, 2006), pág. 19) y la normativa internacional de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles SEI/ASCE 7-22 “Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras, $P=qGCp - qi(GCpi)$ ” ((American Society of Civil Engineers, 2021), págs. 261-280). La presión ejercida por el viento se determinó con la (Ecuación 1) según la Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas”, Reglamento Nacional de

ENGLISH VERSION.....

*Edificaciones:**Carga Exterior de viento*

$$Ph = 0.005 * C * Vh^2 \quad (1)$$

Fuente: ((Reglamento Nacional de Edificaciones - NTP E.020, 2006), pág. 19)

Donde:

Ph= presión o succión del viento a una altura *h* en Kg/m²

C = factor de forma adimensional indicado (-0.5 y 0.8)

Tabla 2. Descripción de factor adimensional según el tipo de cobertura

Característica	Barlovento	Sotavento
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7 -0.3	-0.6

- V_h = velocidad de diseño a la altura *h*

Con el uso de la herramienta MS Excel, se realizó el cálculo de la carga exterior del viento (*Ph*). Luego, se procedió a modelar las coberturas en el Programa de Análisis Robot Estructural.

Análisis en interpretación de los datos

Se tomaron 168 datos de velocidad del viento por cada cobertura desde las 8 horas hasta las 18 horas, obtenidos mediante los anemómetros digitales y transformados a presión mediante la fórmula de carga según la NTP E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, los 168 datos de Presión del viento (kg/m²), las cuales muestran como la velocidad del viento influye en sobre la presión del viento en las diferentes coberturas. El Análisis estadístico de la influencia de la velocidad sobre la presión del viento se realizó en el programa Microsoft Excel, mediante el método probabilístico de regresión lineal, el cual nos da los resultados de la dependencia entre ambos (velocidad / presión). Para la obtención del modelamiento se empleó el software Robot Estructural para realizar el modelamiento de las cargas del viento (dinámico) y a su vez como influye el túnel de viento en los 3 tipos de coberturas.

3. Resultados

3.1 Procesamiento de datos

Se tomaron en campo las velocidades de viento sobre la cobertura con apoyo de los anemómetros digitales entre los horarios de 8:00 horas a 18:00 horas en los 3 tipos de cobertura en diferentes días; se seleccionó las velocidades mayores registradas en los intervalos de horas, siendo un total de 168 datos por cobertura (Figura 11), (Figura 12) y (Figura 13).

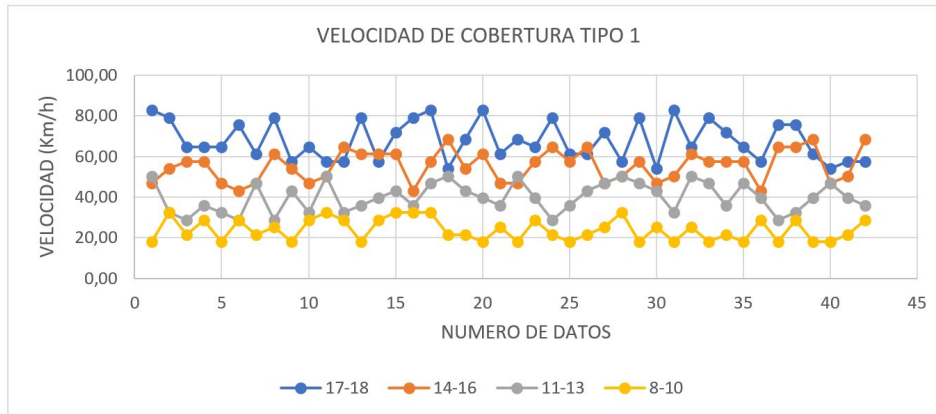


Figura 11. Velocidades registradas en la estructura tipo 1

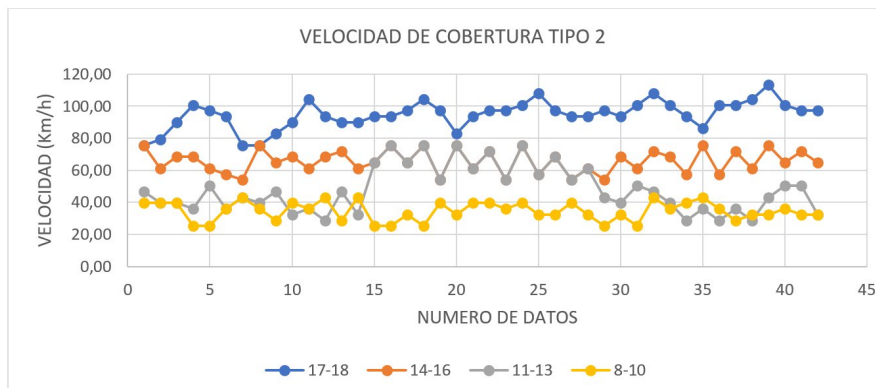


Figura 12. Velocidades registradas en la estructura tipo 2

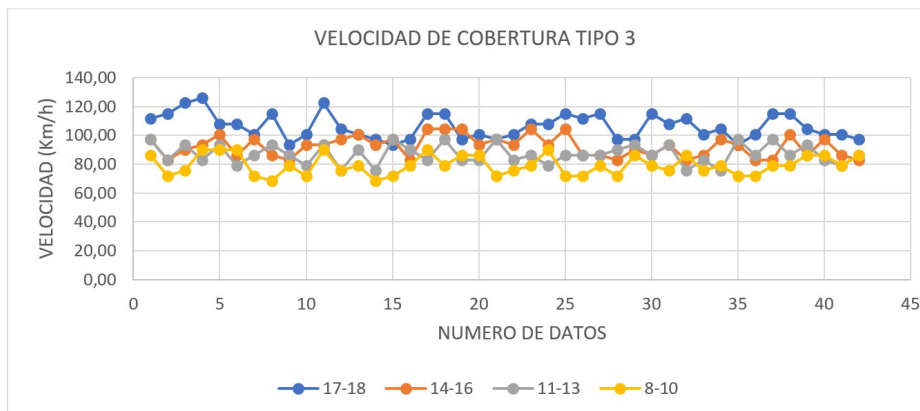


Figura 13. Velocidades registradas en la estructura tipo 3

Con las velocidades obtenidas se realizó el cálculo de velocidades máximas, promedio y mínimas (km/h) para cada intervalo de tiempo en cada una de las coberturas usando el Software Microsoft Excel (Figura 14), (Figura 15) y (Figura 16).

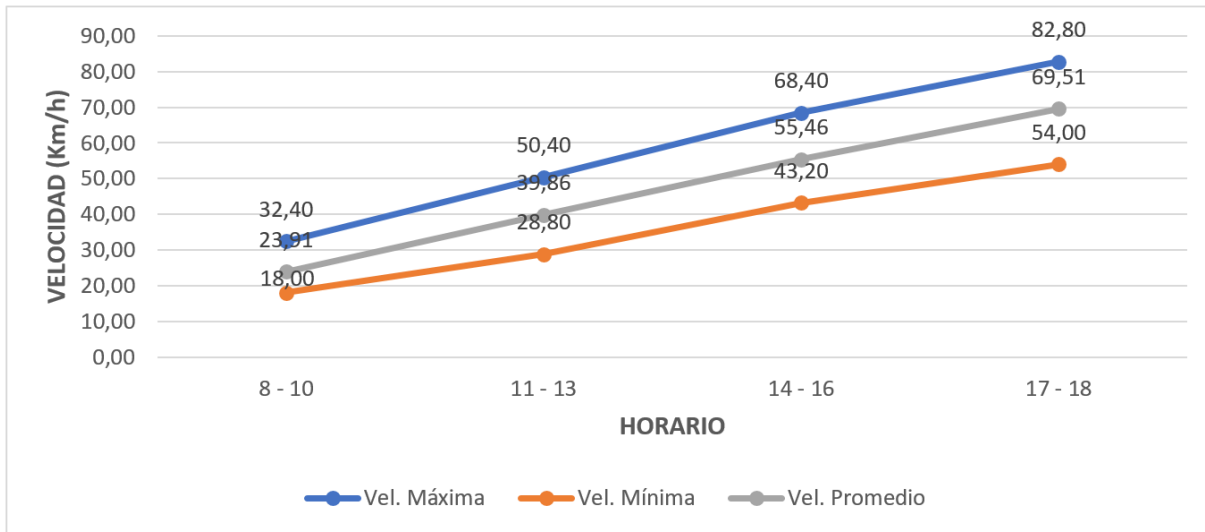


Figura 14. Velocidades mínimas y máximas registradas en la estructura tipo 1

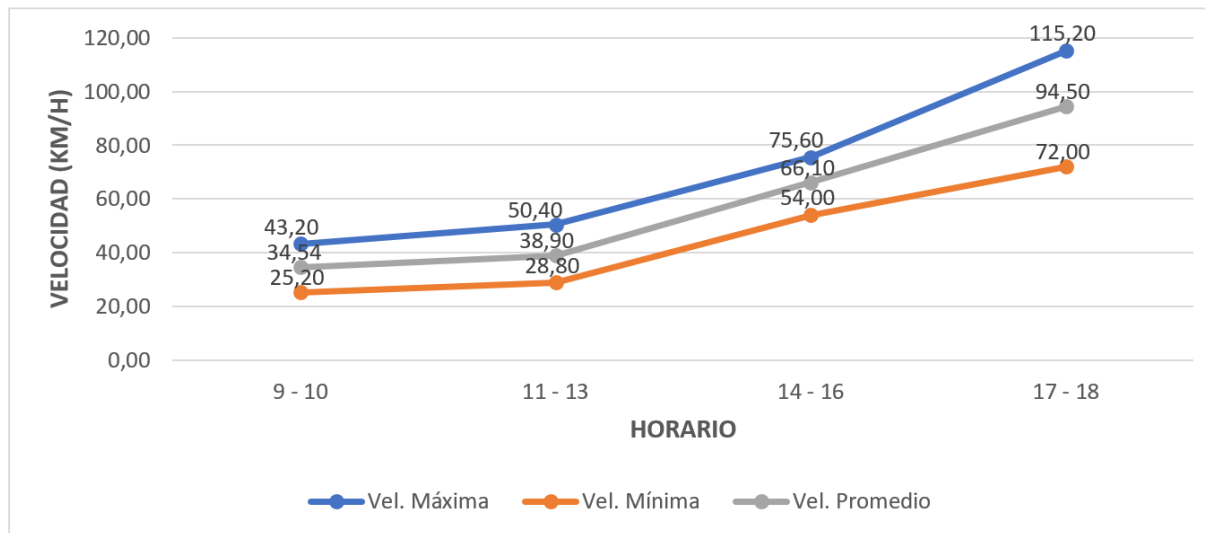


Figura 15. Velocidades mínimas y máximas registradas en la estructura tipo 2

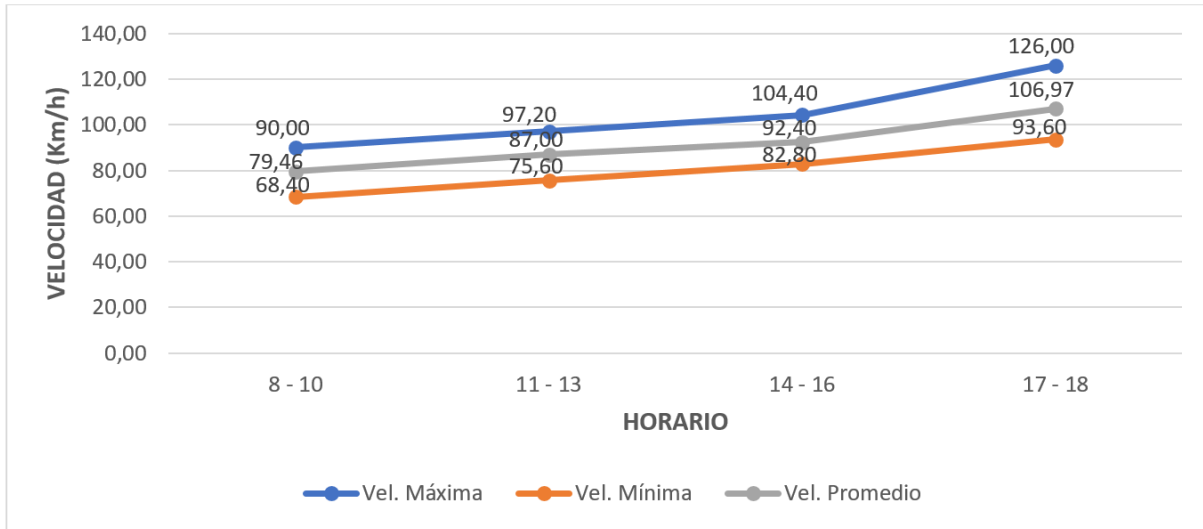


Figura 16. Velocidades mínimas y máximas registradas en la estructura tipo 3

3.2 Procedimiento de cálculo

Carga de viento. Para calcular la carga de viento se considera lo dispuesto en el RNE, artículo 12; la zona de estudio se encuentra en el altiplano peruano específicamente en la Región de Puno, La categoría de exposición es “C”, la clasificación de la edificación corresponde a Tipo 1 (de poca altura y robusta).

VELOCIDAD DE DISEÑO PARA COBERTURA UNA AGUA (TIPO 1)

Velocidad de diseño en la altura h en Km/h (Ecuación 2)

$$v = 82.80 \text{ km/h} \quad (2)$$

Altura de edificación

$$h = 4.34$$

Velocidad de diseño (Ecuación 3)

$$V_h = v * \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 82.80 * \left(\frac{4.34}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 68.91 \text{ km/h} \quad (3)$$

Carga exterior

Factor de forma C

$$C = 0.30 (\text{presion})$$

$$C = -0.70 (\text{succion})$$

Carga final de viento (Ecuación 4)

$$P_h = 0.005 * C * v_h^2$$

$$P_h = 0.005 * -0.70 * 68.91^2$$

$$P_h = -16.62 \text{ kg/m}^2 \quad (4)$$

ENGLISH VERSION.....

VELOCIDAD DE DISEÑO PARA COBERTURA DOS AGUAS (TIPO 2)*Velocidad de diseño en la altura h en Km/h (Ecuación 5)*

$$v = 113.40 \text{ km/h} \quad (5)$$

Altura de edificación

$$h=7.30$$

Velocidad de diseño (Ecuación 6)

$$V_h = v * \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 113.40 * \left(\frac{7.30}{10}\right)^{0.22}$$

$$\mathbf{V_h = 105.81 \text{ km/h}} \quad (6)$$

*Carga exterior**Factor de forma C*

$$C=0.70(\text{presion})$$

$$C=-0.60(\text{succion})$$

Carga final de viento (Ecuación 7).

$$P_h = 0.005 * C * v_h^2$$

$$P_h = 0.005 * -0.60 * 105.81^2$$

$$\mathbf{P_h = - 33.59 \text{ kg/m}^2} \quad (7)$$

VELOCIDAD DE DISEÑO PARA COBERTURA PARABÓLICA (TIPO 3)*Velocidad de diseño en la altura h en km/m*

$$v = 126.00 \text{ km/h}$$

Altura de la edificación

$$h=13.13 \text{ m}$$

Velocidad de diseño (Ecuación 8)

$$V_h = v * \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 126 * \left(\frac{13.13}{10}\right)^{0.22}$$

$$\mathbf{V_h = 133.78 \text{ km/h}} \quad (8)$$

ENGLISH VERSION.....

Carga exterior
Factor de forma C

$$C=0.80(\text{presion})$$

$$C=-0.50(\text{succion})$$

Carga final del viento (Ecuación 9)

$$P_h = 0.005 * C * v_h^2$$

$$P_h = 0.005 * -0.50 * 133.78^2$$

$$P_h = -44.74 \text{ kg/m}^2 \quad (9)$$

Con el procedimiento mostrado se realizaron los cálculos de las velocidades de diseño utilizando el coeficiente indicados para cada tipo de cobertura (Figura 17), (Figura 18), (Figura 19)

Figura 17. Velocidades de di

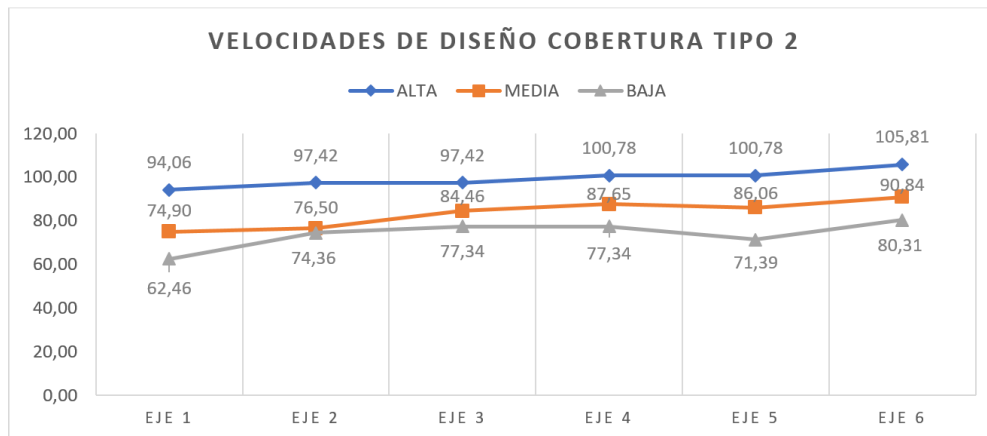
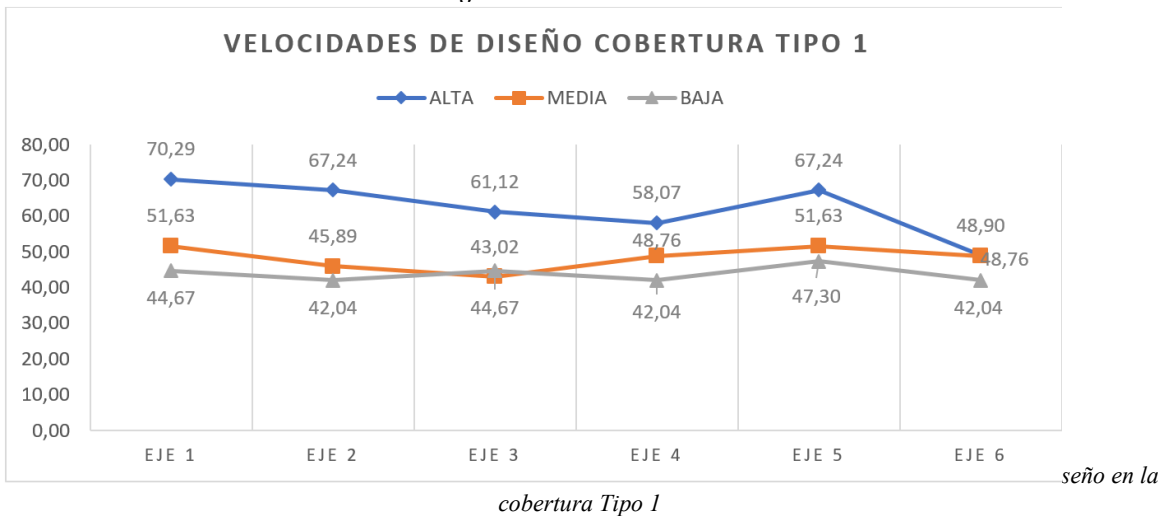


Figura 18. Velocidades de diseño en la cobertura Tipo 2

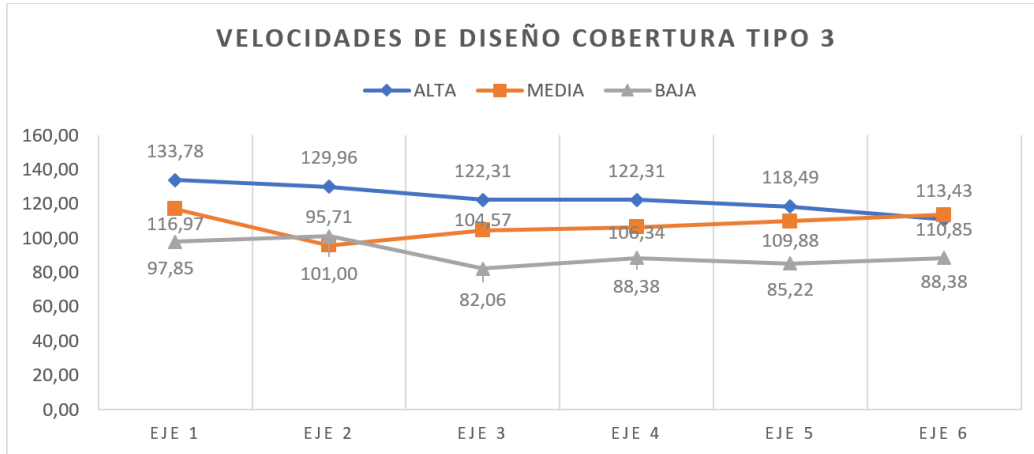


Figura 19. Velocidades de diseño en la cobertura Tipo 3

Con las velocidades de diseño obtenidas se realizó el cálculo de presiones en cada punto con las velocidades de Diseño obtenidas (Figura 20), (Figura 21), (Figura 22).

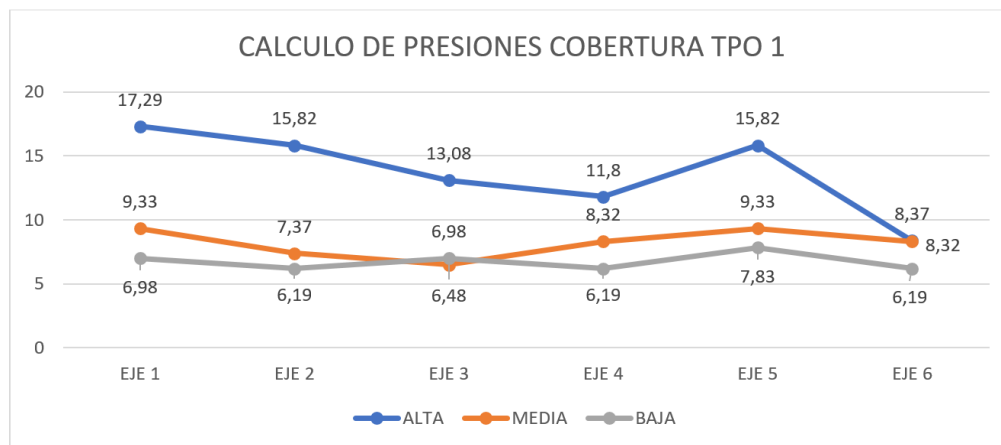


Figura 20. Cálculo de presiones en la cobertura Tipo 2

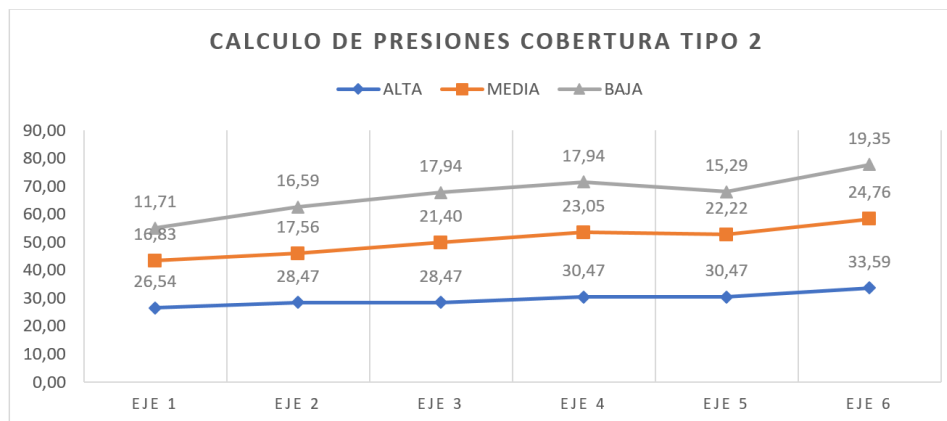


Figura 21. Cálculo de presiones en la cobertura Tipo 2

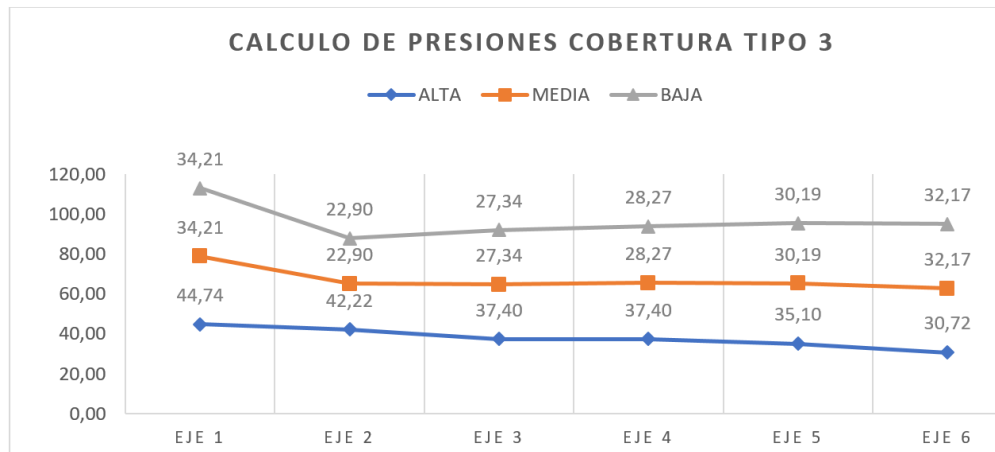


Figura 22. Cálculo de presiones en la cobertura Tipo 3

3.3 Modelamiento con robot estructural

El cálculo de la carga exterior del viento se realizó con base a los registros del horario comprendido entre las 17 y 18 horas, en el cual se obtuvieron los mayores registros de velocidad de viento. Con base a esta data se simularon las 3 estructuras en el Robot Estructural para analizar el comportamiento de las coberturas frente a las presiones de viento (Figura 23).

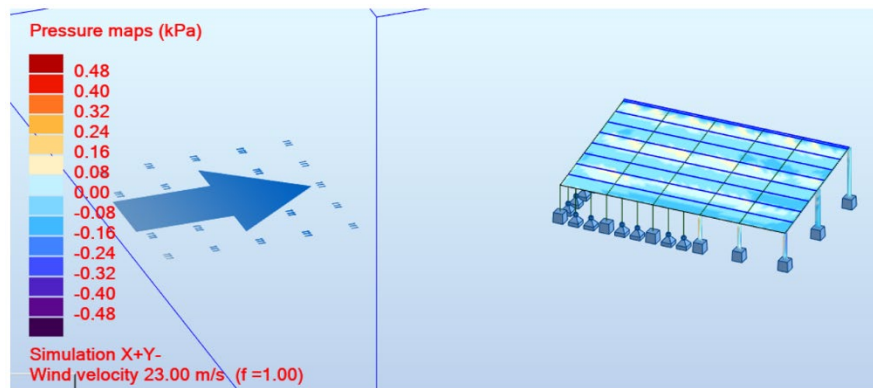


Figura 23. Simulación de la cobertura Tipo 1 en Robot Estructural

La simulación se realizó a una velocidad de 82.80 km/h, se muestra la distribución de las presiones generadas en la dirección de X+ teniendo una presión de barlovento de 8.2 kg/m² a una altura de 2.39 m. generando una presión significativa dándose a conocer el desplazamiento del viento y aumentando dicha presión en la parte alta de la cobertura teniéndose en la cumbre una presión de 17.85 kg/m² a una altura de 4.75 m. por lo que se observa en la cresta una mayor presión de viento sobre la cobertura (Figura 24).

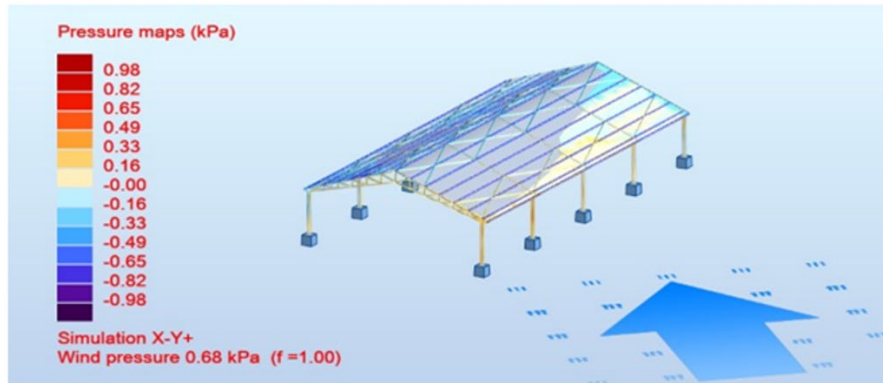


Figura 24. Simulación de la cobertura Tipo 2 en Robot Estructural

El modelamiento se realizó con distribución de las presiones generadas en la dirección de X+ teniendo una presión de barlovento de 12.27 kg/m^2 a una altura de 2.80 m. generando una presión significativa dándose a conocer la distorsión del viento y aumentando dicha presión en la parte alta de la cobertura teniéndose en la cumbre una presión de 33.59 kg/m^2 a una altura de 7.30 m. por lo que se observa que a sotavento una presión de succión que vendría a ser en valores negativos a los mostrados (Figura 25).

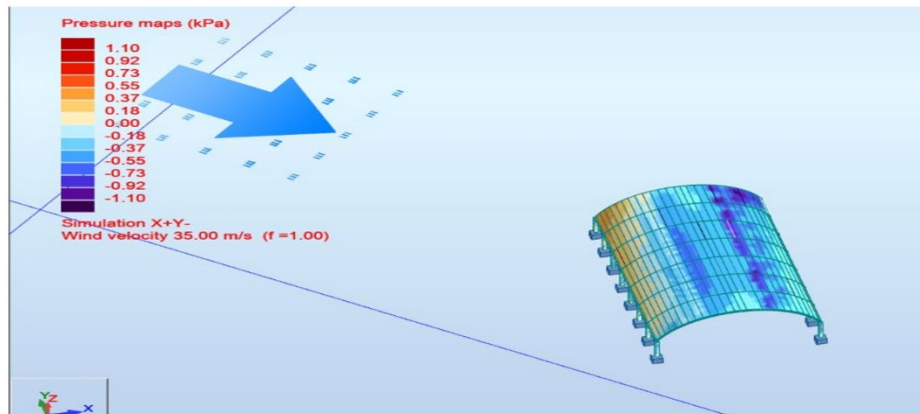


Figura 25. Simulación de la cobertura Tipo 3 en Robot Estructural

El modelamiento se realizó con una velocidad de 126 km/h, se muestra la distribución de las presiones generadas en la dirección de X+ teniendo una presión de barlovento de 17.62 kg/m^2 a una altura de 5.50 m. generando una presión significativa dándose a conocer la desorganización del viento y aumentando dicha presión en la parte alta de la cobertura teniéndose en la cumbre una presión de 56.08 kg/m^2 a una altura de 13.13 m. por lo que se observa a sotavento una presión de succión que vendría a ser en valores negativos a los mostrados.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el calculo manual de presiones según la NTP E-020 y el modelamiento en Robot Estructural, se observa que los resultados tienen una varianza entre sí, tal como se muestra en las (Figura 25), (Figura 26), (Figura 27), (Figura 28).

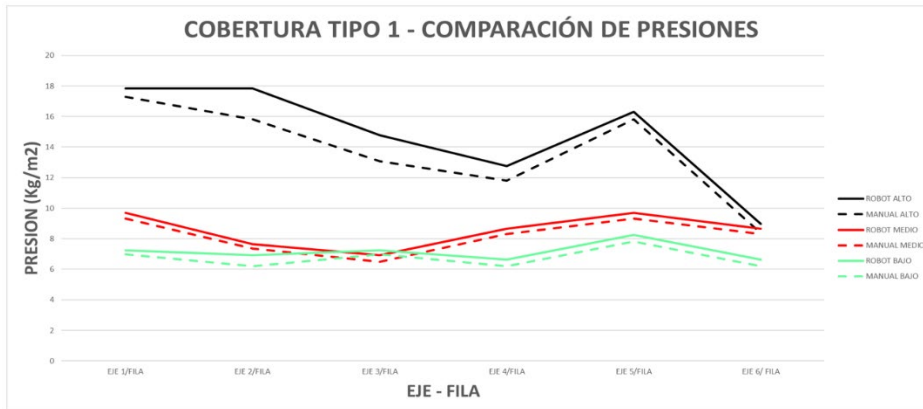


Figura 26. Comparación de presiones entre Robot Estructural y Calculo manual de la Cobertura Tipo 1

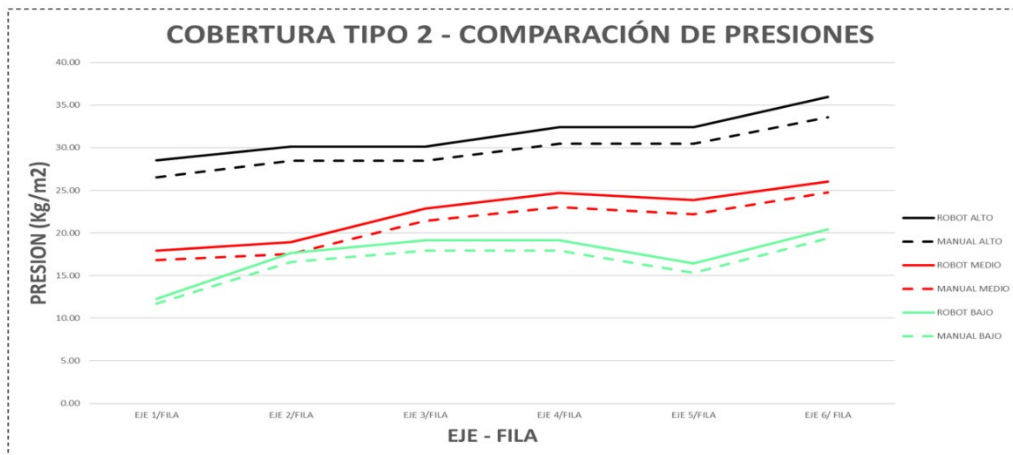


Figura 27. Comparación de presiones entre Robot Estructural y Calculo manual de la Cobertura Tipo 2

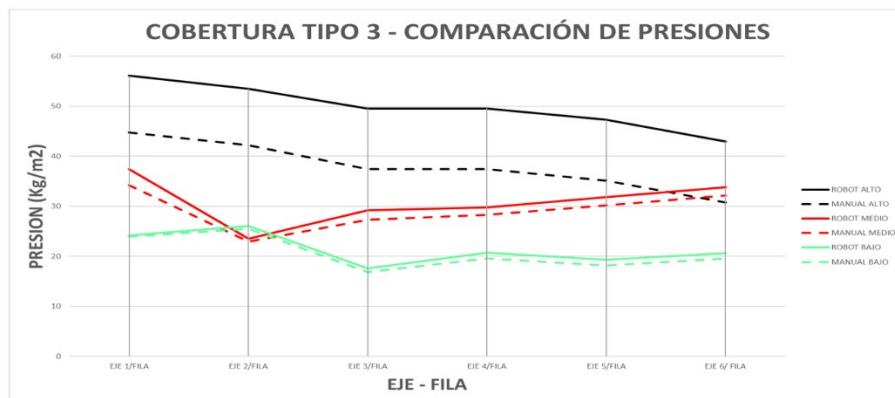


Figura 28. Comparación de presiones entre Robot Estructural y Calculo manual de la Cobertura Tipo 3

La evaluación estadística de correlación y regresión lineal se da a conocer que la presión depende de la velocidad del viento, en las siguientes tablas se dará a conocer los siguientes valores (Tabla 3)

Tabla 3. Resumen estadístico de la regresión – Cobertura tipo 1

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98
Coefficiente de determinación R ²	0.96
R ² ajustado	0.96
Error típico	0.88
Observaciones	168.00

En el resumen estadístico de la regresión lineal el coeficiente de correlación es de 0.98 dando un significado que la presión de viento tiene una relación en forma directa positiva con la velocidad de viento, que a su vez el coeficiente de determinación tiene el 96% de variación del incremento de velocidad de viento respecto a la presión de viento y por último se tiene un error de margen mínimo de 0.88 de los 168 datos de análisis. (Tabla 4).

Tabla 4. Resumen estadístico de Análisis de la varianza - Cobertura tipo 1

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3447.41	3447.41	4459.50	7E-122
Residuos	166	128.33	0.77		
Total	167	3575.74			

En el cuadro de análisis de varianza se tiene un valor crítico de F menor a 0.005 donde nos da a conocer que el modelo de regresión lineal estimado de nuestro análisis de varianza es significativo estadísticamente. (Tabla 5)

Tabla 5. Análisis estadístico de coeficiente de intercepción e incremento de velocidad – Cobertura tipo 1

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-4.99	0.18	-27.12	7.04E-63	-5.36	-4.63
Velocidad	0.24	3.63E-3	66.78	7.24E-122	0.24	0.25

Teniendo los coeficientes de intercepción e incremento de velocidad de viento nuestra ecuación lineal será (P =presión, V =velocidad) $P=-4.99+0.24*V$, donde la intercepción es -4.99 y su incremento de 0.24 por cada dato de velocidad de viento, a su vez la probabilidad en ambos es menor a 0.005 lo cual es significativo estadísticamente.

Por lo tanto, se podría hacer una predicción para una velocidad de 130 km/h dato extraído del mapa eólico para un periodo de retorno de 50 años según el RNE - E.020, Artículo 12 – en el departamento de Puno, se tendría una presión de 26.21 Kg/m² ($P=-4.99+0.24*130$ km/h) en este tipo 1 (un agua) de cobertura metálicas en la ciudad de Juliaca, lo cual es superior a la simulación de velocidad con una presión máxima de $P_h=17.14$ Kg/m². (Tabla 6).

Tabla 6. Resumen estadístico de la regresión – Cobertura tipo 2

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	1.00
Coefficiente de determinación R ²	0.99
R ² ajustado	0.99
Error típico	0.50
Observaciones	168

En el resumen estadístico de la regresión lineal el coeficiente de correlación es de 0.98 dando un significado que la presión de viento tiene una relación en forma directa positiva con la velocidad de viento, que a su vez el coeficiente de determinación tiene el 96% de variación del incremento de velocidad de viento respecto a la presión de viento y por último se tiene un error de 1.61 de los 168 datos de análisis. (Tabla 7), (Tabla 8).

Tabla 7. Resumen estadístico de Análisis de la varianza – Cobertura tipo 2

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	11688.15	11688.15	4514.10	3E-122
Residuos	166	429.82	2.59		
Total	167	12117.96			

Tabla 8. Análisis estadístico de coeficiente de intercepción e incremento de velocidad – Cobertura tipo 2

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-9.51	0.33	-29.11	4.14E-67	-10.15	-8.86
Velocidad	0.33	4.97E-3	67.19	2.73E-122	0.32	0.34

Teniendo los coeficientes de intercepción e incremento de velocidad de viento nuestra ecuación lineal será (P =presión, V =velocidad) $P=-9.51+0.33*V$, donde la intercepción es -9.51 y su incremento de 0.33 por cada dato de velocidad de viento, a su vez la probabilidad en ambos es menor a 0.005 lo cual es significativo estadísticamente.

Por lo tanto, se podría hacer una predicción para una velocidad de 130 km/h dato extraído del mapa eólico para un periodo de retorno de 50 años según el RNE - E.020, Artículo 12 – en el departamento de Puno, se tendría una presión de 33.39 Kg/m² ($P=-9.51+0.33*130$ km/h) en este tipo 2 (dos aguas) de cobertura metálicas en la ciudad de Juliaca, lo cual es superior a la simulación de velocidad con una presión máxima de $P_h= 33.18$ Kg/m². (Tabla 9).

Tabla 9. Resumen estadístico de la regresión – Cobertura tipo 3

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98
Coefficiente de determinación R ²	0.96
R ² ajustado	0.96
Error típico	1.61
Observaciones	168

En el resumen estadístico de la regresión lineal el coeficiente de correlación es de 1.00 dando un significado que la presión de viento tiene una relación en forma directa positiva con la velocidad de viento, que a su vez el coeficiente de determinación tiene el 99% de variación del incremento de velocidad de viento respecto a la presión de viento y por último se tiene un error de margen mínimo de 1 de los 168 datos de análisis. (Tabla 10).

Tabla 10. Resumen estadístico de Análisis de la varianza – Cobertura tipo 3

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5995.02	5995.02	23702.83	5.0318E-181
Residuos	166	41.99	0.25		
Total	167	6037.01			

En el cuadro de análisis de varianza se tiene un valor crítico de F menor a 0.005 donde nos da a conocer que el modelo de regresión lineal estimado de nuestro análisis de varianza es significativo estadísticamente. (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis estadístico de coeficiente de intercepción e incremento de velocidad – Cobertura Tipo 3

times	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-22.05	0.28	-77.56	2.553E-132	-22.61	-21.49	-22.61	-21.49
Velocidades	0.47	0.00	153.96	5.0318E-181	0.47	0.48	0.47	0.48

Teniendo los coeficientes de intercepción e incremento de velocidad de viento nuestra ecuación lineal será (P =presión, V =velocidad) $P=-22.05+0.47*V$, donde la intercepción es -22.05 y su incremento de 0.47 por cada dato de velocidad de viento, a su vez la probabilidad en ambos es menor a 0.005 lo cual es significativo estadísticamente.

Por lo tanto, se podría hacer una predicción para una velocidad de 130 km/h dato extraído del mapa eólico para un periodo de retorno de 50 años según el RNE - E.020, Artículo 12 – en el departamento de Puno, se tendría una presión de 39.05 Kg/m² ($P=-22.05+0.47*130$ km/h) en este tipo 3 (Parabólica) de cobertura metálicas en la ciudad de Juliaca, lo cual es inferior a la simulación de velocidad con una presión máxima de $Ph=44.74$ Kg/m².

4. Conclusiones

La mayor velocidad de viento (126 km/h) se presentó en los horarios de la tarde (18 horas) en la cobertura Tipo 3 a una altura de 13.13 metros con respecto al piso natural, encontrándose dicha velocidad dentro del rango del mapa eólico que corresponde a la zona del altiplano (130 km/h) lo cual demuestra que los datos mostrados según la NTP E-020 son semejantes a la realidad.

Los cálculos realizados de forma manual y con el Robot Estructural tienen similitud en sus resultados contando con un rango de varianza menores al 3%, teniendo al Robot Estructural con un mayor resultado que los valores calculados

ENGLISH VERSION.....

según el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones - NTP E.020, 2006) concluyendo que dichos coeficientes son aceptables en los 3 tipos de coberturas de menor altura.

El modelamiento en el Robot Estructural se realizó de manera independiente por cada punto (42 puntos por cobertura), a fin de poder obtener las cargas en cada punto (eje/fila) utilizando las diferentes velocidades obtenidas mediante los anemómetros digitales.

Como resultado del cálculo estadístico se obtiene que para todos los casos existe una correlación entre la acción de la velocidad y la presión del viento en las estructuras, observándose que cada vez que la velocidad del viento se incrementa en un metro, las estructuras experimentan las siguientes variaciones de presión:

- Parabólica 0.47 Kg/m².
- Dos aguas 0.33 Kg/m².
- Un agua 0.24 Kg/m².

Dando a conocer que la variación de presión de cada estructura depende de la velocidad de viento según latitud climatológica, temperatura, ubicación geográfica y altura de la estructura.

5. Referencias

- Adnan, Enajar; Ashraf, El Damatty; Ashraf, Nassef. (2021).** Solución semianalítica para techos a dos aguas bajo cargas de viento ascendente. *Estructuras de Ingeniería*, 229. 1-2
- Caracoglia, L.; Jones, N. (2009).** Análisis de mediciones de viento y presión a gran escala en un edificio de baja altura. *Revista de Ingeniería Eólica y Aerodinámica Industrial*, 97(5-6)157-173.
- American Society of Civil Engineers (2021).** Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras. Reston: ASCE.
- Hao, Q.; Mark G., S. (2019).** Análisis de fragilidad del sistema del revestimiento del techo y cerchas para viviendas contemporáneas australianas sujetas a levantamiento por viento. *Seguridad Estructural*, 79. 80-93.
- Hernández-Sampieri, R.; Mendoza. (2018).** Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Ibarra González, S.; Tapia Hernández, E. (2014).** Formación del Mecanismo de Colapso en Torres de Transmisión Ante Viento Intenso. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural At: Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico.
- INSTAINGENIERIA. (27 de DICIEMBRE de 2020).** INSTAINGENIERIA. Obtenido de INSTAINGENIERIA: <https://instaingenieria.com/por-que-se-derrumbo-el-puente-tacoma-narrows/>
- Li, J.; Hu, S.; Li, Q.S. (2021).** Estudio comparativo de mediciones de presión del viento a escala real y modelo. *Revista de Ingeniería Eólica y Aerodinámica Industrial*, 208. 1-19.
- Li, Y.; Ellingwood, B. (2006).** Daños por huracanes en la construcción residencial en los EE. UU.: Importancia de los modelos de incertidumbre en la evaluación de riesgos. *Engineering Structures*, 28 (7), Pages 1009-1018
- American Society of Civil Engineers (2021).** Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras. Reston: ASCE.
- López, H.; Godoy, L. (2005).** Metodología para la estimación de daños estructurales ocasionados por vientos huracanados en edificaciones industriales. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 5(2) 121-134
- Morón Flores, P.; Milón Zevallos, A. A. (15 de Octubre de 2019).** Repositorio Universidad Católica de Santa María. Obtenido de Repositorio Universidad Católica de Santa María : <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9533>
- Quiñonez Choquecota, J.; Huanca Callata, E.; Holguino Huarza, A. (2019).** Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol.21, n.1, pp.57-68.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (05 de MAYO de 2006).** REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. (MVCS, Editor) Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Terrés-Nicoli, J.; Mans, C. (2014).** Estudio comparativo de aplicación de la norma EN1991-1-4 para el cálculo de la acción del viento en estructuras singulares. *Hormigón y Acero*, 65(272). Pages 151-161

6. Anexos

COBERTURA A UN AGUA (TIPO 1)

ENGLISH VERSION.....



Figura 1. Nivelación con el uso del teodolito para instalación de Anemómetros el tipo de cobertura en un agua

COBERTURA A DOS AGUAS (TIPO 2)



Figura 2. Aquí se muestra una cobertura con doble caída en la instalación de anemómetros

COBERTURA PARABOLICA (TIPO 3)

