

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Análisis del comportamiento de las viviendas Sumac Wasi por
efectos del viento**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero civil

Por:

Milton Vilca Ilano

Diana Yaneth Quispe Cama

Edson Alexis Coaquira Mamani

Asesor:

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Juliaca, agosto de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

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

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VIVIENDAS SUMAC WASI POR EFECTOS DEL VIENTO"** constituye la memoria que presenta los Bachilleres **Milton Vilca Llano; Diana Yaneth Quispe Cama y Edson Alexis Coaquira Mamani** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de agosto del año 2022



Ing. Herson Duberly Pari Cusi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 11 día(s) del mes de agosto del año 2022 siendo las 14:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Luz Luana Beatriz Aguirre Pavi el (la) secretario(a): Luz Leonel Suresaca Pelinco y los demás miembros: Luz Henry Antonio Aguilar Chuquimia y el (la) asesor(a) Luz Herson Duberly Pavi Pasi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Análisis del comportamiento de las viviendas Sumac Wasi por efectos del viento"

del(los) bachiller(es): a) Milton Velca Llano
 b) Diana Yaneth Quijpe Cama
 c) Edson Alexis Coaguira Mamari

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): Milton Velca Llano

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>


Bachiller (b): Diana Yaneth Quijpe Cama


CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

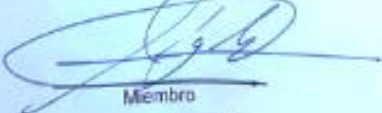
Bachiller (c): Edson Alexis Coaguira Mamari

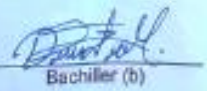
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>


(*) 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


 Secretario/a


 Miembro


 Bachiller (b)


 Miembro


 Bachiller (c)

Indice General

Indice General.....	IV
Indice de tablas	V
Indice de figuras	VI
Resumen	7
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
2. Metodología.....	10
2.1. Materiales y equipos	10
2.1.1. Viviendas Sumac Wasi.....	10
2.1.2. Termo - anemómetro para velocidad, flujo y temperatura de aire SP82AT	10
2.1.3. Autodesk Robot Structural (versión estudiantil)	10
2.2. Reconocimiento de la zona de estudio	11
2.3. Análisis de datos	11
3. Resultados y discusión	13
3.1. Velocidades y direcciones del viento empleados.	13
3.2. Presiones y succiones del viento en las 4 direcciones: X+, X-, Y+, Y-	14
3.3. Análisis y Diseño de la Cobertura	17
3.3.1. Cargas	18
3.3.2. Correas.....	18
3.3.3. Armadura.....	20
3.3.4. Uniones y Detalles Constructivos.	23
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	25
Referencias bibliográficas.	27
Anexos.....	29
Anexo A. Evidencia de sumision a una revista indexada.....	29

Indice de tablas

Tabla 1	15
Tabla 2	15
Tabla 3	16
Tabla 4	16
Tabla 5	18

Indice de figuras

Figura 1. Modelo de viviendas rural Sumaq Wasi.	10
Figura 2. Salidas de campo para recolección de datos	11
Figura 3. Mapa eólico del Perú.....	12
Figura 4. Modelamiento vivienda Sumaq Wasi	13
Figura 5. Disposición de muros y techos respecto al sistema de coordenadas.....	14
Figura 6. Generación de coeficientes y presiones del viento.	14
Figura 7. Distribución de las cargas de viento en dirección Y (+)	17
Figura 8. Armadura de la vivienda Sumaq Wasi.....	18
Figura 9. Asignación de cargas en las correas.....	19
Figura 10. Esfuerzos internos de la armadura.	21
Figura 11. Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a doble cizallamiento.....	24
Figura 12. Cargas actuantes en el elemento “D”	24
Figura 13. Espaciamiento mínimo entre clavos (doble cizallamiento)	25

Análisis del comportamiento de las viviendas *Sumac Wasi* por efectos del viento.

Analysis of the behavior of the Sumac Wasi houses due to the effects of the wind.

Coaquira Mamani Edson Alexis*, Quispe Cama Yaneth Diana**, Vilca Llano Milton***

* Universidad Peruana Unión (UPeU – FJ), Juliaca, Puno, PERÚ, +051940855849, edson.cm@upeu.edu.pe.

** Universidad Peruana Unión (UPeU – FJ), Juliaca, Puno, PERÚ, +051935778864, diana.qc@upeu.edu.pe.

*** Universidad Peruana Unión (UPeU – FJ), Juliaca, Puno, PERÚ, +051955637947, millton.vl@upeu.edu.pe.

Resumen

En este estudio se analizó el comportamiento de viviendas rurales bioclimáticas *Sumac Wasi* en las zonas alto andinas del altiplano peruano por efectos del viento, donde la interacción de la cobertura con los muros de mampostería constituye una parte importante en el diseño de edificaciones rurales. La investigación presenta un enfoque cuantitativo de diseño no experimental, la población estuvo constituida por viviendas rurales *Sumac Wasi* obtenidos por un muestreo no probabilístico 20 módulos en total; se utilizó el (RNE E 020, 2006) y el anemómetro SP-82 AT para la recolección de datos en campo, luego se realizó el modelamiento en el software Robot Structural. Obteniéndose como resultados, que la presión del viento más significativa se encuentra la dirección Y+ donde se genera la mayor succión en muro con un valor de -61.276 kgf/m^2 y presión a barlovento de 47.152 kgf/m^2 con una succión de -43.078 kgf/m^2 en el techo, esto debido a la distribución arquitectónica, geometría, ubicación de la vivienda y forma del techo, donde para este último se realizó un análisis del diseño de la cobertura cumpliéndose con él (RNE E 010, 2006). El estudio proporciona información sobre las variaciones de presión en muros y techo; donde en la dirección Y+ se generan presiones de viento más significativos, esto debido al voladizo del área de tapón que es un elemento divisorio entre el exterior e interior del módulo para generar confort térmico; asegurándose que este tipo de construcciones sean factibles.

Palabras clave: viviendas rurales, cobertura, mampostería, presión de viento, anemómetro.

Abstract

In this study, the behavior of *Sumaq Wasi* bioclimatic rural dwellings in the high Andean areas of the Peruvian altiplano due to wind effects was analyzed, where the interaction of the roof with the masonry walls constitutes an important part in the design of rural buildings. The research presents a quantitative approach of non-experimental design, the population consisted of *Sumac Wasi* rural dwellings obtained by non-probabilistic sampling, 20 modules in total; the (RNE E 020, 2006) and the SP-82 AT anemometer were used for data collection in the field, then the modeling was carried out in the Robot Structural software. Obtaining as results, that the most significant wind pressure is in the Y+ direction where the greatest suction is generated in the wall with a value of -61,276 kgf/m² and windward pressure of 47,152 kgf/m² with a suction of - 43,078 kgf/m² on the roof, this due to the architectural distribution, geometry, location of the house and shape of the roof, where for the latter the analysis and design of the coverage was carried out, complying with it (RNE E 010, 2006). The study provides information on pressure variations in walls and ceilings; where in the Y+ direction more significant wind pressures are generated, this due to the overhang of the plug area that is a dividing element between the exterior and interior of the module to generate thermal comfort; making sure that this type of construction is feasible.

Keywords: rural dwellings, coverage, masonry, wind pressure, anemometer.

1. Introducción

En el Perú según (Andina , 2017) los vientos fuertes se observan con frecuencia en la costa, donde el movimiento del aire a alta velocidad alcanza valores de 33 km/h a 70 km/h, las zonas más afectadas con estos vientos son las penínsulas durante todo el año. La sierra del Perú no es ajena a este fenómeno, puesto que en los meses de julio a septiembre se registran vientos fuertes afectando las viviendas en el altiplano peruano.

En el altiplano peruano muchas de las viviendas rurales rusticas fallan por cargas de viento y para la construcción de los módulos *Sumac wasi*, el viento no debería ser un problema puesto que, adecuando el uso de materiales tecnológicos y tradicionales se logrará un modelo bioclimático, evitando así las pérdidas de calor por las noches, de esa manera generándose confort térmico. (Ministerio de Vivienda y Construcción, s.f.)

(Ozmen, Baydar, & van Beeck, 2015) realizó la modelación de viviendas de poca altura con techos a dos aguas en diferentes ángulos de inclinación, para llegar a conocer la distribución media de la presión del viento y como afecta en los ángulos de inclinación de 15, 30 y 45 grados; el ángulo de 30 grados trabaja mejor a las presiones del viento.

Según (Lopez Bautista , Villaseñor Perea, & Carrilo) una de las fuerzas más destructivas es el viento; las cargas pueden calcularse por la presión de flujo libre, multiplicada por el coeficiente de la fuerza del viento. Los coeficientes de la fuerza del viento dependen de la dirección, forma, tamaño y presencia o ausencia de ventilas o corta vientos. Generalmente, pueden ser determinados en experimentos en túnel de viento.

Con todo lo relacionado a las estructuras bajo cargas de viento se tiene que tomar en cuenta a (Terres Nicoli & Mans, 2014) donde explico que se tiene que considerar 5 componentes: clima viento, efectos locales del terreno, respuesta aerodinámica, respuesta estructural y criterios de diseño; La interacción del viento en las estructuras determina la respuesta estática y dinámica.

Cuando el viento impacta una superficie normal a su orientación a una velocidad constante, se ve forzado a rodear el objeto que provoca el obstáculo del flujo, por lo que forja presiones sobre dicha superficie, provocando un esfuerzo sobre esta cara llamada barlovento. Por otra parte, la cara opuesta, llamada sotavento, se encuentra sometida a efectos de succión inducida por la separación de las estelas del flujo. (Matta, Cuellar, & Garbin , 2014)

La velocidad se localiza en estrecha relación con la topografía de la zona: terreno muy liso, campo abierto con poca vegetación donde se conserva la velocidad del viento aún

cerca de la superficie, puesto que se somete a fricción de las masas de aire con algún cuerpo agrupado a la topografía del terreno. (Taboada & Perez).

2. Metodología

2.1. Materiales y equipos

2.1.1. Viviendas Sumac Wasi.

Las viviendas rurales modelo *Sumac Wasi* constituyen un beneficio, cuando de confort térmico se trata, debido a las bajas temperaturas, fuertes lluvias y fuertes vientos registradas en todo el altiplano peruano. Uno de los factores a tomar en consideración para este tipo de edificación es el efecto del viento, para lo cual son empleados exitosamente métodos numéricos en la obtención de las cargas. Se muestra aquí el modelo de vivienda rural a escala ensayado en un túnel de viento virtual.

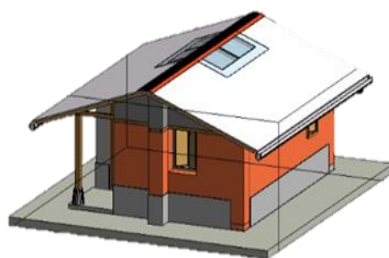


Figura 1. Modelo de viviendas rural Sumaq Wasi.

Fuente. Elaboración propia

2.1.2. Termo - anemómetro para velocidad, flujo y temperatura de aire SP82AT.

Termo anemómetro con pequeña turbina de vinilo desmontable de baja fricción y alta precisión puede medir la velocidad del aire (entre 0.4m/s y 30m/s), el caudal de aire y la temperatura ambiente. De gran utilidad por su pequeño tamaño, prestaciones y fiabilidad, de fácil manejo.

2.1.3. Autodesk Robot Structural (versión estudiantil).

El software Robot Estructural versión estudiantil es una herramienta de simulación de cargas de viento que permite a los usuarios probar sus diseños en un túnel de viento virtual incorporado. Utilizando una interfaz de usuario intuitiva, los diseñadores pueden aplicar rápida y fácilmente los flujos de viento a una estructura y obtener resultados casi

instantáneos para visualizar las presiones de la superficie o generar cargas de viento para usarlas en diseños y análisis posteriores.

2.2. Reconocimiento de la zona de estudio

El estudio se realizó en la zona Sur del altiplano peruano sobre los 3600 m.s.n.m. específicamente en zonas con presencia de vientos fuertes como es en la región de Puno; donde, se tiene limitaciones al acceso de las memorias de cálculo contempladas en los expedientes técnicos de este tipo de proyectos por lo que se realizó la evaluación en campo de los módulos ya construidos. La ejecución de dichos módulos por su diseño y materiales empleados generan confort térmico, seguridad antisísmica y seguridad a vientos fuertes donde para este último se realizó la presente investigación.



Figura 2. Salidas de campo para recolección de datos

Nota. Elaboración propia

2.3. Análisis de datos

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) el enfoque de la investigación es cuantitativo y diseño es no experimental; ya que no existe manipulación activa de alguna variable y se busca establecer la relación de variables medidas en una muestra en un único momento del tiempo.

Según él (RNE E 020, 2006) las velocidades del viento de diseño para una altura de hasta 10 m se calcula de acuerdo al mapa eólico, pero esa velocidad no deberá ser menor que 75 km/hr y viéndose que la ubicación de las viviendas rurales, están altiplano peruano se tomó como velocidad de diseño de 130 km/hr (Figura 3).

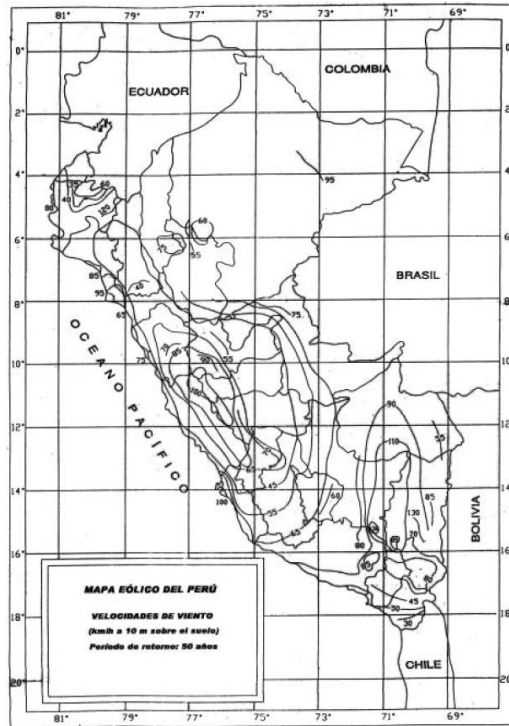


Figura 3. Mapa eólico del Perú

Fuente. Extraído de (RNE E 020, 2006)

La misma normativa nos brinda una fórmula de cálculo de velocidad de diseño según la altura de la edificación.

$$V_h = V \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

V_h = Velocidad de diseño en la altura h en km/h

V = Velocidad de diseño hasta 10m de una altura en km/h

h = Altura sobre el terreno en metros (vivienda *Sumaq Wasi* h=3m)

$$V_h = 36.111 \frac{m}{s} \cdot \left(\frac{3}{10} m\right)^{0.22} = 27.71 m/s$$

Luego se procedió a calcular en el Robot Structural y de forma manual la presión del viento descritos en el ítem de resultados. Para el cálculo manual se utilizó la Ecuación (2) según las características de techo o superficie.

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot V_h^2 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

P_h = Presión o succión del viento a una altura h en kgf/m^2

C = Factor de forma adimensional indicado en la Tabla 4 del (RNE E 020, 2006)

V_h = Velocidad de diseño a la altura h , en km/h .

3. Resultados y discusión

3.1. Velocidades y direcciones del viento empleados

El comportamiento de la vivienda *Sumaq Wasi* por efecto de la velocidad y dirección del viento se calculó en el software Robot Structural, que tiene la simulación de cargas de viento, donde se pudo obtener mediante mapas, las presiones o succiones de carga según la dirección del viento X (+), X (-), Y (+), Y (-), con una velocidad de diseño del viento calculada según el (RNE E 020, 2006)

El modelamiento se realizó con muros que se definieron como mampostería de adobe, dinteles, vigas collar, tijerales y correas de madera; se adoptó la mayor velocidad de viento obtenidas en campo y la velocidad de diseño según el (RNE E 020, 2006) donde fueron simulados mediante un túnel de viento, para obtener las presiones o succiones de viento, con lo cual se pudo verificar el comportamiento de la estructura básicamente el techo; previa evaluación de los criterios de configuración de las edificaciones de adobe según él (RNE E 080, 2017).

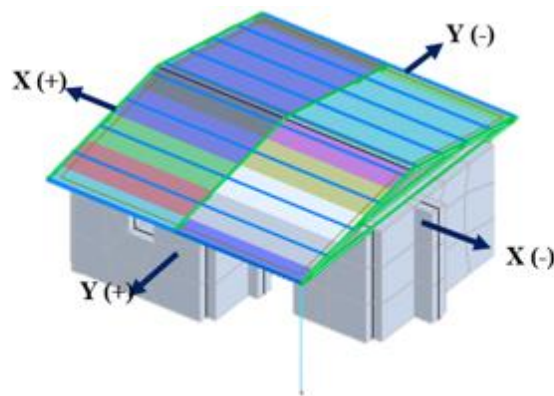


Figura 4. Modelamiento vivienda Sumaq Wasi

Fuente. Elaboración propia

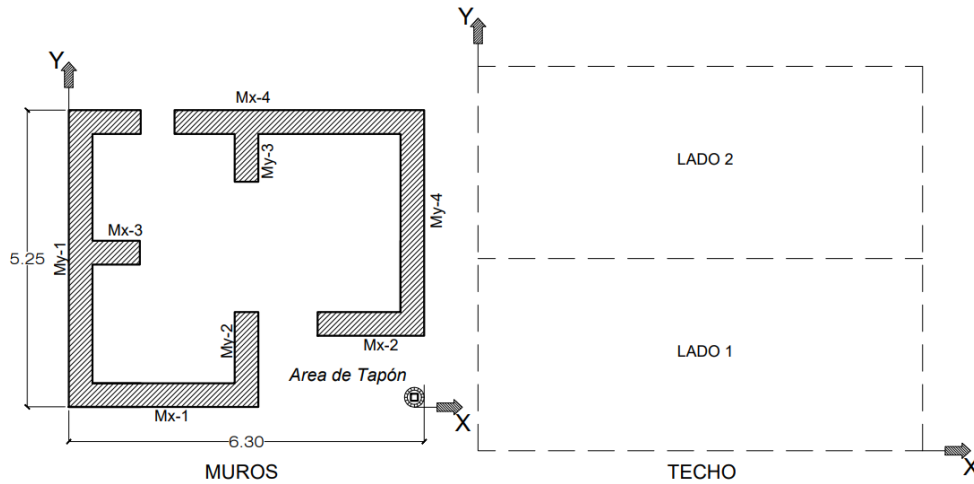


Figura 5. Disposición de muros y techos respecto al sistema de coordenadas

Fuente. Elaboración propia

3.2. Presiones y succiones del viento en las 4 direcciones: X+, X-, Y+, Y-

La velocidad halla

La máxima velocidad hallada en campo con el anemómetro SP-82 AT es 17.30 m/seg y según la Figura 3 “mapa eólico del Perú” se obtiene una velocidad del viento de 130 km/h, considerando a esta la velocidad de diseño hasta una altura de 10 m sobre el suelo, calculándose también una velocidad de diseño para una altura de 3 m según el módulo *Sumaq Wasi* reemplazando en la Ecuación (1), este valor es $V_h = 99.75$ km/h o 27.71 m/seg. Las presiones y succiones del viento se obtuvieron en el Robot Structural con la velocidad de diseño calculada en las 4 direcciones X+, X-, Y+, Y-.

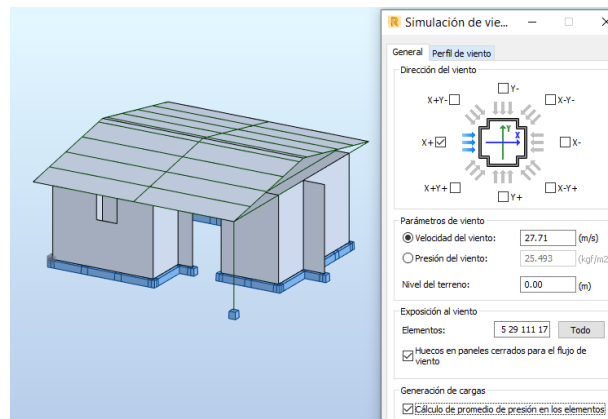


Figura 6. Generación de coeficientes y presiones del viento.

Fuente. Elaboración propia

Al mismo tiempo, se calculó las presiones y succiones de forma manual siguiendo las pautas del (RNE E 020, 2006) con la velocidad de diseño calculada en las 4 direcciones

X+, X-, Y+, Y-. A continuación, se presentan las tablas con todos los respectivos valores hallados generados con cargas de viento de las (4) direcciones:

Tabla 1

Presiones y succiones en muros y techo, dirección X+.

Muro/Techo	Coeficiente de presión $C = P/0.005 \cdot V_h^2$ adimensional.		Presión del viento (Robot) – kgf/m ²		Coeficiente de presión (RNE E 020, 2006) – adimensional		Presión del viento (Manual) – kgf/m ²	
	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.
Mx-1	-	-0.25	-	-12.465	-	-0.70	-	-34.82
Mx-4	-	-0.15	-	-6.978	-	-0.70	-	-34.82
My-1	1.09	-	54.08	-	0.80	-	39.80	-
Techo lado 1	-	-0.39	-	-19.259	-	-0.60	-	-29.85
Techo lado 2	-	-0.39	-	-19.259	-	-0.60	-	-29.85

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Presiones y succiones en muros y techo, dirección X-.

Muro/Techo	Coeficiente de presión $C = P/0.005 \cdot V_h^2$ adimensional.		Presión del viento (Robot) – kgf/m ²		Coeficiente de presión (RNE E 020, 2006) – adimensional.		Presión del viento (Manual) – kgf/m ²	
	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.
Mx-1	-	-0.72	-	-35.904	-	-0.70	-	-34.82
Mx-2	-	-0.21	-	-10.556	-	-0.70	-	-34.82
Mx-4	-	-0.63	-	-31.099	-	-0.70	-	-34.82
My-1	0.53	-	26.105	-	0.80	-	39.80	-
My-2	0.16	-	7.948	-	0.80	-	39.80	-
My-4	0.52	-	25.945	-	0.80	-	39.80	-
Techo lado 1	-	-0.50	-	-24.981	-	-0.60	-	-29.65
Techo lado 2	-	-0.51	-	-25.417	-	-0.60	-	-29.65

Nota. Elaboración propia

Tabla 3*Presiones y succiones en muros y techo, dirección Y+.*

Muro/Techo	Coeficiente de presión $C = P/0.005.V_h^2$ adimensional.		Presión del viento (Robot) - kgf/m ²		Coeficiente de presión (RNE E 020, 2006) – adimensional		Presión del viento (Manual) - kgf/m ²	
	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.
Mx-1	0.15	-	7.304	-	1.10	-	54.72	-
Mx-2	0.14	-	6.923	-	1.10	-	54.72	-
Mx-4	0.89	-	44.33	-	1.10	-	54.72	-
My-1	-	-1.09		-54.139	-	-1.00	-	-49.75
My-4	-	-1.23		-61.276	-	-1.00	-	-49.75
Techo lado 1	0.95	-	47.152	-	1.00	-	49.75	-
Techo lado 2	-	-0.87	-	-43.078	-	-0.90	-	-44.77

Nota. Elaboración propia

Tabla 4*Presiones y succiones en muros y techo, dirección Y-.*

Muro/Techo	Coeficiente de presión $C = P/0.005.V_h^2$ adimensional.		Presión del viento (Robot) - kgf/m ²		Coeficiente de presión (RNE E 020, 2006) – adimensional		Presión del viento (Manual) - kgf/m ²	
	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.	Bar.	Sot.
Mx-4	0.89	-	44.75	-	1.10	-	54.72	-
My-1	-	-0.25	-	-12.247	-	-0.90	-	-44.77
My-4	-	-0.31	-	-15.668	-	-0.90	-	-44.77
Techo lado 1	-	-0.25	-	-12.347	-	-0.90	-	-44.77
Techo lado 2	0.25	-	12.347	-	1.00	-	49.75	-

Nota. Elaboración propia

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se presentan los resultados de las presiones y succiones por unidad de superficie, donde se puede apreciar que el viento en la dirección Y+ produce mayores valores a barlovento, debido a que según la arquitectura del módulo vivienda Suma Wasi, en el eje X, entre los muros Mx-1 y Mx-2, existe un área de tapón (elemento de que divide el interior con el exterior del módulo para generar el confort térmico).

En la Figura 7 se grafica el modelamiento en el Robot Structural y los campos de velocidades en la dirección Y (+) donde se puede apreciar que el viento tiene una mayor incidencia en el muro My-4 con una succión de -61.276 kgf/m² y presión a barlovento 47.152kgf/m² del Lado 1 en el techo a dos aguas; estas valores se generan a partir de un área abierta, desorganizando el flujo acelerado que pasa por debajo de la cubierta que producen turbulencia y vórtices en la estructura, al mismo tiempo debido a la velocidad del viento y

el flujo acelerado que pasa sobre el techo a dos aguas se genera una succión de -43.078 kgf/m^2 , esta resulta del paso del flujo del viento y los vórtices que se generan en la zona a sotavento.

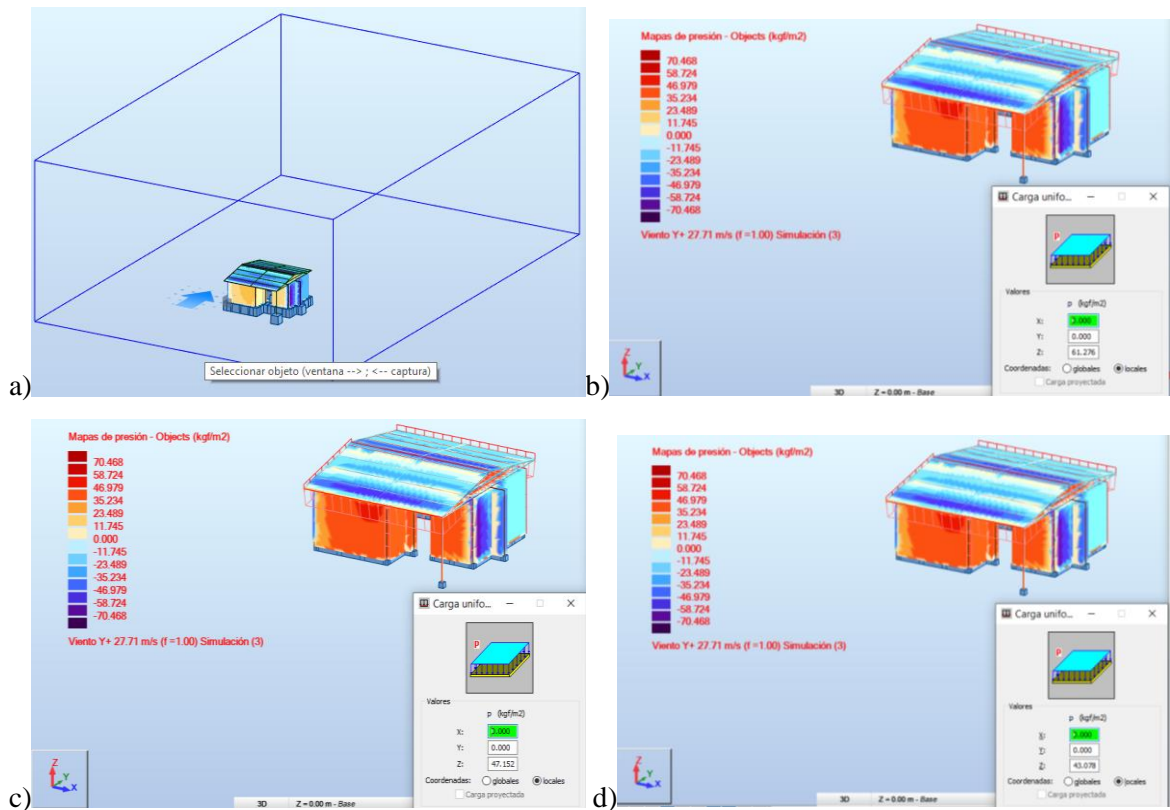


Figura 7. Distribución de las cargas de viento en dirección Y (+)

Fuente. Elaboración propia

Debido a que la distribución de la presión del viento sobre los muros y techo en barlovento y sotavento varía de acuerdo a la longitud y la altura de la edificación (Lopez Bautista , Villaseñor Perea, & Carrilo) obtiene los coeficientes de presión mediante el túnel de viento de un invernadero rural presentando resultados en un rango de 0.5 a 0.8 y en él (RNE E 020, 2006) se proporciona coeficientes de presión de viento en un rango de 0.3 a 0.8. Los resultados obtenidos en esta presente investigación según los cálculos realizados en el Robot Structural, se tienen valores en un rango de 0.14 a 1.23 considerándose como un indicador positivo respecto a la investigación realizada.

3.3. Análisis y Diseño de la Cobertura

El techo es de tipo King Post a dos aguas, de madera con clasificación en el grupo C según (RNE E 010, 2006), el mismo que tiene uso de viviendas unifamiliar con un espesor

de cobertura de 0.30mm, separacion entre tijerales de 1.48m y separacion entre correas de 0.83m.

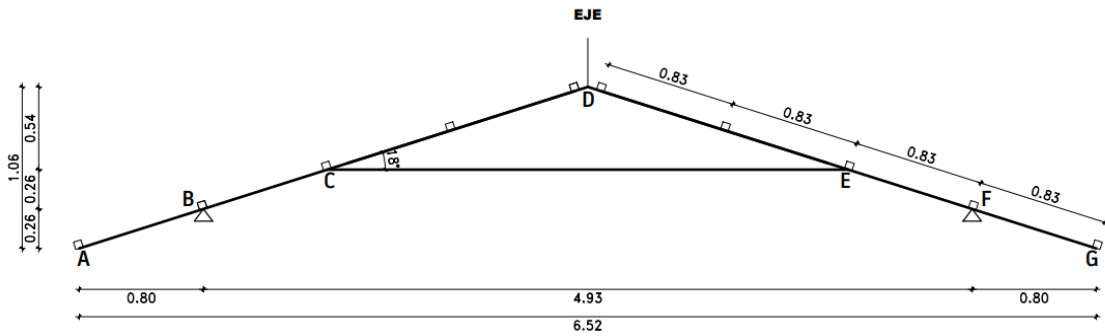


Figura 8. Armadura de la vivienda Sumaq Wasi.

Fuente. Elaboración propia

3.3.1. Cargas.

Al tratarse de una cobertura de madera a dos aguas tipo King Post y encontrarse en el altiplano peruano, se le da mayor énfasis a la carga de viento encontrada con el Robot Structural que, para el análisis y diseño se realiza la combinación de carga más crítica.

Tabla 5

Presiones y succiones en muros y techo, dirección Y (-).

DESCRIPCIÓN	P.U (kg/m ²)	Ancho Trib. (m)	P.U (kg/m)	Cargas	P.U (kg/m)
Peso calamina galvanizada e = 0.30mm	2.000	0.830	1.660	Muerta "D"	2.075
Acabados	0.500	0.830	0.415		
Montaje	30.000	0.830	24.900	Viva "L"	24.900
Mayor valor de carga del viento (Robot Structural)	47.152	0.830	39.136	Viento "W"	39.136

Nota. Elaboración propia

$$C_u = 1.2D + 1.6Lr + 0.8W \dots \dots \dots (3)$$

$$C_u = 1.2(2.075) + 1.6(24.90) + 0.8(39.136)$$

$$C_u = 73.639 \text{ kg/m}$$

3.3.2. Correas.

3.3.2.1. Análisis Estructural.

Para el analisis estructural se empleo la presion del viento mas critica y la carga viva aplicandose en la correas para que se transmitan a la armadura de madera.

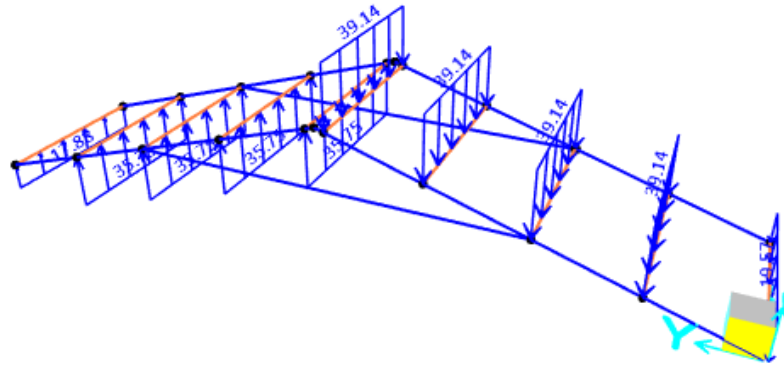


Figura 9. Asignación de cargas en las correas.

Fuente. Elaboración propia

Momento maximo = 17.97 kgf-m

Cortante maximo = 54.65 kgf

3.3.2.2. Momento de Inercia para Deflexiones y Modulo de la Seccion “Z”.

$$I = \frac{5 \cdot C_u \cdot L^3 \cdot k}{384E} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

I = Inercia de la seccion (cm⁴)

C_u = Carga ultima (73.64kg/m)

L = Ancho tributario entre tijerales (1.48m)

k = Cuando no soporta elementos fragiles para carga ultima (250)

E = Modulo de elasticidad de la madera (90000kg/cm²)

$$I = \frac{5 \cdot (73.64) \cdot (1.48)^3 \cdot (250)}{384(90000)} = \mathbf{86.34 \text{ cm}^4}$$

$$Z > \frac{M_{max}}{fm} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

Z = Modulo de la seccion (cm³)

M_{max} = Momento maximo en correas (17.97 kgf-m)

fm = Resistencia admisible por flexion de la madera, + 10 % según el (RNE E 010, 2006) (110 kgf/cm²)

$$Z = \frac{(17.97 \times 100)}{110} = \mathbf{16.34 \text{ cm}^3}$$

Con la inercia y modulo de seccion calculado, determinamos la seccion de acuerdo a las dimensiones conocidas en el mercado, cabe mencionar que la seccion empleada en la construccion de las viviendas *Sumaq Wasi* se utilizo correas de 2"x2", el cual no cumple con el momento de inercia para deflexiones y con este presente calculo se determina que la correa apropiada seria de una seccion de 2"x3" ($I=91.54\text{cm}^2$; $Z=28.17\text{cm}^3$) cumpliendose de esa manera con el (RNE E 010, 2006)

3.3.2.3. Verificacion del Esfuerzo Cortante.

Según el (RNE E 010, 2006) los esfuerzo cortantes "t" calculados, no deben exceder el esfuerzo maximo admisible para corte paralelo a las fibras "fv".

$$V_h = V_{max} - C_u \cdot h \dots\dots\dots (6)$$

$$t = \frac{1.5 \cdot V_h}{b \cdot h} \dots\dots\dots (7)$$

$$t < fv \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

V_h = Cortante a una cierta distancia "h" (kgf)

V_{max} = Cortante maxima (54.65kgf)

h = Altura de la seccion de la correa (0.065m)

b = Base de la seccion de la correa (0.04m)

t = Esfuerzo cortante (kgf)

fv = Corte paralelo a las fibras + el 10% según el (RNE E 010, 2006) (8.80kgf/cm²)

$$V_h = 54.65 - 7364 \cdot (0.065) = \mathbf{49.86kgf}$$

$$t = \frac{1.5 \cdot (49.83)}{0.04 \cdot (0.065)} = \mathbf{2.55 kgf/cm^2}$$

$$t = \mathbf{2.55kgf/cm^2} < fv = \mathbf{8.8kgf/cm^2} \text{ (cumple)}$$

3.3.3. Armadura.

3.3.3.1. Fuerzas Internas.

Las fuerzas internas fueron calculados para una carga ultima según la Ecuacion (3), considerandose la carga de viento mas critica hallada mediante la generacion de cargas en el Robot Structural.

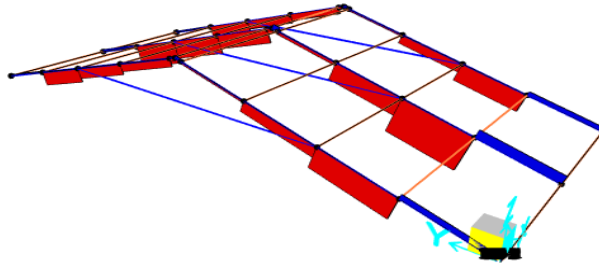


Figura 10. Esfuerzos internos de la armadura.

Fuente. Elaboración propia

La armadura del modulo vivienda *Sumaq Wasi* solo tiene brida superior y se considera el mayor esfuerzo calculado, este valor se encuentra en la barra EF=845.56kgf. El diseño de brida superior se realizara a flexocompresion y para la verificacion se tomara la seccion de construccion que se utilizo (2"x4") con el que se realiza la verificacion correspondiente según el (RNE E 010, 2006).

3.3.3.2. Momento de flexion y esbeltez.

El momento de flexion maxima se determina según la carga ultima y el largo de la brida a diseñar.

$$M = \frac{W_u L^2}{11} \dots\dots\dots (9)$$

$$M = \frac{73.64 \cdot (0.83)^2}{11} = 4.61 \text{kgf} - \text{m}$$

Como estamos en un diseño por flexocompresión primero necesitamos calcular la longitud efectiva según el (RNE E 010, 2006)

$$L_{ef} = 0.4(L_1 + L_2) \dots\dots\dots (10)$$

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{d} \leq 50 \dots\dots\dots (11)$$

$$\lambda < 50 \text{ (Para elementos sometidos a cargas axiales de compresion)} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

L_{ef} = Longitud efectiva (kgf)

L_1 = Longitud adyacente al nodo (0.83m)

L_2 = Longitud contraria al nodo (0.83m)

d = Altura de la seccion (0.1m)

λ = Esbeltez para elementos sometido a cargas de compresion

$$L_{ef} = 0.4 \cdot (0.83 + 0.83) = \mathbf{0.66m}$$

$$\lambda = \frac{0.66}{0.1} = \mathbf{6.64} \leq \mathbf{50} \text{ (cumple)}$$

3.3.3.3. Carga Admisible.

Según el (RNE E 010, 2006) la carga admisible debe calcularse multiplicando el valor del esfuerzo admisible en compresion paralela a las fibras por el area de la seccion

$$N_{adm} = f_c \cdot A \dots\dots\dots (13)$$

$$N_{adm} \geq N \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

N_{adm} = Carga admisible (kgf)

f_c = Compresion paralela de la madera (80.00kgf/cm²)

A = Area de la seccion (5x10cm²)

N = Esfuerzo interno (845.56kgf)

$$N_{adm} = 80 \cdot (5 \times 10) = \mathbf{4000.00kgf}$$

$$N_{adm} = \mathbf{4000.00kgf} \geq N = \mathbf{845.56} \text{ (cumple)}$$

3.3.3.4. Factor de Magnificacion (K_m) y Modulo de la Seccion (Z).

Para calcular el factor de magnificación de momentos (K_m), necesitamos previamente calcular la carga crítica de Euler (N_{cr}).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{ef}^2} \dots\dots\dots (15)$$

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 \cdot \left(\frac{N}{N_{cr}}\right)} \dots\dots\dots (16)$$

$$Z = \frac{b \cdot h^2}{6} \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m \cdot M}{Z \cdot f_m} < 1 \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

N_{cr} = Carga critica de euler (kgf)

E = Modulo de elasticidad minimo (55000.00kgf/cm²)

K_m = Factor de magnificación de momento

f_m = Resistencia admisible a tracción por flexión de la madera (kgf/cm²)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (55000)}{(0.66)^2} = 51299.72 \text{ kgf}$$

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 \left(\frac{845.56}{51299.72} \right)} = 1.025$$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^2}{6} = 83.33 \text{ cm}^3$$

$$\frac{845.56}{4000.00} + \frac{1.025 \cdot (4.61)}{83.33 \cdot (100)} = 0.268 < 1 \text{ (cumple)}$$

3.3.4. Uniones y Detalles Constructivos.

Para el espesor de la cartela se tomo de acuerdo al proceso constructivo del modulo *Sumaq Wasi*. El espesor de cartela es de 2.5cm con lo que se cumple con las condiciones establecidas en el (RNE E 010, 2006).

3.3.4.1. Carga Admisible

La brida superior tiene una base de 5cm y las cartelas tienen un espesor de 2.5cm y según el (RNE E 010, 2006) se utiliza clavos de 3" (76mm), diametro de 3.70mm y carga admisible para grupo C de 44kgf. Excepcionalmente si fuera necesario clavar madera humeda se considera el 80% de la carga admisible considerado cizallamiento simple, este valor sera 35.20kgf.

3.3.4.2. Factor de Cizallamiento

Para una mayor seguridad producto de las cargas del viento se utiliza clavos a doble cizallamiento, porque se recomienda utilizar doble cartela para este tipo de unión. Por lo que multiplicaremos la carga admisible por cizallamiento simple por un factor adimensional de cizallamiento según la (RNE E 010, 2006)1, este factor es igual a 1.80 y la carga admisible por cizallamiento doble es 63.36kgf.

3.3.4.3. Espesores Minimos y Longitud de Penetracion.

Dado que el clavo (cuya longitud es de 76mm) penetra hasta la cartela opuesta, que contiene la punta, se verificarán los espesores para doble cizallamiento simétrico y luego se comparará con el espesor de la madera o la cartela según sea el caso.



Figura 11. Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a doble cizallamiento.

Fuente. Extraído del (RNE E 010, 2006)

3.3.4.4. Factor de Reduccion y Carga Admisible Final.

El factor de reducción es el promedio de las relaciones que resultan de dividir cada penetración (elemento de la cabeza y la punta) entre 5d. este valor es hallado para el elemento adyacente a la cabeza = 1.00 y Elemento que contiene la punta = 0.05, obteniendose un promedio de 0.53 con lo que se calculo la carga admisible final.

$$P_{adm} = C_{admdc} * FR \dots \dots \dots (19)$$

$$P_{adm} = 63.36. (0.53) = 33.39kgf$$

3.3.4.5. Numero y Espaciamiento Minimo entre Clavos.

Para este caso el número de clavos se determina dividiendo la fuerza axial (carga actuante en cada elemento) entre la carga admisible final.

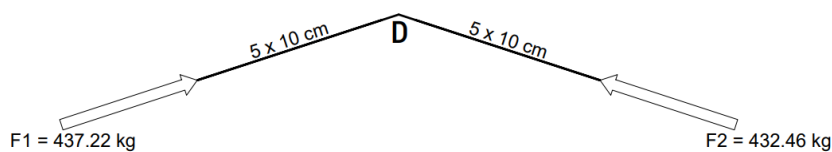


Figura 12. Cargas actuantes en el elemento “D”

Fuente. Elaboración propia

$$N_{clavos} = \frac{F_{axial}}{P_{adm}} \dots \dots \dots (20)$$

$$F1 = N_{clavos} = \frac{437.22}{33.39} = 13.09 Und = 14 Und$$

$$F2 = N_{clavos} = \frac{432.46}{33.39} = 12.95 Und = 13 Und$$

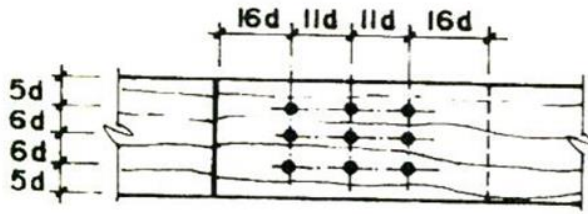


Figura 13. Espaciamiento mínimo entre clavos (doble cizallamiento)

Fuente. Extraído del (RNE E 010, 2006)

Clavos a lo largo del grano y al extremo:

$$11d = 11(3.7) = 40.7\text{mm} = 40\text{mm}$$

$$16d = 16(3.7) = 60.56\text{mm} = 60\text{mm}$$

Clavos perpendicular a la dirección del grano y al borde:

$$6d = 6(3.7) = 22.20\text{mm} = 20\text{mm}$$

$$5d = 5(3.7) = 18.5\text{mm} = 20\text{mm}$$

Se deberá tener en consideración el cálculo realizado para posteriores construcciones de módulos viviendas *Sumaq Wasi* puesto que, en un diseño de una armadura de madera según (Romero, 2016) las uniones y detalles constructivos son muy importantes debido a que estas aseguran el correcto ensamblaje entre cada elemento y por su puesto se garantiza la correcta transmisión de las cargas hacia los muros o los apoyos que tendrán las armaduras.

4. Conclusiones y Recomendaciones

La distribución de las presiones y succiones a lo largo del módulo vivienda rural *Sumaq Wasi* (muros y techo), fueron calculados de forma manual y con el software Robot Structural, generado a partir de cargas de viento por una prueba de túnel de viento virtual; con la finalidad de analizar el comportamiento en las direcciones X+, X-, Y+, Y-; la presión del viento es más significativa en la dirección Y+; estos valores se calcularon para muros y techos; donde a sotavento crítico se genera en el muro $M_{y-4} = -61.276 \text{ kgf/m}^2$ y en el techo a barlovento crítico se genera en el Lado 1 $= 47.152 \text{ kg/m}^2$ con una succión en el lado 2 $= -43.078 \text{ kg/m}^2$, esto debido a que se denota la generación una serie de vórtices y turbulencia por la distribución arquitectónica, geometría y volado con tapón (elemento divisorio entre el exterior e interior del módulo para generar confort térmico).

De acuerdo a la carga crítica del viento generado en el Robot Structural se realizó la verificación del análisis y diseño de la cobertura según él (RNE E 010, 2006), donde la armadura con sección 2"x4" cumple con el criterio de esbeltez=6.64 menor a 50 para elementos sometidos a cargas axiales de compresión, al mismo tiempo el diseño la brida superior sometido a flexocompresión obtuvo un valor de 0.268 siendo este menor que (1) cumpliéndose de esa manera con el criterio según él (RNE E 010, 2006). Caso contrario pasa con las correas puesto que en las construcciones se encontró una sección de 2"x2" y según los cálculos realizados, para que sea factible las correas deberán tener una sección de 2"x3" como mínimo y tener en consideración que las uniones se deberá trabajar con doble cartela para asegurar el buen comportamiento por cargas de viento con clavos de 3" como mínimo de acuerdo al número y espaciamiento de clavos proporcionado por él (RNE E 010, 2006).

Los cálculos realizados mediante el Robot Structural y de forma manual tienen ciertas diferencias, ya que algunos resultados son distantes debido a que él (RNE E 020, 2006) es puntual y ambiguo, por lo que no es difícil deducir que nuestra normativa necesita una actualización y darle un mayor importancia a la acción del viento para el análisis y diseño de viviendas rurales, caso módulos *Sumaq Wasi*, ya que en la actualidad se vienen construyendo a lo largo del altiplano peruano y con esta presente investigación queremos que este tipo de construcciones sean factibles.

En consecuencia, un buen análisis, diseño, ubicación del módulo y control durante el proceso constructivo discrimina las fallas que se pudieran encontrar. Por ello las construcciones de viviendas módulos *Sumaq Wasi* deberían seguir construyéndose para el beneficio de las zonas rurales del altiplano peruano.

Referencias bibliográficas.

Gullbrekken, L., Uvslokk, S., Kvande, T., & Pettersson, K. (2018). Coeficientes de presión del viento para la ventilación del techo. *Revista de ingeniería eólica y aerodinámica industrial*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.01.026>

Vieira Neto, J. G., & Soriano, J. (2020). Modelado computacional aplicado para predecir los. *ScienceDirect*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.10.003>

Andina . (2017). Obtenido de agencia peruana de noticias: <https://andina.pe/agencia/noticia-%C2%BFconoce-son-vientos-fuertes-y-por-debemos-tener-cuidado-893254.aspx>

Bustamante, C., Jans, M., & Higuera, E. (2014). El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estancial del espacio publico, punta arenas Chile. *AUS*, 33. doi:<https://doi.org/10.4206/aus.2014.n15-06>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Lopez Bautista , V., Villaseñor Perea, C. A., & Carrilo , G. M. (s.f.). Análisis de coeficientes de la fuerza del viento y comportamiento del flujo sobre un modelo de invernadero. *SciELO*. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.257>

Matta, F., Cuellar, M., & Garbin , E. (2014). Estructuras de vivienda de mamposteria de tierra para cargas de viento extremas. *Estructuras de ingenieria*, 13.

Ministerio de Vivienda y Construcción. (s.f.). *Gob.pe*. Obtenido de programa nacional de vivienda rural: <https://www.gob.pe/institucion/pnvr/institucional>

Qin Meng, F., Jie He, B., Zhu, J., & Xue Zhao, D. (2018). Análisis de sensibilidad de los coeficientes de presión del viento en edificios altos. *journal of building engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.01.004>

RNE E 010. (2006). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *E 010 Madera*. PERU.

RNE E 020. (2006). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *Norma E 020 Cargas*. PERU.

RNE E 030. (2019). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *E 030 Diseño Sismo Resistente*. PERU.

RNE E 080. (2017). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *E 080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. Peru.

Romero, C. (2016). *Diseño de una vivienda de madera de dos niveles con el sistema de poste y viga*. Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú.

Santos, A., Romantchik, E., Rios, E., & Terrazas, D. (2018). Análisis del flujo de aire de los extractores de invernadero usando la simulación por CFD. *Ingeniería investigación y tecnología*. doi:<https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2019.20n1.012>.

Stathopoulos, T., & Alrawashdeh, H. (2020). Wind loads on buildings: A code of practice perspective. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104338>

Terres Nicoli, J. M., & Mans, C. (2014). Estudio comparativo de aplicación de la norma EN1991-1-4. *Hormigón y Acero*, 161. doi:[10.1016/S0439-5689\(14\)70007-5](https://doi.org/10.1016/S0439-5689(14)70007-5)

Anexos

Anexo A. Evidencia de sumision a una revista indexada “REVISTA DE INGENIERIA Y CONSTRUCCION”



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



HOME

ACERCA DE

BUSCAR

ACTUAL

ARCHIVOS

PRÓXIMOS ARTÍCULOS

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos > #1401 > Resumen

RESUMEN

REVISIÓN

EDICIÓN

Envío

Autores/as	Edson Alexis Coaquira Mamani, Diana Yaneth Quispe Cama, Milton Vilca Llano
Título	Análisis del comportamiento de las viviendas Sumac Wasi por efectos del viento.
Archivo original	1401-7961-3-SM.DOCX 2022-06-10
Archivos comp.	1401-7962-1-SR.XLSX 2022-06- AÑADIR UN ARCHIVO COMPLEMENTARIO 10
Emisor/a	Coordiales saludos Edson Alexis Coaquira Mamani
Fecha de envío	junio 10, 2022 - 11:52
Sección	Artículos de Investigación
Editor/a	Ximena Araya Gallardo
Comentarios del autor/a	Artículo de investigación para el aporte de nuevos conocimientos en el campo de la construcción de viviendas rusticas en zonas rurales del Perú.

Estado

Estado	En revisión
Iniciado	2022-06-10
Modificado por última vez	2022-06-10

Metadatos del envío

EDITAR METADATOS

Autores/as

Nombre	Edson Alexis Coaquira Mamani
Institución	UNIVERISAD PERUANA UNION
País	Perú
Resumen biográfico	Egresado de la Universidad Peruana Union filial Juliaca, Puno, Peru.
Contacto principal para la correspondencia editorial.	
Nombre	Diana Yaneth Quispe Cama
Institución	UNIVERISAD PERUANA UNION
País	Perú
Resumen biográfico	Egresado de la Universidad Peruana Union filial Juliaca, Puno, Peru.
Nombre	Milton Vilca Llano
Institución	UNIVERISAD PERUANA UNION
País	Perú
Resumen biográfico	Egresado de la Universidad Peruana Union filial Juliaca, Puno, Peru