

Artículo original

Modelación de acción viento y nieve sobre estructuras en caso de climas extremos

Modeling of wind and snow action on structures in case of extreme weather

Raúl E. Novoa⁽¹⁾; Daniel O. Díaz⁽²⁾ ; José Rueda⁽³⁾

⁽¹⁾Universidad Nacional de la Matanza
rnovoa@unlam.edu.ar

⁽²⁾ Universidad Nacional de la Matanza
ddiaz@unlam.edu.ar

⁽³⁾Universidad Nacional de la Matanza
jrueda@unlam.edu.ar

Resumen:

Se llevó a cabo una modelación de acción dinámica viento y nieve en conjunto. Tomando como base de la modelación una estructura en la Antártida (Base Marambio). Se utilizó el software ANSYS, en especial el Fluent 2020 R2.

Como resultado del modelo se puede observar que la acción de viento y nieve en conjunto no cumple con la relación lineal que establecen las normas (ASCE-7, CIRSOC), se observa a partir de los resultados de modelo que no se debe utilizar una función lineal para superponer los efectos de viento y nieve.

Abstract:

A dynamic wind and snow action modeling was carried out together. Taking a structure in Antarctica (Marambio Base) as the modeling base. ANSYS software was used, especially Fluent 2020 R2.

As a result of the model, it can be observed that the action of wind and snow together does not comply with the linear combination established by the standards (ASCE-7, CIRSOC), it is observed from the model results that a function should not be used linear to overlay the effects of wind and snow.

Palabras Clave: *nieve, viento, dinámicas, fluent, Antártida, cfd*

Key Words: *snow, wind, dynamics, Antartida, cfd*

Colaboradores: Diego Lignassi; Vivian Jeandet ; Matías Rodríguez

I. INTRODUCCIÓN

Toda esta investigación se disparó debido a que unos integrantes del equipo investigación pertenecen a la Fuerza Aérea Argentina con varias misiones a la Antártida. En las misiones se había observado algunos fenómenos de la acción de la nieve que parecían no coincidir con los reglamentos vigentes en el diseño estructural. Los fenómenos que se evidenciaron fue la acumulación y socavación excesivas de nieve en contra las construcciones.

Obviamente este fenómeno se debe a la localización y al motivo que los periodos de nevada son extremadamente largos y que no existe la posibilidad de realizar el mantenimiento habitual de otras locaciones. Por lo cual este fenómeno ocurre sin la intervención o mantenimiento humano que mitiguen los efectos de la nieve.

Al ver la forma de acumulación de la nieve se evidenciaba que los perfiles de empuje de las construcciones deberían cambiar por la acción de la acumulación excesiva de la nieve y por tal razón la acción de la nieve afectaría al perfil alar de las construcciones.

Pero al desarrollar el proyecto llegamos a una conclusión principal que consiste que la nieve no solo cambiaba los coeficientes de empuje de las construcciones, sino que la nieve en suspensión aceraba al viento.

Esto último es muy importante, ya que el fenómeno no se circunscribe a la presencia de la nieve de lugares extremos, sino que el fenómeno ocurrirá en otros lugares donde el viento quiera pasar por materia en suspensión o donde se genere una cortina que impida el flujo normal del viento, como partículas de agua de lluvia, polvos de minería o cortinas de árboles.

Esto último es lo más importante, ya que con este trabajo pudimos demostrar que el viento por querer pasar por la cortina de partículas de nieve se acerca y su velocidad depende de la cantidad de partículas en suspensión de nieve. Por lo cual la nieve afecta al viento y el viento acelerado traslada a la nieve.

Esta condición de codependencia entre nieve y viento provoca que la combinación lineal de las acciones tratadas en forma independiente pueda alejarse mucho de la realidad.

En nuestro análisis realizamos una simulación en CFD en Fluent de ANSYS, en el cual modelamos dos ingresos distintos, uno horizontal para el viento y otro vertical para la nieve hecho. Este hecho es novedoso a otros trabajos donde el ingreso de viento y nieve ocurre por el mismo lugar en forma horizontal.

Como resultado del modelo se puede observar que la acción de viento y nieve en conjunto no cumple con la relación lineal que establecen las normas (ASCE-7, CIRSOC)

II. DESARROLLO

El análisis dinámico de diversas construcciones en el ámbito de la ingeniería civil, ha adquirido una gran importancia en la actualidad debido a los repetidos daños e inconvenientes sufridos por diversas instalaciones tanto a las acciones dinámicas originadas en causas naturales (sismo, viento, oleaje) como a las acciones generadas por la actividad humana (tránsito peatonal y vehicular, trenes y subterráneos, vibraciones de máquinas, explosiones, pilotajes, etc.).

En particular dentro de la Aeroelasticidad, se analizan las vibraciones que ocasiona el viento en estructuras cilíndricas [1], la clasificación de acciones del viento en edificios [2], y como se ve afectada la acción del viento sobre la estructura por la geometría que rodea al edificio [3].

En el diseño de las construcciones la mayoría de los reglamentos vigentes como la ASCE-7 16 [4], CIRSOC [5], [6] o Euro-códigos, analizan las acciones climáticas por separado y luego realizan una combinación lineal de estas cargas calculadas.

Estos coeficientes de combinación lineal varían según cada reglamento y además varían según la edición del

reglamento que estemos analizando y a medida que se analiza la probabilidad de ocurrencia estos coeficientes son susceptibles de revisiones o ajustes según se investiga.

Independientemente de los coeficientes de combinación lineal adoptados, los reglamentos presuponen que la acción del viento es independiente de la acción de la nieve y que la acción del viento no es influenciada por la acción de la nieve. Dicho de otra manera, que la acumulación de nieve no afecta al perfil aerodinámico de la construcción y/o del terreno y por consiguiente que los coeficientes de arrastre exterior sobre las construcciones no se ven afectados.

Esto puede ser bastante lógico, si una persona tratara de limpiar la cubierta después de una nevada o al considerar que el efecto del sol derrite la totalidad de la nieve sobre la cubierta.

Pero dado que el trabajo de investigación está localizado en la Antártida, con datos de la base Marambio, es decir un lugar inhóspito y extremo, donde los temporales impiden que las personas puedan realizar esas tareas de mantenimiento por lapsos muy prolongados y donde la posibilidad que el sol derrita la acumulación de la nieve se ve también disminuida por la escasa radiación solar. Es necesario tener un procedimiento de cálculo para estas zonas.

El presente trabajo de investigación modela la acción del viento y nieve en conjunto en un programa de CFD. Los programas de CFD realizan un enfoque distinto a los reglamentos ya que considera la interacción de las partículas con el flujo. La interacción propuesta es 4way, es decir que las partículas afectan al flujo y que además las mismas pueden colisionar generando partículas más grandes.

Los resultados obtenidos del aumento de la velocidad del viento por efecto de la acción de la nieve se aplican a la totalidad del recinto, pudiendo afectar a las edificaciones. La incidencia del aumento de velocidad sobre la edificación dependerá de la ubicación de la

edificación respecto de la ubicación de la nube o tormenta de nieve.

Por la topografía y ubicación de la Base Marambio se desestimó los efectos de rugosidad y topográficos que indican los reglamentos para la evaluación del viento, lo que posibilita hacer transportaciones a otros tipos de implantaciones más fácilmente.

III. MODELO UTILIZADO:

Para llevar a cabo el modelo se utilizó el software Ansys. Para la modelación de la estructura se tuvieron en cuenta las dimensiones de las edificaciones existentes en la base Marambio.

Entradas de datos del modelo

Velocidades de viento:

Se adoptaron las siguientes velocidades, 10 m/s (36 Km/h), 30 m/s (108 km/h), 50 m/s (180km/h).

Como se puede ver en la siguiente tabla 1 las velocidades son variadas desde una mínima sin viento hasta máximas de 204 km/h, por lo tanto, viendo la gran variedad de valores de viento se adoptaron los valores anteriormente mencionados.

Valores	VELOCIDADES DEL VIENTO BASE MARAMBIO												Total
	MESES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Promedio de km/h	28.03	38.35	44.98	48.65	48.46	56.86	57.11	52.97	54.09	46.03	39.55	35.54	47.5
Máx. de km/h	80.00	98.00	148.00	117.00	126.00	148.00	204.00	120.00	144.00	111.00	96.00	93.00	204.0
Mín. de km/h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Desvest de km/h	17.51	20.29	22.81	21.86	23.38	24.65	23.54	21.64	23.50	21.72	19.69	19.79	23.6
Promedio de DIRECCION	17.52	19.31	20.38	20.78	21.72	21.99	22.66	22.65	21.56	20.69	19.53	18.80	20.9
Promedio de seg	67.00	62.07	56.19	50.78	50.41	45.88	45.94	46.16	47.33	52.36	57.67	61.67	52.4

Tabla 1

Densidad del viento:

Se adoptó una densidad de 1,226 kg/m³. Esta densidad es la correspondiente al reglamento ASCE7-16 [4]

Densidad de la nieve en el aire

Se adoptó 100Kg/m³. La cohesión de la nieve depende del contenido de humedad [6] estando en rangos de 40 y 250 kg/m³. Los copos de nieve se forman por trabazón de los mismos y luego por la incrustación o sintetizado molecular. Estos copos de nieve seca se forman con vientos bajos dando densidades de 80 kg/m³ a 150 kg/m³.

Tamaño de partícula de la nieve:

Los diámetros seleccionados fueron 0.5mm, 1 mm, 1.5mm y 2mm

Según en el momento de cristalización del vapor de agua, el tamaño de la partícula podrá tomar distintos valores [7]. Como se puede ver en la siguiente tabla para diferentes estados y formación de la nieve se tienen distintas medidas.

Estado	Formación	Diámetro	Precipitación
Líquido	Llovizna	0.1/0.5mm	1mm/h
Líquido	Lluvia	0.5mm/1mm	2.5mm/h - 7.6mm/h
Sólido	Cristal de nieve	0.5-2mm	
Sólido	Copo de nieve	1cm-2cm	0.3m/s – 0.5 m/s
Sólido	Escarchilla	5mic	0.5m/s – 1m/s
Sólido	Granizado Blando	2mm a 5mm	2m/s -5m/s
Sólido	Grano de Hielo		
Sólido	Granizo	5mm a 10cm o mas	

Tabla 2

Velocidad de entrada de la nieve:

Se ingresaron los siguientes valores de velocidad en función del tamaño de las partículas.

Partícula 0.5 mm	V=3m/s
Partícula 1.0 mm	V=4m/s
Partícula 1.5 mm	V=5m/s
Partícula 2.0 mm	V=6m/s

Tabla 3

Estos valores surgen de la tabla 2

Fracción volumétrica de la nieve en el ingreso:

Los valores ingresados son 0,1 (10%), 0,3 (30%), 0,6 (60%) y 0,9 (90%)

La fracción volumétrica significa la cantidad de sólido por volumen de control. Es decir, una la fracción volumétrica del 10% indica que el área de ingreso estará ocupada por el 10% del sólido (nieve). Hemos tomado las fracciones volumétricas anteriores.

Coefficiente de fricción:

Se consideró el valor de 40°

Este valor corresponde al análisis de la fuerza de fricción entre copo de nieve y copo de nieve suponiendo un manto de nieve, además se considera la fuerza de arrastre para trasladar el copo a otro lugar de acumulación. En función la tabla que figura en [7] se ha seleccionado el valor.

Modelo geométrico de la estructura

La argentina cuenta con 7 bases permanentes y 13 bases temporales. Las bases permanentes son: Belgrano II, Carlini, San Martín, Esperanza, Marambio, Orcadas, y Petrel. En la siguiente imagen se pueden ver las viviendas de la Base Esperanza, que son alojamientos característicos de la zona



Fig. 1

Como se puede observar la mayoría de las viviendas tienen cubiertas inclinadas tipo de dos aguas, y un par de edificios con techos curvos.

En el siguiente esquema se tiene una vista lateral de las edificaciones existentes en un sector de la Base Marambio, y los cortes transversales de las estructuras.

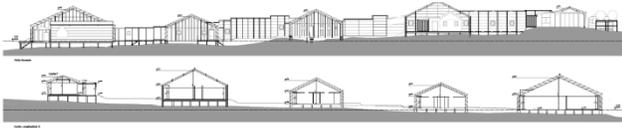


Fig. 2

En la mayoría de los casos con cubierta tipo a dos aguas, de todas ellas, se seleccionó la siguiente estructura:

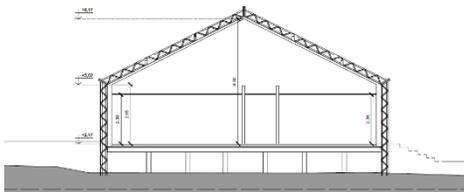


Fig. 3

Con las siguientes consideraciones para el diseño del esquema a plantear en el programa CFD:

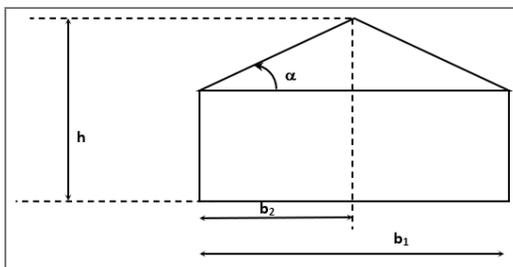


Fig. 4

Altura hasta la cubierta $h = 8\text{m}$; ancho del edificio $b_1 = 14\text{m}$; ancho entre pared y cumbrera $b_2 = 7\text{m}$; pendiente del techo $\alpha = 25^\circ$; largo de la estructura $l = 30\text{m}$,

Se considera también una permeabilidad a las acciones externas nulas, esto depende de los materiales y de la geometría, pero en una primera aproximación lo idealizamos y suponemos que el viento junto con la nieve no genera acciones internas, es suponer una estructura estanca.

Este modelo de estructura se usará para analizar el modelo aerodinámico bajo la acción del viento y nieve con las características de la zona antártica.

Modelo de cálculo para la simulación

La simulación se llevó a cabo con el software Fluent 2020 R2 de Ansys.

Las medidas del recinto son 1400 m de largo x 100 m de alto ubicándose la estructura en la mitad del recinto, como se puede ver en la siguiente figura

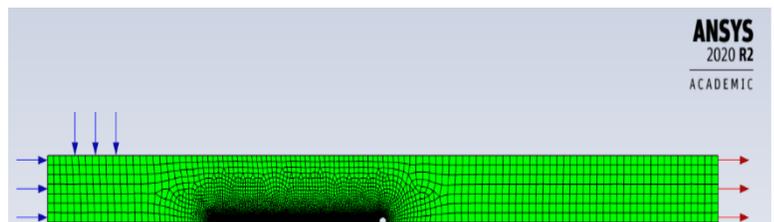


Fig. 5

La parte oscura de la Fig. 5 es donde se considera la fricción entre nieve y nieve (ver coeficiente de fricción).

Las flechas verticales indican la entrada de la nieve con las consideraciones de densidad, tamaño de partícula, velocidad y fracción volumétrica.

Las flechas horizontales azules indican el ingreso del viento y las rojas la salida del mismo.

IV. RESULTADOS

De acuerdo con el modelo anterior se corrieron diferentes simulaciones con entradas de viento de 10 m/s, 30 m/s y 50 m/s y con fracciones volumétricas de nieve de 5%, 10%, 30%, 60% y 90%. Obteniendo como resultado: a) velocidades máximas dentro del recinto, b) velocidad del recinto en la posición X =700 m, Y =50 m, dicha posición se encuentra por arriba de la estructura. c) velocidades sobre la pared de la estructura a barlovento y sotavento. d) velocidad del viento sobre el techo de la estructura a barlovento y sotavento.

entr ada de aire m/s	Entrad Nieve Fracc. Volum	Velocidad del Viento en el recinto		Velocidad viento sobre la construcción			
		Max	X:700 Y:50	Pared		Techo	
V _{aire}	%	V _{max}	V _{med}	Barlov.	Sotav.	Barlov.	Sotav.
10	5%	43	15	5	0	5	0
10	10%	27	27	4	0	22	0
10	30%	52	26	0	0	26	0
10	60%	335	50	0	0	35	0
10	90%	210	30	0	0	42	0
30	5%	43	17	6	0	8	0
30	10%	1970	98	0	200	130	200
30	30%	80	32	12	0	18	0
30	60%	85	42	19	0	23	0
30	90%	93	47	12	0	18	0
50	5%	77	42	10	0	20	0
50	10%	129	22	25	0	25	0
50	30%	131	65	20	0	36	0
50	60%	85	47	21	0	19	0
50	90%	137	82,5	55	0	35	0

Nota: Velocidades en m/s

Tabla 4

Los valores obtenidos para la velocidad de 30 m/s de viento y 10% de fracción volumétrica, se desestiman debido a que dan valores muy altos y se escapan del rango

de valores que se obtienen con las otras velocidades y fracciones.

Los valores que dan cero sobre la estructura, tanto en pared como en techo indican que la nieve se ha adherido a la estructura.

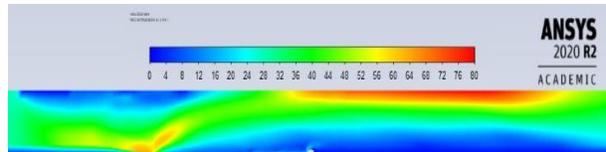


Fig. 6

La imagen (Fig. 6) se corresponde con una entrada de viento de 30 m/s y una fracción volumen nieve de 5%. Como resultado las diferentes gamas de colores (azul velocidad mínimo de 0 y rojo con velocidad máximo 80m/s) indican las distintas velocidades de viento y nieve en conjunto dentro del recinto modelado.

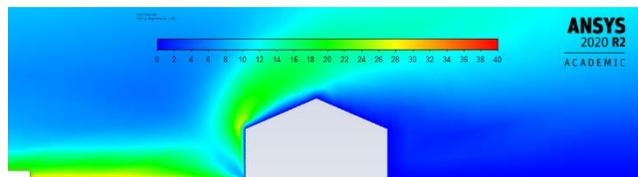
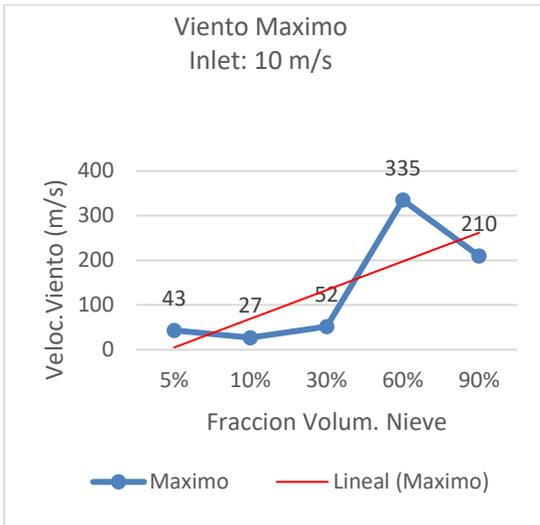


Fig. 7

La imagen (Fig. 7) se corresponde con una entrada de viento de 30 m/s y una fracción volumen nieve de 5%. En este caso se recortó el modelo en las inmediaciones de la estructura, como en la figura anterior las diferentes velocidades están indicadas por las gamas de colores (azul velocidad mínimo de 0 y rojo con velocidad máximo 40m/s)

Análisis de resultado:

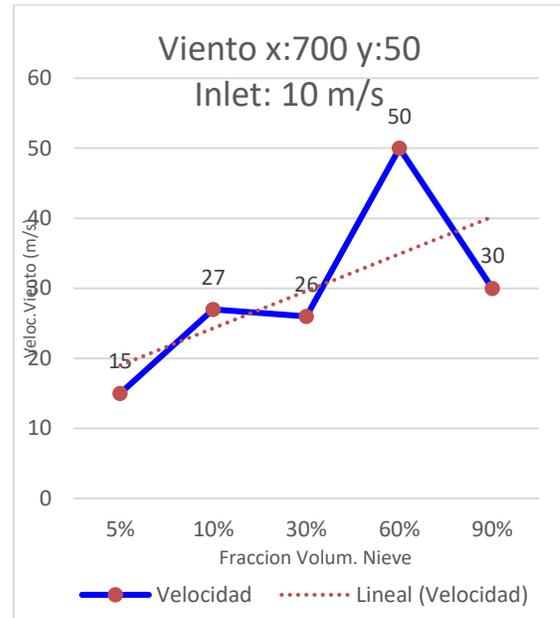
En vista de los valores obtenidos en el recinto podemos ver que la acción de viento y nieve no siguen una función lineal tal como lo consideran las normas ASCE-7 [4], CIRSOC [5] [6]. Los siguientes gráficos han sido confeccionados a partir de la tabla 4



Graf. 1

En este gráfico (Graf. 1) podemos ver las velocidades máximas para una entrada de viento y para los diferentes valores de fracción volumétrica de nieve (Azul), en color rojo se encuentra el ajuste lineal. Como se puede observar no existe una correlación lineal entre la acción del viento y de la nieve. Lo mismo ocurre si tomamos las distintas velocidades de viento como entrada en función de las volumétricas de nieve.

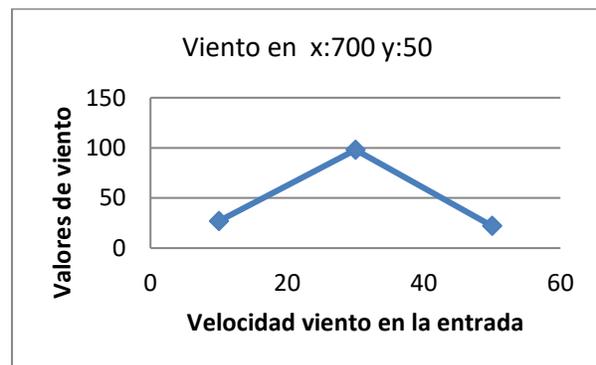
Si analizamos las velocidades en un punto fijo del recinto. Coordenadas X=700 m Y= 50 m obtenemos el siguiente gráfico (Graf. 2):



Graf. 2

Como se puede ver si en vez de considerar los valores máximos de viento dentro del recinto se considera un punto fijo, tampoco se obtiene una correlación lineal.

El siguiente gráfico (Graf. 3) corresponde a los valores de viento en las coordenadas X=700 Y=50 para una fracción volumétrica de nieve constante del 10% y a distintas velocidades de entrada del viento



Graf. 3

Como se puede observar tampoco mantiene una relación lineal entre la acción del viento y la nieve.

V. CONCLUSIONES

La acción dinámica del aire se ve aumentada por la presencia de las partículas de nieve, esto se debe a que el aire debe pasar entre las partículas, lo que provoca su aceleración, llegando a ser en promedio, 4 veces más grande que la velocidad de entrada.

Como se puede observar en los análisis de resultados, la relación lineal entre viento y nieve que establecen las normas [4] [5] [6] no se cumple cuando se produce una interacción dinámica. Como muestran los gráficos no existe una correlación lineal.

Queda para futuras investigaciones realizar un modelo más ajustado y analizar los perfiles aerodinámicos (Cd) que establecen las normas y compararlos con los obtenidos en un nuevo modelo

VI. AGRADECIMIENTOS

A nuestros abuelos que siempre creyeron que la educación era un bien supremo que uno podía acceder con mucho esfuerzo y dedicación, como en esta investigación.

VII. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Análisis de vibraciones aeroelásticas en estructuras esbeltas sometidas a cargas de viento” – Ali Vasallo Belver – Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid - Año 2009.
- [2] “Comparative study of major international wind codes and standards for wind effects on tall buildings” - Dae Kun Kwon, Ahsan Kareem - Engineering Structures 51, ScienceDirect (Elsevier), pp 23- 35 – Año 2013.

- [3] “Effect of recessed cavities on wind-induced loading and dynamic responses of a tall building” - S.Y. Wong, K.M. Lam – Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics 114 ScienceDirect (Elsevier), pp 72 - 82 – Año 2013
- [4] ASCE7-16, “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”, standard by American Society of Civil Engineers, 06/19/2017- ISBN(s): 9780784414248, 9780784479964
- [5] Reglamento CIRSOC 102, “Reglamento Argentino De Acción Del Viento Sobre Las Construcciones”, Editado por INTI (Instituto Nacional De Tecnología Industrial), año2008.
- [6] Reglamento CIRSOC 104, “Reglamento Argentino De Acción De La Nieve Y Del Hielo Sobre Las Construcciones”, Editado por INTI (Instituto Nacional De Tecnología Industrial), año2008.
- [7] “Manual De Nieve Y Nivometría”, Vol. 1, Ministerio De Obras Públicas Dirección General De Aguas (República De Chile) - Geoestudios Ltda. – Diciembre 2008

Otras recomendaciones generales

Este trabajo de investigación podrá ser tenido en cuenta por el reglamento CIRSOC 102-05 para futuras revisiones debido a que dicho reglamento no posee estadísticas en la zona Antártida,

El trabajo se limita a la geometría y condiciones de borde indicadas

La modelación realizada se continuará con los trabajos de campo de la próxima campaña a la Antártida.

Recibido: 2023-03-30

Aprobado: 2023-07-04

Hervínculo Permanente: <https://doi.org/10.54789/reddi.8.1.2>

Datos de edición: Vol. 8-Nro. 1-Art. 2

Fecha de edición: 2023-07-31

