

Evaluation of energy efficiency measures for the ecuadorian antarctic station Pedro Vicente Maldonado through a calibrated building energy model

Evaluación de las medidas de eficiencia energética para la estación antártica ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado a través del modelo de energía calibrada para edificaciones

Isabel Miño^{1*}, Carlos Naranjo*, Andrés Montero*

* National Institute of Energy Efficiency and Renewable Energy, Quito. ECUADOR

** National Polytechnic School, Quito. ECUADOR

Fecha de Recepción: 30/10/2014

Fecha de Aceptación: 30/12/2014

PAG 127-134

Abstract

In Antarctica, as a sensitive continent to human activities and a strategic site for research on the effects of climate change, it is important that the developed projects minimize environmental impacts. Within this context, the Ecuadorian Antarctic seasonal Station Pedro Vicente Maldonado, built in 1990, will become, in a few years a permanent station. For this reason, to optimize energy consumption, various energy efficiency measures were analyzed on a calibrated energy model based on the current base diesel consumption for heating. The results of this study show that the envelope elements, for which more energy is lost, are both floor and roof. Furthermore, due to the low window to wall ratio of the station, the reduction in diesel consumption generated by the use of triple and quadruple glazing is not significant. By combining different energy efficiency measures, up to 50% of savings on annual diesel consumption for heating can be achieved compared to the diesel consumption that the current station would present operating permanently. This study will serve as a reference for the changes to be implemented at the station.

Keywords: Antarctica, building energy modelling, calibration, energy efficiency measures, ecuadorian station

Resumen

En la Antártica, un continente sensible a las actividades humanas y un lugar estratégico para la investigación de los efectos producidos por el cambio climático, es importante que los proyectos desarrollados ahí minimicen su impacto medioambiental. Bajo este concepto, la estación antártica Pedro Vicente Maldonado, construida en 1990 y operada por Ecuador durante el verano austral, se convertirá dentro de pocos años en una estación permanente. Por ello y con el fin de optimizar el consumo energético, se han analizado diversas medidas de eficiencia energética de acuerdo a un modelo energético basado en el actual consumo de diésel para calefacción. Los resultados de este estudio demuestran que los elementos de la envolvente del edificio, por donde se pierde gran parte de la energía, son el piso y el techo. Por otro lado, debido a la baja relación ventana-paredes de la estación, la reducción en el consumo de diésel generado por el uso de vidrios triple y cuádruple no es significativa. Al combinar diferentes medidas de eficiencia energética, se puede ahorrar hasta un 50% del consumo anual de diésel para calefacción si se compara con el consumo que tendría la estación actual operando en forma permanente. Este estudio servirá de referencia para implementar los cambios necesarios en dicha estación.

Palabras Clave: Antártica, simulación energética en edificación, calibración, medidas de eficiencia energética, estación ecuatoriana

1. Introducción

La Antártica es un punto estratégico en el desarrollo de la investigación en aspectos relacionados principalmente con el cambio climático, astrofísica, biología marina, ciencias de la Tierra y geofísica. Por eso, desde la década de 1940, se han construido más de 80 estaciones de investigación en el territorio. Las estaciones cuentan con servicios mecánicos, plomería y sistemas energéticos (COMNAP, 2014). La mitad de ellas operan sólo durante el verano austral y el resto, durante todo el año (estaciones permanentes). Para entregar condiciones de vida adecuadas para sus ocupantes, las estaciones deben contar con abastecimiento energético (electricidad y calefacción), con un excelente diseño de aislación y con la capacidad para cumplir con la demanda de energía incluso en periodos de temperatura extremadamente bajas. Este tipo de sistemas de abastecimiento energético debe ser implementado con criterios que consideren un bajo impacto medioambiental puesto que la Antártida es muy

sensible a las actividades humanas. De hecho, el Consejo de Administradores de los Programas Antárticos Nacionales (COMNAP), el Tratado Antártico y varios programas antárticos nacionales han desarrollado numerosas directivas para evaluar y reducir el impacto medioambiental de los proyectos que se desarrollarán en la Antártica (Mason, 2007). Dichos programas fomentan la reducción en el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía (COMNAP, 2007).

Dependiendo de la estación, la demanda de combustible fósil para calefacción es muy alta. Según informan Steel y Guichard (1993), la demanda energética en las estaciones antárticas está regida por el requerimiento en calefacción lo que lleva a la necesidad de implementar medidas de eficiencia energéticas para reducir el consumo de combustible fósil. Desafortunadamente, las primeras estaciones antárticas fueron diseñadas sin considerar los criterios de eficiencia energética. Por esa razón, se han hecho esfuerzos por remodelar las instalaciones o renovar los antiguos equipos que consumían mucho combustible. Sin embargo, en los últimos años, las medidas de eficiencia energética son consideradas desde las primeras etapas de diseño. Por ejemplo, la estación sueca Wasa, construida en 1989, posee un bajo consumo de energía para calefacción

¹ Autor de correspondencia:

Technical analyst, Research group Building Energy Efficiency. National Institute of Energy Efficiency and Renewable Energy

E-mail: isabel.mino@iner.gob.ec



debido al uso de aislante de lana mineral de 30 a 50 cm de espesor en paredes y techos, y al uso de sistemas de recuperación del calor de los generadores eléctricos (Tin et al., 2010). De hecho, la recuperación del calor es la medida más utilizada de eficiencia energética usada en las estaciones antárticas (Tin et al., 2010). Otro ejemplo es la estación franco-italiana Concordia, construida en 1997. Según los estudios realizados por Godon y Pierre (2000), mediante la recuperación del calor de los generadores, las estaciones no requieren el uso de calefacción adicional. En consecuencia, el consumo anual de diésel promedia los 200 m³ para cubrir la demanda energética de 1800 m² de instalaciones. En este contexto, varias estaciones han considerado los criterios de eficiencia energética desde la etapa de diseño para la operación y los equipos.

El Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE) opera la estación de investigación antártica Pedro Vicente Maldonado (PVM). Desde su inauguración en 1990, han entrado en operación un módulo residencial (M1) y uno mixto (M2). En 2011, entró en operación un nuevo módulo destinado al uso científico (M4). Un módulo no acondicionado (M3) que contiene generadores térmicos y eléctricos forma parte de la estación. La principal fuente de poder es el diésel que sirve para hacer funcionar los generadores eléctricos y el sistema de calefacción (caldera). En la actualidad, la estación PVM opera solamente durante el verano austral, pero el INAE planea convertirla en una estación permanente. Sin embargo, desde el punto de vista de la energía, una estación permanente requiere sistemas con mayor capacidad de poder para cubrir las altas demandas de calefacción en invierno. Considerando el alto consumo de energía necesario para una estación permanente es imperativo analizar las mejoras en los sistemas de la envolvente de la edificación y la operación de los equipos usando medidas de eficiencia energética.

El objetivo de este estudio es modelar y simular el consumo energético de la actual estación PVM y proponer medidas de eficiencia energética que ayuden a reducir el consumo de diésel. Las medidas de eficiencia energética analizadas fueron la aislación térmica, la configuración de los vidrios de las ventanas y la operación del sistema de calefacción. Se analizó el consumo de diésel de la estación PVM a nivel anual con el fin de predecir el consumo energético de una estación permanente.

2. Metodología

El estudio se realizó en tres etapas. La primera consistió en la recopilación de datos sobre: los materiales para la envolvente, zonificación térmica, ganancias internas y sistema de calefacción. En la segunda etapa se

calibró el modelo de simulación energética basándose en el actual consumo de diésel para calefacción. Los datos fueron recogidos durante la última expedición ecuatoriana a la Antártica en 2013. Para la calibración se consideró el consumo energético del módulo residencial (M1), del módulo mixto (M2) y del módulo laboratorio (M4). En la etapa final, se evaluaron diferentes medidas de eficiencia energética a fin de determinar una propuesta óptima para las medidas que se tomarían en la estación PVM. El principal objetivo de estas medidas es reducir el consumo de diésel para calefacción. Las medidas fueron evaluadas únicamente para los módulos M1 y M2 ya que el módulo M4 es más reciente y tiene un sistema constructivo mejorado que no garantiza ningún cambio. Cabe mencionar que la evaluación de las medidas de eficiencia energética se realizó sobre una base anual a fin de calcular el consumo energético para cuando la estación sea permanente.

2.1 Descripción de la base actual

Como se mencionó anteriormente, el módulo 1 (M1) es residencial, posee camarotes y baños para gran parte del equipo expedicionario. El módulo 2 (M2) es mixto y tiene 4 camarotes, una oficina, una sala de estar, un comedor, una cocina y una bodega. Estos dos módulos se encuentran conectados por un vestíbulo cerrado no acondicionado usado para equipar a los residentes. El módulo 3 (M3) es un módulo no acondicionado donde se ubican los equipos de generación eléctrica y calefacción, y la maquinaria. Al ser un espacio no acondicionado, el M3 no forma parte de este estudio. El módulo 4 (M4) es el laboratorio que cuenta con laboratorios, oficinas, una cocina, una enfermería y una sala para lavandería.

Como la estación PVM no tiene una estación meteorológica permanente, para las simulaciones se usó el archivo de la estación antártica chilena Arturo Prat (WMO 89057). En esta zona climática, la temperatura mínima de bulbo seco varía entre -2.4°C (enero) y -18.0°C (julio) y la temperatura máxima entre 3.4°C (julio) y 5.8°C (enero). Además, la humedad relativa diaria promedio varía del 85% al 87%. La estación chilena no se encuentra en la misma isla que la estación ecuatoriana (Isla de Greenwich) y la distancia entre ambas estaciones es de menos de 5 km.

2.1.1 Building fabrics

La Tabla 1 muestra los materiales usados en la envolvente de la estación. El módulo M4, siendo el más nuevo, tiene mejores características de diseño. Los vidrios de los módulos M1 y M2 son vidrios simples (6 mm de espesor) con marcos de aluminio, mientras que los del módulo M4 son de doble vidrio (6 mm de espesor y 10 mm de aire) con marcos de PVC.

Tabla 1. Elementos de la envolvente de la edificación actual

	External Walls [CM]		Roof [CM]		Internal ceiling [CM]		Floor [CM]	
Módulo 1	Lámina acero	0.2	Lámina acero	0.2	Madera de pino	0.1	Lámina acero	0.50
	Poliuretano	10.0	Madera de pino	10.0			Madera de pino	1.00
	Madera de pino	1.0					Alfombra	0.30
	Lámina acero	0.2	Lámina acero	0.2	Yeso cemento	0.1	Lámina acero	0.50
Módulo 2	Poliuretano	10.0	Madera de pino	10.0			Madera de pino	1.00
	Yeso cemento	1.0					Alfombra	0.30
	Lámina acero	0.2	Lámina acero	0.2	Yeso cemento	0.1	Lámina acero	0.50
Módulo 3	Poliuretano	10.0	Poliuretano	10.0			Madera de pino	1.00
	Lámina acero	0.2	Lámina acero	0.2			Alfombra	0.30



Los módulos M1, M2 y M4 descansan sobre una base a 1m de altura para evitar en contacto con el suelo. Esta base está protegida por placas de acero (0.2 cm de espesor) en toda su envolvente, evitando así la acumulación de nieve y el congelamiento de las tuberías. Según la información recopilada durante la expedición del año 2013, la estación tiene una alta tasa de infiltración de aire (1.5 ach/h). Esta tasa de infiltración de aire se determinó directamente con el EnergyPlus usando el modelo de Área de infiltración efectiva descrito en el Manual de Fundamentos Técnicos de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2009). El área efectiva de infiltración de aire (900 cm²) se estimó por inspección visual durante la expedición del 2013

2.1.2 Sistema de calefacción

La estación tiene un sistema de calefacción a través de radiadores de agua caliente. El agua caliente la proporciona una caldera operada con diésel. El sistema de calefacción funciona las 24 horas del día a una temperatura estable de 20°C en las áreas de alta ocupación (residencial, oficinas y laboratorios) y de 18°C en las áreas de baja ocupación (baños, corredores, bodegas, lavandería y cocina).

2.1.3 Horarios y equipos eléctricos

Los horarios de uso y de funcionamiento de los equipos eléctricos e iluminación de las diferentes áreas están basados en los datos reales monitoreados en el lugar. El consumo eléctrico de la estación es difícil de definir puesto que no existe suficiente información sobre todos los equipos eléctricos instalados. Además, la generación de electricidad no sólo se emplea para el uso directo en los

módulos sino también para la operación de la planta de tratamiento de agua, sistema de distribución de agua caliente para calefacción y para el uso en los equipos y maquinaria de mantenimiento. Por estas razones, la calibración se realizó solamente en función del consumo de diésel para calefacción.

2.2 Modelo de energía calibrada de edificios

Como se mencionó anteriormente, el modelo de energía calibrada de edificios se basó en el consumo de diésel para calefacción durante el año 2013. Como la estación se ocupa únicamente durante el verano austral (diciembre a marzo) y esos meses fueron irregulares en el consumo de energía (la ocupación no fue completa), la calibración se realizó basándose en el consumo de diésel para los meses de enero y febrero de 2013 (Tabla 2).

El consumo de diésel para la caldera se calculó considerando una eficiencia de 0.8 de acuerdo a las especificaciones técnicas de la caldera; esto es, por cada kWh de carga para calefacción, se consumen 24 kWh de diésel. Según el valor calórico del diésel antártico, 1 litro de diésel es capaz de generar 11 kWh (térmico).

Para la simulación y calibración de la estación actual, se realizó un modelo constructivo detallado de los módulos M1, M2 y M4 usando el programa computacional DesignBuilder (Figura 1). Los datos de entrada requeridos por el modelo son las propiedades térmicas de los materiales usados en la construcción, el perfil de ocupación de las diferentes áreas, horarios y cargas de los equipos eléctricos, iluminación y características del sistema de calefacción de la estación. La Figura 2 muestra la zonificación térmica usada para la simulación. Para minimizar los errores de calibración, se definió la capacidad instalada y horarios de operación de cada equipo eléctrico para cada una de las zonas térmicas.

Tabla 2. Consumo de diésel para calefacción en la base PVM

Mes	Diésel para calefacción [galones]
Enero	776
Febrero	670

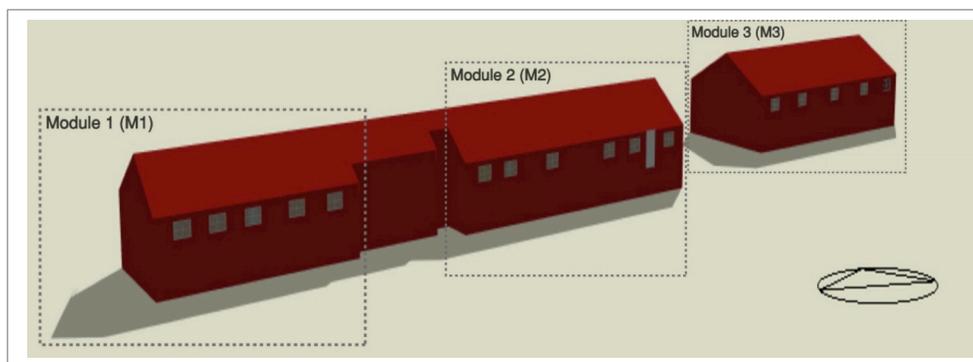


Figura 1. Modelo energético de la estación PVM usando el programa DesignBuilder



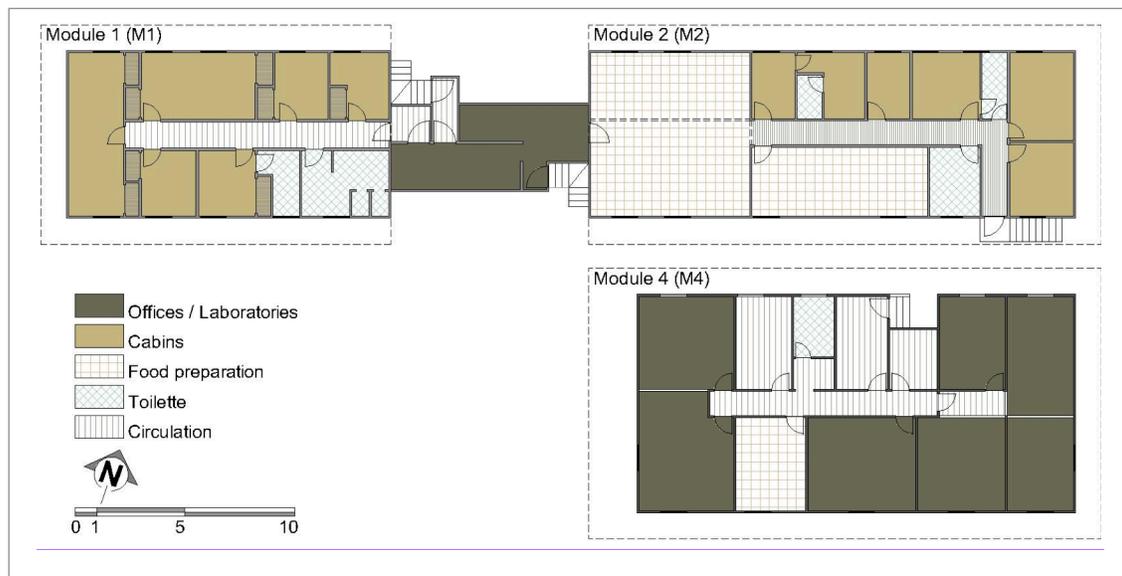


Figura 2. Zonificación térmica de la estación PVM usando el programa DesignBuilder

2.3 Medidas de eficiencia energética

Se evaluó el impacto de varias medidas de eficiencia energética sobre el consumo anual de diésel para calefacción con el modelo de energía calibrado (CB). Las medidas de eficiencia energética evaluadas fueron la aislación térmica, configuración de los vidrios de las ventanas y operación del sistema de calefacción. Para realizar el proceso de optimización, el modelo debía respetar dos restricciones: a) reducir la carga para calefacción y b) mantener la forma de la actual estación (forma, estructura y relación ventanas/muros). Por lo tanto, la aislación térmica de los muros no podía exceder de 10 cm para no tener que modificar su estructura; sin embargo, el nivel de aislación térmica del techo, cielo y piso puede ser modificado sin necesidad de hacer cambios en la estructura.

En primer lugar, se evaluó el comportamiento de diferentes materiales aislantes (Tabla 3) de acuerdo a las propiedades de conductividad térmica y al consumo de diésel para calefacción. Para la siguiente etapa de estudio, se seleccionó el material que exigía menor consumo de diésel para calefacción.

Por otra parte, para identificar la óptima relación de espesor entre los elementos de la envolvente (piso, techo y fachadas), se realizó un análisis paramétrico variando individualmente el espesor de cada uno de los elementos de la envolvente en 2.5 cm desde los 5 cm hasta los 30 cm mientras que los demás se mantenían fijos en los 30 cm. Se definió cada uno de estos escenarios como Caso 1 (C1) seguido por el sufijo correspondiente al elemento de la envolvente que estaba siendo analizado, como se señala en la Tabla 4. A través de este análisis se identificó el espesor ideal para el aislante térmico de cada elemento de la envolvente. Por consiguiente, se definió el caso C2_{in} considerando el material para aislación térmica que tuviera el mejor comportamiento y el espesor ideal. Además, se evaluó el comportamiento de diferentes configuraciones de los vidrios de baja emisividad térmica (Tabla 5) del modelo C2_{in} mejorado.

Estas configuraciones se seleccionaron de acuerdo a sus propiedades térmicas (valor U). Debido a la baja incidencia de la radiación solar en la Antártica, en el análisis de los vidrios no se consideró el coeficiente de calor solar ganado. Al igual que con los materiales de aislación, se compararon las configuraciones de los vidrios de acuerdo al consumo de diésel para calefacción. Mediante la combinación de C2_{in} y la configuración de los vidrios con mejor comportamiento, se obtuvo un modelo mejorado de la actual estación (C3_{in_glz}).

Luego, basándose en el modelo C3_{in_glz}, se calibró el sistema de calefacción para asegurarse que la temperatura del aire llegara a 20°C (en áreas de alta ocupación) y a 18°C (en áreas de baja ocupación) sólo durante los periodos ocupados. Además, el sistema fue configurado para evitar que la temperatura del aire interior cayera bajo los 12°C cuando las zonas estaban desocupadas, resultando el C4_{in_glz_sch}. Finalmente, en las futuras modificaciones de la actual estación, el cambio de aislación térmica puede ayudar a mejorar la estanqueidad de la base. Así, la tasa de infiltración del nuevo modelo se redujo a 0.7 ach/h manteniendo las recomendaciones del Código Internacional de Conservación de la Energía (BECP, 2011). Como resultado, se obtuvo un modelo mejorado con materiales de aislación, configuración de los vidrios, operación del sistema de calefacción óptimos y una menor tasa de infiltración de aire (C5).

Tabla 3. Propiedades aislantes de los materiales

	Densidad [Kg/m ³]	Conductividad térmica [W/mK]
Lana mineral	16	0.038
Poliestireno	16	0.037
Poliuretano	24	0.028

Tabla 4. Combinación del aislante

Espesor del material aislante					
Caso de estudio	Piso [cm]	Techo [cm]	Fachada norte [cm]	Fachada sur [cm]	Fachada este/oeste [cm]
C1 _{piso}	5-30	30	30	30	30
C1 _{techo}	30	5-30	30	30	30
C1 _{fachada norte}	30	30	5-30	30	30
C1 _{fachada sur}	30	30	30	5-30	30
C1 _{fachada este/oeste}	30	30	30	30	5-30

Tabla 5. Propiedad de los vidrios

Vidrios	Características	Conductividad térmica [W/mK]
C2 _{in_glrA}	Doble Claro 3 mm/13 mm Aire	1.798
C2 _{in_glrB}	Doble Claro 3 mm/13 mm Argón	1.514
C2 _{in_glrC}	Triple Claro 3 mm/13 mm Aire	0.993
C2 _{in_glrD}	Triple Claro 3 mm/13 mm Argón	0.786
C2 _{in_glrE}	Cuádruple Claro 3 mm/8 mm Criptón	0.780

3. Resultados y discusión

Los resultados de la simulación mensual mostraron una buena correlación con los datos reales de consumo de diésel para calefacción (Tabla 6). El error entre los datos reales y simulados para el consumo de diésel para calefacción no excede del 5% para los dos meses comparados. Además, los datos reales y simulados siguen la misma tendencia, es decir, una disminución en el consumo de diésel durante febrero en comparación con enero. En consecuencia, los resultados de las medidas de eficiencia energética evaluadas son confiables.

En cuanto a los materiales aislantes, se logra un ahorro del 7% en el consumo de diésel usando poliuretano en vez la lana de mineral y un 25 % de ahorro usando poliuretano en vez la lana de vidrio. Por lo tanto, el análisis paramétrico del espesor del aislante se realizó considerando al poliuretano como el material de aislación óptimo. Como se aprecia en la Figura 3, los elementos de la envolvente con las tasas más altas de pérdida de calor son el piso y el techo.

Por esta razón y con el objetivo de minimizar estas pérdidas de calor, se analizó la estrategia de mantener el espesor de la aislación de los muros en 10 cm y aislar el cielo con 20 cm y 30 cm, lo que corresponde a los casos de estudio C1_{in10/20} y C1_{in10/30} respectivamente. Los resultados

de este análisis demostraron que aislar la envolvente 30 cm equivale al caso C1_{in10/20} (Figura 4). En consecuencia, se consideró el caso C1_{in10/20} como el mejor para el análisis siguiente (C2_{in}).



Tabla 6. Datos simulados actuales del consumo de diésel para calefacción

	Enero Diésel para calefacción [gallons]	Febrero Diésel para calefacción [W/mK]
Simulado	740.96	695.79
Actual	776	670
Error	4.52%	3.85%

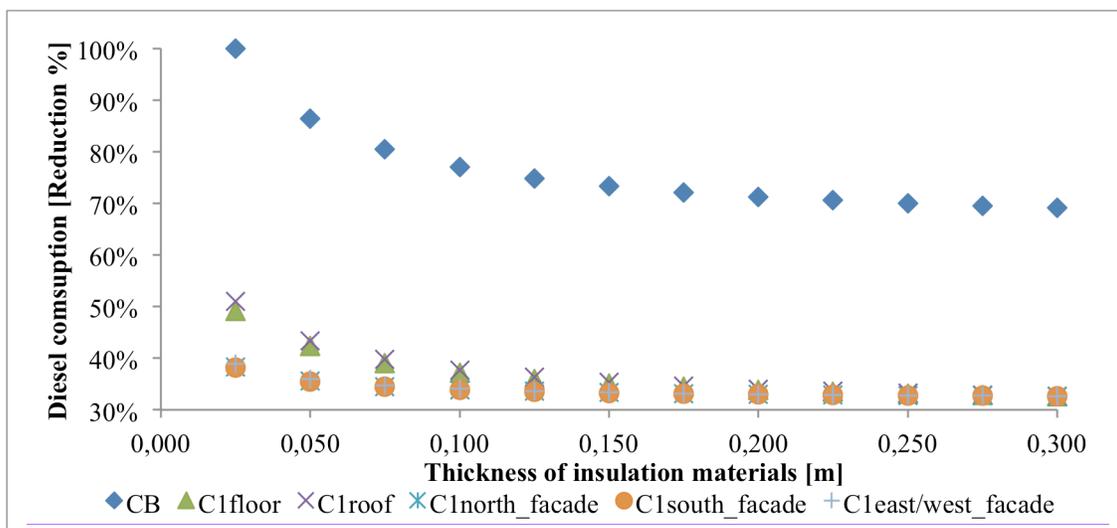


Figura 3. Análisis paramétrico del espesor del aislante

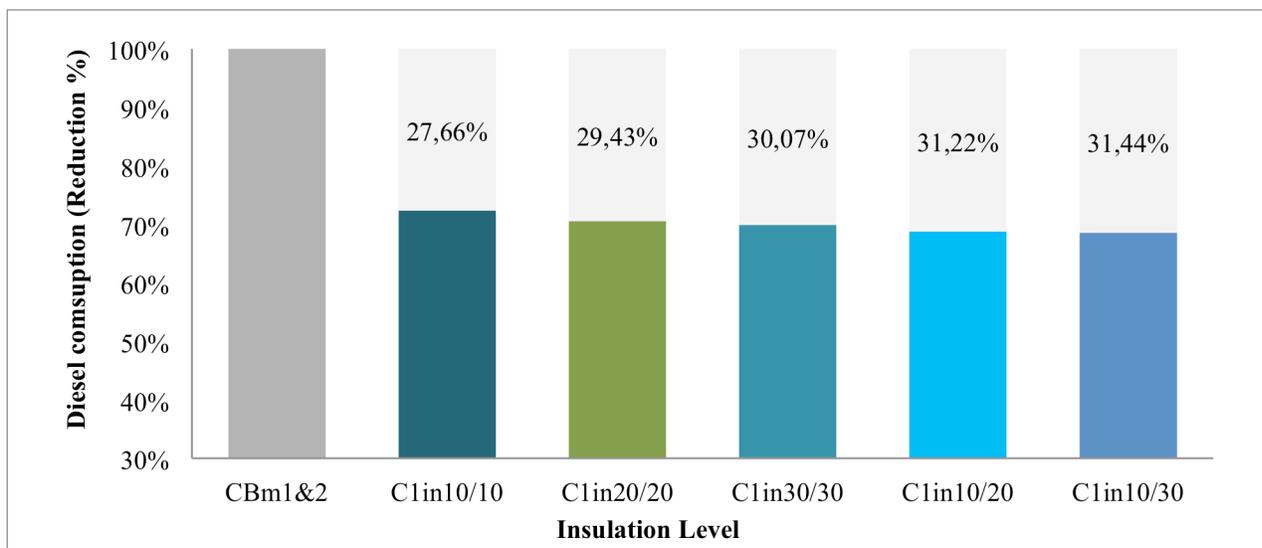


Figura 4. Nivel de aislación (C1 espesor aislación fachada [cm]/ espesor aislación techo y piso [cm])

Ya que la base actual tiene sólo una relación ventana-muro del 9%, la reducción en el consumo de diésel que se alcanza usando vidrios triple y cuádruples no es representativa. Sin embargo, comparada con el vidrio simple (CB), se logra un 3,55% de ahorro en diésel usando un vidrio de doble panel (Figura 5). Entonces, se definió C2_{in_glt:A} como la configuración óptima (C3_{in_glt:}).

En la etapa siguiente, se evaluó la operación del sistema de calefacción. Los resultados señalan que usar el sistema de calefacción únicamente en los períodos ocupados (C4_{in_glt:sch}) se logra una reducción del 22% en comparación con C3_{in_glt:} (o un 55% comparado con CB) como se aprecia en la Figura 6. Por último, al reducir la tasa de infiltración de aire a 0.7 ach/h (C5), el consumo de diésel se puede reducir en un 59% en comparación con el CB.



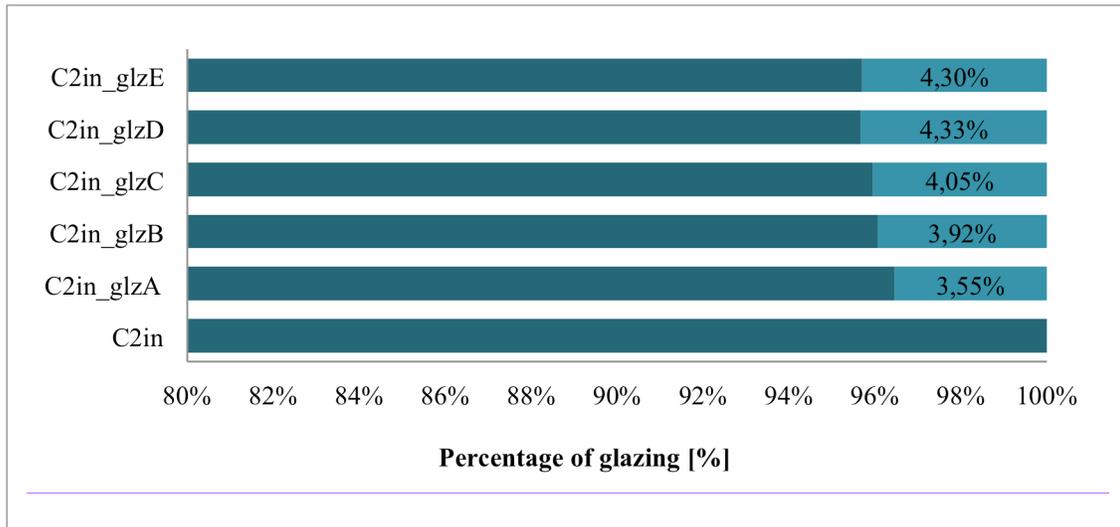


Figura 5. Análisis paramétrico de los tipos de vidrio

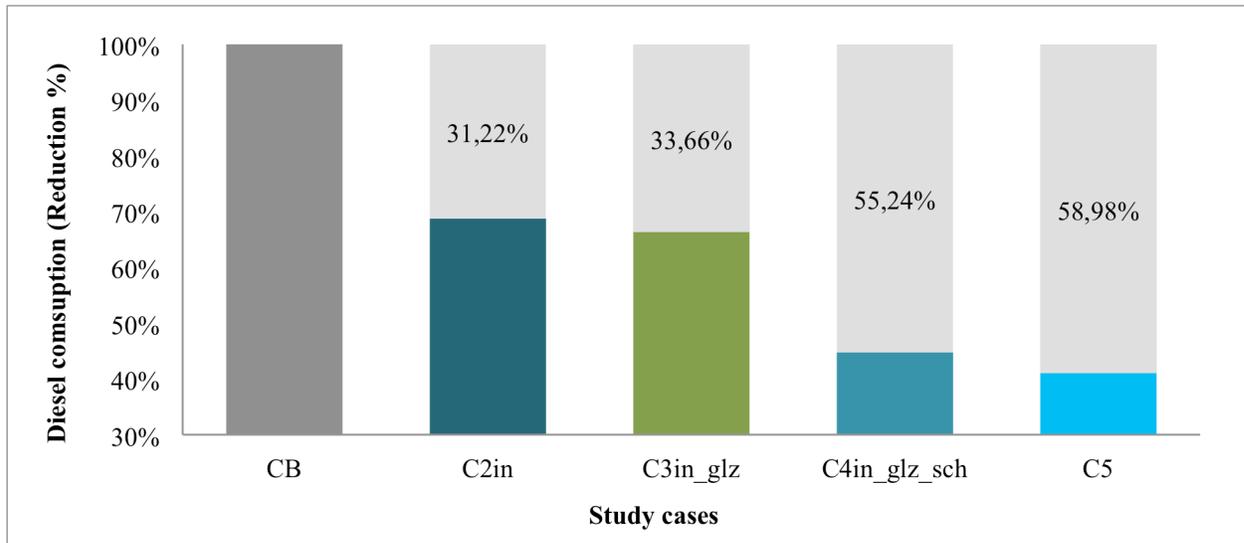


Figura 6. Porcentaje de reducción en el consumo de diésel

4. Conclusiones y trabajo a futuro

Este estudio se realizó con el fin de evaluar el impacto de diferentes medidas de eficiencia energética para la estación de investigación antártica Pedro Vicente Maldonado operada por Ecuador. Para ello, se generó un modelo energético calibrado basado en los datos reales recopilados durante la expedición antártica ecuatoriana del año 2013. Se aplicaron todas las medidas de eficiencia energética al modelo calibrado.

Los resultados de la calibración mostraron una buena correlación entre los datos reales y simulados del consumo de diésel para calefacción durante los meses analizados (Enero y febrero del 2013). El error entre los datos reales y simulados no excede del 5% en ninguno de los dos meses. Sin embargo, las simulaciones se realizaron usando el archivo correspondiente a un año meteorológico típico, pues la estación no cuenta con una estación

meteorológica instalada en el lugar. Por lo tanto, la evaluación de las medidas de eficiencia constituirá un enfoque real para calcular el ahorro de energía de la estación.

Mediante un balance energético de la envolvente térmica de la estación, se determinó que los elementos críticos a través de los cuales se pierde la mayor parte de la energía son el piso y el techo. Cabe destacar que en la estación actual el piso no tiene aislación. En consecuencia, la primera medida de eficiencia energética recomendada es usar aislación en este elemento. En este estudio se analizaron las siguientes estrategias: aislación térmica, configuración de los vidrios, tasa de infiltración de aire y operación del sistema de calefacción. La estrategia de aislación térmica se focalizó en el uso de material aislante en forma continua y adyacente a los volúmenes ocupados, por lo que se consideró un mayor nivel de aislación en los cielos en vez de en el techo. En cuanto a los vidrios, a pesar de que la conductividad térmica de los vidrios triple



y cuádruple es menor a la del vidrio doble, la reducción en el consumo de diésel no es significativa; en consecuencia, se recomienda el uso del vidrio de doble hoja.

Es importante señalar que la medida más fácil de implementar en la estación PVM es la modificación del horario de operación del sistema de calefacción, basándose en los horarios de ocupación. Esta medida contribuye a lograr ahorros considerables en el consumo de diésel. Finalmente, si se tienen en consideración todas las medidas de eficiencia energética posibles, el ahorro anual de diésel para calefacción podría alcanzar hasta el 50%.

Para complementar este estudio, para investigaciones futuras, se debe estudiar el uso potencial de energías renovables en el lugar donde se encuentra

ubicada la estación. Adicionalmente, se debería realizar un estudio de optimización para minimizar el consumo de diésel considerando el menor costo de inversión posible.

5. Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto “Diseño de edificaciones con alta eficiencia energética y utilización de energías renovables para la estación Pedro Vicente Maldonado”, financiada por la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) y desarrollada en colaboración con el Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE).

En memoria del Dr. Jerko M. Labus.

6. Referencias

- ASHRAE (2009)**, Handbook of fundamentals. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- BECP (2011)**, Air Leakage Guide. US Department of Energy, Building Energy Codes Program, 46.
- COMNAP (2007)**, Best Practice for Energy Management – Guidance and Recommendations. Council of Managers of National Antarctic Programs. Main Antarctic.
- COMNAP (2014)**, Main Antarctic Facilities operated by National Antarctic Programs in the Antarctic Treaty Area. Council of Managers of National Antarctic Programs. Main Antarctic. Retrieved from <https://www.comnap.aq/Members/SitePages/Home.aspx>
- Godon P. and Pierre A. (2000)**, Power system for the continuous and efficient operation of the new Concordia station. Institut Polaire.
- Mason A. (2007)**, An Investigation into Fuel Utilisation and Energy Generation in Antarctica. Post Graduate Certificate in Antarctic Studies.
- Steel J. and Guichard A. (1993)**, Alternative Energy Options for Antarctic Stations. In Solar'93 conference (pp. 1–6). Perth.
- Tin T., Sovacool B. K., Blake D., Magill P., El Naggat S., Lidstrom S., ... Berte J. (2010)**, Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica. *Renewable Energy*, 35(8), 1715–1723. doi:10.1016/j.renene.2009.10.020
- Tindale A. (2005)**, Designbuilder software. Stroud, Gloucestershire, Design-Builder Software Ltd.

