



Tipo de Documento: DI
Presentado por: Ecuador
Tipo de Sesión:
Punto de la Agenda:

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ESTACIÓN PEDRO VICENTE MALDONADO (PVM) EN LA ANTÁRTIDA

Javier Martínez, Carlos Naranjo, Jesús López, Andrés Montero, Jerko Labus

1. Introducción

El Ecuador desde el año 1987 forma parte del Tratado Antártico. En 1988 se fundó el primer programa nacional antártico (PROANTEC). Desde el año 2004 se reemplazó el PROANTEC por el actual Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE). Los principales objetivos del INAE son de mantener la proyección geopolítica del Ecuador así como mantener una participación científica activa bajo los contextos de Tratado Antártico. Los trabajos de investigación del INAE son realizados en la estación Pedro Vicente Maldonado (PVM) en la Isla Greenwich. Gran parte de la estación fue construida en 1990 y tiene una capacidad ocupacional de 32 personas aproximadamente.

Actualmente, la estación PVM trabaja entre 3 y 4 meses al año durante el verano austral. Las instalaciones no están completamente adecuadas ni diseñadas para funcionar permanentemente. Sin embargo, uno de los objetivos a mediano plazo del INAE es de remodelar la estación y construir nuevos módulos para que la estación funcione durante todo el año. Por tal motivo, el INAE en colaboración con el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) pretende evaluar las características constructivas actuales de la estación con el fin de proponer mejoras de eficiencia energética para reducir el consumo de energía y conseguir mejoras en el confort térmico de los ocupantes. El objetivo de este manual es definir el estado actual de la estación PVM y proponer recomendaciones de mejoramiento. El estudio integra los cálculos de transferencia de calor con la configuración actual de la estación y propone diferentes formas y métodos para reducir las pérdidas de calor. Finalmente se incluye la explicación de uso de algunos instrumentos de medición para monitorear las zonas críticas de la estación.

2. Elección de materiales aislantes para la estación PVM

Para construir un módulo de habitabilidad en una estación en el Polo Sur, es necesario tener en cuenta el Tratado del Antártico en cuanto protección del medio ambiente y eficiencia energética (1), más teniendo en cuenta que el Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE) trabaja bajo dichos lineamientos (2)- (3). La estación debería mantener sus emisiones lo más bajas posible y en la medida de lo factible funcionar con fuentes de energía renovable, como la energía eólica y la energía solar. También se debería mantener el entorno limpio, teniendo en cuenta el sistema de alcantarillado, los incendios y sistema para la preparación de agua potable (4).

No hay que olvidar las condiciones ambientales específicas de dicho ambiente. Hay que tener en cuenta que durante el invierno austral el Polo Sur no recibe luz solar en absoluto, sin embargo, en verano el sol está todo el tiempo en una posición baja en el cielo sobre el horizonte (5). En el caso de la base Pedro Vicente Maldonado (Fig. 1), centro de investigación en la Antártica operada por Ecuador, se encuentra ubicada en la isla Greenwich, en las islas Shetland del Sur (Fig. 2). Su clima es nuboso y húmedo todo el año y con vientos muy fuertes durante todas las estaciones. La temperatura media durante el verano es de 1.5 °C y durante el invierno es de -5 °C. Según las fuentes la temperatura mínima en el invierno puede llegar hasta -17 °C. Es por ello que hay zonas con ausencia de hielo permanente. El efecto del océano tiende a guardar las temperaturas del verano en torno a 0 °C y las temperaturas en invierno decrecen tanto como lo hacen en el interior del Polo Sur (6). En bases cercanas como la base Jubany se han llegado a temperaturas de -25 °C, que serán las temperaturas que se tomarán para el modelo de transferencia de calor.

Para conseguir una mayor eficiencia energética es necesario que el edificio tenga las menores pérdidas térmicas. El modelo de casa pasiva permite ahorrar hasta un 80 % de la energía de la calefacción, reciclando el calor que irradian los equipos y las personas, teniendo una temperatura ambiente en torno a 18-20 °C (7). Para ello es necesario el uso de materiales aislantes o de baja conductividad térmica como son poliestireno, poliuretano, polivinil carbonato (PVC), madera, grafito, alfombras, entre otros.

En cuanto a los materiales utilizados, habrá que tener en cuenta que los polímeros utilizados como el poliestireno, poliuretano y polivinil carbonato (PVC), tienen una temperatura de transición vítrea (T_g) por encima de los 100 °C, por lo que son rígidos a temperaturas menores como las antárticas (8). Para la estabilidad estructural, en el caso del poliestireno, este no debe sobrepasar tensiones de 40 MPa (9). En el caso del poliuretano no debería sobrepasarse tensiones de los 100 MPa (10). Para el caso del acero de la cubierta, este no debería sobrepasar tensiones de 350 MPa. Debido al efecto de la temperatura, si se sobrepasaran estas tensiones en algún punto los materiales podrían romper de manera frágil o catastrófica y habría que cambiar el material. No obstante no se prevé que la estructura sea golpeada con tanta presión.



Fig. 1. Base ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado” en la Antártida. Foto: Internet publicados por el INAE.

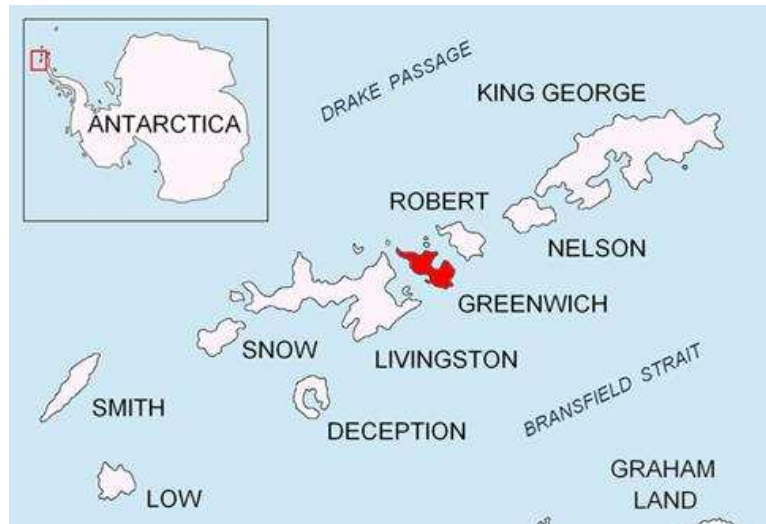


Fig. 2 Localización de la isla de Greenwich, en el mapa de las islas de South Shetland.

Los precios de estos materiales por kilogramos en el caso del poliuretano van de 1,5 a 100 \$/Kg, en el caso del poliestireno 1 a 50 \$/Kg. No obstante sería interesante contactar con fabricantes. En el caso de las ventanas PVC sería interesante contactar antes con los constructores y distribuidores de ventanas de PVC, para conseguir el mejor precio. No hay riesgos para la salud por parte del uso de estos materiales, utilizándolos en su configuración como aislantes.

3. Modelo de conducción unidimensional en régimen estacionario

3.1. Explicación del modelo

Para estudiar si el aislamiento actual es bueno o si las paredes actuales necesitarían más aislante, así como, para una posible ampliación con un módulo de habitabilidad de la estación, es necesario que los muros de la estación trabajen como los muros de una casa pasiva. Para ello, se van a realizar los cálculos siguiendo el modelo físico-matemático en condiciones de transferencia de calor estacionaria a través de una pared plana compuesta considerando que la superficie externa pierde calor tanto por convección como por radiación. Las temperaturas de cálculo se fijaron en $T_1 = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura exterior y $T_4 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura interior (Fig. 3).

En estado estacionario el flujo de calor a través de todas las secciones debe ser el mismo, sin embargo, los gradientes térmicos son distintos. La expresión para tres muros de diferente material es:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \frac{kA}{l} (T_1 - T_2) = \frac{kA}{l} (T_2 - T_3) = \frac{kA}{l} (T_3 - T_4) = h_{\text{ext}} A (T_1 - T_2) \\ &= h_{\text{ext}} A (T_1 - T_2) + h_{\text{int}} A (T_3 - T_4) \end{aligned} \quad (3.1)$$

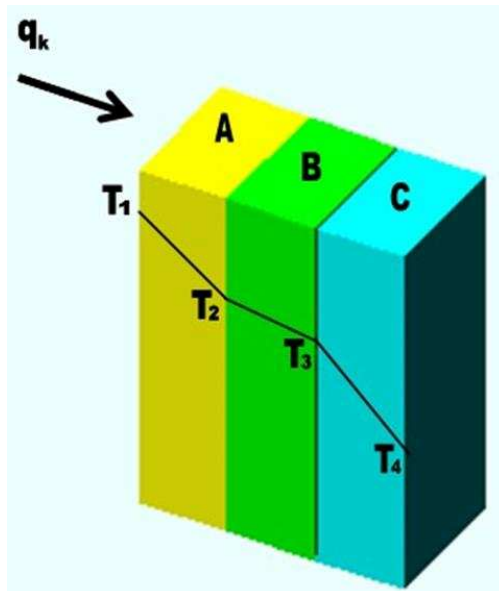


Fig. 3. Conducción unidimensional a través de paredes planas en serie (11).

A partir de la ecuación (3.1) se tienen las siguientes relaciones para la temperatura:

$$T_2 = T_1 = \frac{q_k \cdot l}{A \cdot \lambda} + T_1 \quad (3.2)$$

$$T_3 = T_2 = \frac{q_k \cdot l}{A \cdot \lambda} + T_2 \quad (3.3)$$

$$T_4 = T_3 = \frac{1}{h_{\text{ext}}} \cdot q_k + T_3 \quad (3.4)$$

$$T_4 = T_3 = \frac{1}{h_{\text{ext}}} + \frac{1}{h_{\text{int}}} \cdot q_k + T_3 \quad (3.5)$$

$$h_{\text{ext}} = \frac{q_k}{T_4 - T_3} \quad (3.6)$$

$$h_{\text{ext}} = \text{coeficiente de transferencia de calor} = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\epsilon_{\text{ext}} = \text{emisividad de la superficie} = 0.23 \text{ para hierro galvanizado}$$

$$h_{\text{ext}} = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

$$h_{\text{int}} = \text{coeficiente de transferencia de calor por radiación} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

Sustituyendo en (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) y (3.6) en (3.1) se llega a un flujo de calor por unidad de área que será:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{\frac{1}{h_{\text{ext}}} + \frac{L_{\text{A}}}{k_{\text{A}}} + \frac{L_{\text{B}}}{k_{\text{B}}} + \frac{L_{\text{C}}}{k_{\text{C}}} + \frac{1}{h_{\text{int}}}} \quad (3.7)$$

3.2. Resultados

El módulo I cuenta con un área en la base de aproximadamente 114 m². Este módulo se encuentra distribuido en seis camarotes con capacidad para albergar a 15 personas. También dispone de un baño general con tres duchas, dos sanitarios y tres lavamanos para el uso del personal que se sitúa en estos camarotes.

Las paredes del módulo I (Fig. 4) tienen una lámina exterior de acero galvanizado de 2 mm de espesor, seguido por una capa de poliuretano de 10 cm de espesor y en el interior posee un recubrimiento de madera (pino cuencano) de 1 cm de espesor (2). Se calculará si el aislamiento es bueno o necesitaría más aislante, en condiciones de transferencia de calor estacionaria a través de una pared plana compuesta, con una temperatura exterior de $T_{\text{ext}} = -25^\circ\text{C}$ y una temperatura interior de $T_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$ (Fig. 3).



Fig. 4. Paredes del módulo I (2)

Los datos de espesor y conductividades térmicas para el acero (A) son de $L_{\text{A}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $k_{\text{A}} = 50 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$; para el poliuretano (B) $L_{\text{B}} = 0.1 \text{ m}$, $k_{\text{B}} = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$ y para la madera (C)

$l_{\square} = 10^{-3} \text{ m}$, $\alpha_{\square} = 0.15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. El coeficiente de convección interior para la habitación caliente aislada se consideró de $h_{\square} = 9.26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ (12) y el coeficiente de convección no forzado (exterior) con un viento de velocidad $v = 6.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ se consideró de $h_{\square} + h_{\square} = 34.07 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ (12). Se obtiene un flujo de calor de $\dot{Q} = 8.65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Si el aislante térmico de poliuretano hubiera sido de 30 cm donde $l_{\square} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$, $\alpha_{\square} = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, se obtiene un flujo de calor de $\frac{\dot{Q}}{\text{m}^2} = 2.96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Las pérdidas por transferencia de calor unidimensional en régimen estacionario en una casa pasiva que se encuentra muy bien aislada, se sitúan por debajo de $\frac{\dot{Q}}{\text{m}^2} \leq 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, es por ello que el valor de $\frac{\dot{Q}}{\text{m}^2} = 2.96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ es bueno para el aislamiento (7), (13).

En condiciones generales la temperatura del exterior se encontrará entorno a los $-2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por lo que el flujo de calor será la mitad del calculado. No obstante, se recomienda aumentar el espesor de poliuretano de 10 cm a 30 cm, repartida uniformemente en la pared, formando un buen sistema de aislante.

Por otra parte, el módulo II cuenta con un área de la base de aproximadamente 47.50 m^2 . Este módulo se encuentra distribuido en el comedor, la sala de estar o de recreación, la biblioteca, la jefatura, en donde funciona el despacho del Director del INAE. Las paredes del módulo II fueron fabricadas con una capa de fibrocemento, seguida por una capa de poliuretano y la capa exterior de acero galvanizado (2), con mismas dimensiones en cuanto a espesores que las del módulo I. En este caso se recomienda quitar la capa de fibrocemento por problemas de salud relativos a la Asbestosis (14), por una capa de madera, Pladur o cemento.

Con los resultados anteriormente obtenidos para el módulo I, se observa que la parte del sistema aislante más importante es la pared de poliuretano, y para este caso se obtienen los mismos resultados. Por lo que se recomienda también para el módulo II aumentar el espesor de poliuretano de 10 a 30 cm.

El piso de los módulos I y II de la Estación PVM está constituido por una lámina exterior de acero galvanizado de 5 mm de espesor, seguida por tableros de madera (pino cuencano) de 10 mm de espesor y sobre ésta se encuentra una alfombra, que permite mantener el calor en las áreas alfombradas. Igual que en el caso anterior, se calculará la transferencia de calor estacionaria a través de una pared plana compuesta, con una temperatura exterior de $T_{\square} = -25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura interior de $T_{\square} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 3).



Fig 5. Piso del módulo I y II (2)

Los datos de espesor y conductividades térmicas del acero (A) son $\delta_A = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $k_A = 50 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$, para la madera (B) $\delta_B = 10^{-2} \text{ m}$, $k_B = 0.15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$ y para la alfombra (C) $\delta_C = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $k_C = 0.05 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$. El coeficiente de convección interior para la habitación caliente aislada se consideró $h_{\text{int}} = 9.26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ (12). El coeficiente de convección no forzado (exterior) con un viento de velocidad $v = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ se consideró $h_{\text{ext}} = 9.41 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ (12).

Se obtiene un flujo de calor de $\dot{Q} = 74.98 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Si en vez de la alfombra se tuviera un aislante térmico de poliuretano de 30 cm donde $\delta_D = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$, $k_D = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$ se obtendría un flujo de calor de $\dot{Q} = 2.96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Por el suelo hay pérdidas por transferencia de calor que son 5 veces superiores a las deseadas en una casa pasiva. Se recomienda emplear poliuretano de 30 cm como aislante repartido uniformemente por el piso, formando un buen sistema de aislamiento para solventar este problema.

El techo de los módulos I y II de la Estación PVM está constituido por una lámina exterior de acero galvanizado de 0,7 mm de espesor, seguido por una capa de poliuretano de 10 cm de espesor y en el interior posee un recubrimiento de madera Plywood "marino" de 9 mm de espesor. Se calculará si el aislamiento es bueno o necesitaría más aislante. Para ello se empleará el modelo de conducción unidimensional en régimen estacionario, a través de paredes planas en serie con una temperatura exterior de $T_1 = -25^\circ\text{C}$ y una temperatura interior de $T_4 = 20^\circ\text{C}$ (Fig. 4).

Los datos de espesor y conductividades térmicas del acero (A) son $\delta_A = 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $k_A = 50 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$, para el poliuretano (B) $\delta_B = 10^{-1} \text{ m}$, $k_B = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$ y para la madera (C) $\delta_C = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $k_C = 0.13 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$. El coeficiente de convección interior de la habitación caliente aislada con 15° de inclinación $h_{\text{int}} = 9.19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ (12), el coeficiente de convección no forzado con un viento de velocidad $v = 6.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ es $h_{\text{ext}} = 34.07 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ (12). El flujo de calor que se obtiene es $\dot{Q} = 8.69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Si el aislante térmico de poliuretano hubiera sido de

30 cm donde $\delta_D = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$, $k_D = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$, se tendría un flujo de calor de $\dot{Q} = 2.97 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

De la misma forma que ocurre en las paredes de los módulos I y II se recomienda introducir una capa uniforme de poliuretano de aislante de 30 cm de espesor. Además es necesario mantener una inclinación del techo lo suficiente para que no se almacene nieve.

El módulo III de la estación posee un área de base aproximada de 112 m^2 . Este módulo también se lo conoce como módulo de talleres y generadores, el mismo que se encuentra distribuido en área de almacenamiento de productos químicos (pinturas, barnices, aceites lubricantes, etc.), área de almacenamiento y tratamiento de agua. Se encuentra conectado con el terreno y no hay distancia de separación entre ambos.

Este módulo también cuenta con un área para el almacenamiento de combustible diesel que es utilizado para los vehículos y maquinarias utilizadas para la operación de la estación, además en este mismo módulo se alojan dos generadores eléctricos y finalmente existe un área o espacio para dar el mantenimiento respectivo a los vehículos y maquinarias de la estación. Dentro de este módulo se necesita tomar en cuenta las medidas de seguridad para evitar la contaminación del suelo y/o hielo. Además, para este módulo se recomienda separar bien las zonas para que no pueda haber contaminación entre el agua y los productos químicos, así como diferenciar bien las zonas que necesitan y pueden aislarse.

Las paredes del módulo de generadores tienen una capa interior de poliuretano y las capas exteriores son de acero galvanizado.

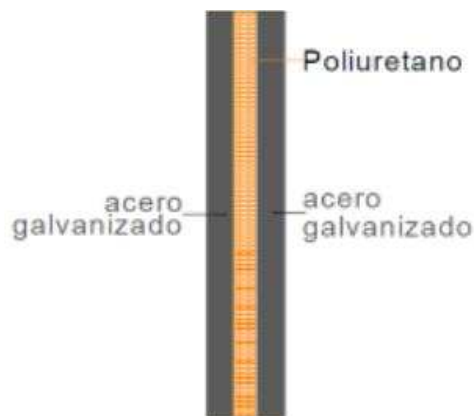


Fig 6. Paredes del módulo III (2)

Las especificaciones seguidas para este módulo son las mismas que se deberían seguir para el módulo anterior, ya que el agua, el combustible, los aparatos y las personas que estén entrando en él deben encontrarse en un ambiente a unos 20 °C de temperatura.

La transferencia de calor que se obtiene para las paredes de este módulo es similar a la obtenida a la de los módulos anteriores como se observa en la (Tabla 1). Por ello se recomienda poner un aislante de 30 cm de poliuretano después de la pared de acero galvanizado exterior.

El piso del módulo de generadores posee un contrapiso de cemento, colocado directamente sobre el suelo y que se encontrará a una temperatura similar a la del suelo y no aísla nada. Si se desea aislar este módulo sería necesario poner el aislante de poliuretano de 30 cm de espesor por encima del contrapiso y luego colocar la madera para que lo resguarde, como en el caso de los módulos anteriores. No obstante, como se comentó anteriormente, hay que estudiar las partes que se pueden aislar con la capa de poliuretano.

El módulo IV de la estación posee un área aproximada de 201.60 m². Este módulo también se lo conoce como módulo de laboratorios exclusivamente para el análisis físico, químico y microbiológico. Este módulo también cuenta con un área para la enfermería y lavandería.

Las paredes del módulo IV son similares a las de los módulos I y II. Las paredes de este módulo son prefabricadas, y poseen acero galvanizado tanto en la parte exterior como interior, y en la estructura interna posee una capa de poliuretano, al igual que los módulos I y II, el piso de este módulo cuenta con una lámina exterior de acero galvanizado, seguida por una capa de plywood, y sobre ésta se colocará alfombra. Por esta razón, se recomienda para los módulos I y II agregar una capa de poliuretano de 30 cm.

El piso de los módulos I, II y IV se encuentra a una altura de 1 metro sobre el suelo y en la parte inferior de estos módulos se instaló un faldón (láminas de acero galvanizado soldadas) con el propósito de evitar la acumulación de nieve y la consecuente formación de hielo bajo la estructura, además de evitar el congelamiento de las cañerías del sistema de agua para consumo, lavado, así como del sistema sanitario. La estructura de faldón podría transmitir la temperatura del terreno a la estructura exterior de los módulos, no obstante, la estructura aislante anteriormente descrita haría su trabajo de la misma forma.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de transferencia de calor por unidad de área ($\frac{W}{m^2}$) para las paredes, el suelo y el techo de los Módulos I, II, III y IV.

	Paredes ahora	Paredes con aislante de 30 cm de Poliuretano	Suelo ahora	Suelo con aislante de 30 cm de Poliuretano	Techo ahora	Techo con aislante de 30 cm de Poliuretano
Módulo I $\frac{q_k}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$	8.65	2.96	74.98	2.96	8.65	2.96
Módulo II $\frac{q_k}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$	8.65	2.96	74.98	2.96	8.65	2.96
Módulo III $\frac{q_k}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$	8.69	2.97	x	2.98	8.69	2.96
Módulo IV $\frac{q_k}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$	8.65	2.96	74.98	2.96	8.65	2.96

Tabla 1. Resultados obtenidos de transferencia de calor por unidad de área ($\frac{W}{m^2}$) para las paredes, el suelo y el techo de los Módulos I, II, III y IV.

En el caso de que la opción del poliuretano no fuera accesible se podría sustituir por poliestireno. En el caso del poliestireno su conductividad térmica es $k_{\text{poliestireno}} = 0.03 \frac{W}{m \cdot K}$ frente al $k_{\text{poliuretano}} = 0.02 \frac{W}{m \cdot K}$. En el caso de utilizar poliestireno, se debería poner una capa de

espesor de 45 cm, para tener resultados con $\frac{Q}{A} \leq 5 \frac{W}{m^2}$ similares a los obtenidos con poliuretano.

Es necesario fijarse en el dato de la conductividad térmica del material para no tener problemas.

Si hay alguna estructura, como se observa en la Fig. 1, que entra del exterior hacia adentro de la casa, debería realizarse una rotura de puente térmico o aislar la estructura como el resto de paredes de la casa. El trabajo de aislamiento debe ser completo.

Por último se va a realizar el cálculo de las ventanas siguiendo el mismo modelo que para las paredes. Una temperatura exterior de $T_{ext} = -25^\circ C$ y una temperatura interior de $T_{int} = 20^\circ C$. Para ello se tendrán en cuenta la configuración de una ventana de doble cristal de 9,5 mm de espesor y de 12-15 cm de espesor entre vidrios. Además se tendrá una estructura de PVC de al menos 45 cm de espesor.

Los datos para el cristal (A) son $\lambda_A = 9.5 \cdot 10^{-3} m$, $K_A = 0.8 \frac{W}{m \cdot K}$, para el aire (B) $\lambda_B = 1.2 \cdot 10^{-2} m$, $K_B = 0.025 \frac{W}{m \cdot K}$ y para el cristal (C) $\lambda_C = 9.5 \cdot 10^{-3} m$, $K_C = 0.8 \frac{W}{m \cdot K}$. El coeficiente de convección interior de la habitación caliente aislada se consideró $h_{int} = 9.26 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (12). El coeficiente de convección no forzado con un viento de velocidad $v = 6.7 \frac{m}{s}$ es

$$h_{ext} + h_{int} = 34.07 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (12). \text{ Se obtiene un flujo de calor de } Q = 7.34 \frac{W}{m^2}.$$

hay grandes ventanales, este flujo de calor por unidad de área se puede considerar aceptable. Puede ser interesante en vez de poner doble cristal poner triple cristal o cuádruple, según el nivel de aislamiento que se requiera.

Para el caso del PVC se tiene $\lambda_P = 4.5 \cdot 10^{-2} m$, $K_P = 0.15 \frac{W}{m \cdot K}$. El coeficiente de convección interior de la habitación caliente aislada es $h_{int} = 9.26 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (12). El coeficiente de convección no forzado con un viento de velocidad $v = 6.7 \frac{m}{s}$ es $h_{ext} + h_{int} =$

$34.07 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (12). Se obtiene un flujo de calor de $Q = 14.37 \frac{W}{m^2}$. Este flujo de calor se sitúa en el límite para una casa pasiva, pero como no hay grandes ventanales este flujo de calor por unidad de área se puede considerar aceptable.

3.3. Conclusiones

- Se recomienda quitar la capa de fibrocemento de la pared del Módulo II por problemas de salud relativos a la Asbestosis, por una capa de madera, Pladur o cemento.
- Para que la estación tenga un muy buen sistema aislante, con un flujo de calor por unidad de área por debajo de $\frac{Q}{A} \leq 5 \frac{W}{m^2}$, como el de una casa pasiva, se ha observado mediante

el modelo físico-matemático de condiciones de conducción unidimensional en régimen



estacionario, que es necesario que el espesor de aislante de las paredes, techo y suelo pase de 10 a 30 cm de poliuretano, de conductividad térmica $k_{\square} = 0.02 - 0.025 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$. Dicha recomendación deberá ser tomada en cuenta en el caso de la construcción de un



nuevo módulo de habitabilidad.

- Será necesario contactar con constructores y fabricantes de poliuretano para tener al menos tres presupuestos y tener en cuenta la conductividad térmica de los materiales aislantes. No obstante, existen placas de poliuretano comerciales que se usan como aislantes a partir de 1.5 \$/ kg.
- Es necesario comprobar que todas las zonas están debidamente aisladas para que el aislante cumpla su función. Para ello deben utilizarse cámaras termográficas y hacer pruebas de infiltraciones.
- El uso de poliuretano como aislante no tiene ninguna contraindicación para la salud.
- En el caso del poliuretano no debería sobrepasarse tensiones de los 100 MPa.
- Si por motivos de eficiencia finalmente se compran láminas de poliestireno en vez poliuretano, deberán considerarse mayores espesores.
- Para el módulo III se recomienda separar bien las zonas para que no pueda haber contaminación entre el agua y los productos químicos, así como diferenciar bien las zonas que necesitan y pueden aislarse.
- Para las ventanas se recomienda la configuración de una ventana de doble, triple o quádruple cristal de 9,5 mm de espesor y de 12-15 cm de capa de aire entre vidrios. Además se recomienda una estructura de PVC de al menos 45 cm de espesor.
- Con todas las medidas tomadas, el ambiente dentro de la estación será mucho más cálido y repercutirá en un ahorro significativo en combustible, además será posible vivir en la estación durante todo el año.

4. Otras soluciones para mejorar el aislamiento térmico de la estación PVM

4.1. Cimientos de hormigón

Los módulos de la estación PVM están contruidos sobre cimientos de hormigón que sirven de soporte de la estructura metálica. No existe información acerca de si los cimientos se encuentran aislados para evitar que el calor se transfiera por la tierra. Realizar un cambio de este tipo en una estructura construida implicaría remover la tierra para colocar el aislamiento. Por este motivo, no se recomienda realizar este procedimiento, sin embargo, se lo debe tener en cuenta para construcciones futuras. El tipo de aislante comúnmente utilizado y recomendado por códigos

es el poliestireno expandido de 50 mm de espesor adherido a toda la periferia de los cimientos. Existen también las formas de concreto aislado (ICF) que son aislamientos de poliestireno expandido que son colocados antes de la construcción de los cimientos como indica la Figura 7.

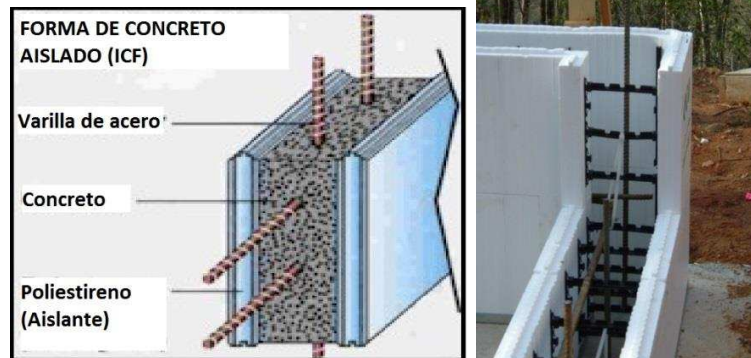


Figura 7. Formas de concreto aislado (ICF)

4.2. Estructura Metálica

Los módulos de la estación PVM están contruidos con estructura de acero. Se asume que se trata de un acero estructural al carbono como el acero ASTM A-36. Este tipo de acero es común para estructuras metálicas. Si bien este acero no es el ideal para trabajar en condiciones extremas (bajo los $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) tampoco se descarta ya que conserva sus propiedades a bajas temperaturas. Aceros óptimos para trabajar en condiciones extremas pueden ser los de la serie ASTM A-990, A-572, A-350, A-340, A-325, entre otros (15). El problema principal del acero A-36 es que a temperaturas menores de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ pierde sus propiedades mecánicas de elasticidad y flexibilidad y por lo tanto se vuelve un material frágil. Sin embargo, la estructura de la estación PVM no está expuesta a impactos o cargas extremas. Igualmente la temperatura en la estación no llega a ser menor de $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo tanto no es recomendable modificarla. No obstante, se aconseja considerar este factor para la construcción de futuros módulos.

Según los datos que se tienen sobre los módulos de la estación, se asume que las vigas y columnas de la estructura metálica no se encuentran aisladas. Así se puede ver en la Figura 8.



Figura 8. Columna sin aislante térmico en la estación PVM

Es recomendable colocar aislante en la parte interior de las columnas exteriores. Lo ideal es aislar toda la columna, sin embargo, esto implicaría un desmontaje de la envolvente exterior de acero galvanizado. El aislante puede ser poliestireno expandido de 50 mm de espesor (16).

4.3. Cubierta

Es conocido que la cubierta es una de las zonas más críticas por donde existen pérdidas de calor, por tal motivo es importante tener el aislante suficiente. La cubierta al estar expuesta al ambiente, viento y nieve debe presentar un aislamiento igual o superior al de las paredes. Por lo tanto se debe aislar ya sea con poliuretano o con poliestireno expandido con al menos 30 cm de espesor. Igualmente, es importante dejar un espacio (ático) inhabitado (17). Esta práctica si se la realiza y se debe verificar que no existan espacios sin cubrir ya que estos representarían infiltraciones de aire frío y por lo tanto pérdidas de calor (Figura 9).



Figura 9. Infiltraciones en la cubierta en la estación PVM

4.4. Piso

El piso es una superficie grande y por lo tanto es crítica al tener contacto con el ambiente. Aunque el piso no tenga contacto directo con el suelo es importante tener un alto aislamiento. La estación PVM cuenta con un piso que se compone de una capa de acero galvanizado, madera de pino y alfombra. Este tipo de composición no ofrece un aislamiento adecuado para climas fríos. Es importante colocar aislante entre la capa de acero galvanizado y la madera. Se puede emplear poliuretano o poliestireno expandido de 30 cm de espesor como se ha comentado en la sección 3.

4.5. Rotura de puentes térmicos

Existen distintos métodos para romper los puentes térmicos que existen por las estructuras metálicas que tiene contacto con el exterior y con el suelo. Los métodos más simples consisten en aislar térmicamente la periferia de la estructura como se indica en la Figura 10. El objetivo es evitar el contacto directo de la estructura con el exterior o con el suelo.



Figura 10. Aislamiento periférico de vigas y columnas

Así mismo, existen métodos más sofisticados como colocar materiales aislantes en las vigas o columnas. Este procedimiento se debería hacer durante la fase de construcción y con un diseño apropiado, ya que estos materiales no tienen las mismas propiedades mecánicas que la estructura (resistencia a la tracción, compresión, flexión, etc). La Figura 11 indica un elemento que se conoce como bloques de soporte aislados (*insulated bearing block*). Estos bloques pueden soportar presiones entre 1000 y 1800 psi (6.9 a 12.4 MPa) (18), por lo tanto se debe dimensionar correctamente su empleo. Este tipo de material se coloca entre el concreto del cimiento y la columna de acero. Su objetivo es eliminar o reducir el puente térmico entre el concreto que está en contacto con el suelo y la columna de acero que es parte de la estructura. Adicionalmente la Figura 11 muestra el aislante que se coloca periféricamente en el cimiento de concreto para disminuir la transferencia de calor con el suelo.



Figura 11. Aplicación de los bloques de soporte aislados

La Figura 12 muestra materiales que se emplean para romper el puente térmico en vigas horizontales de acero. Este tipo de material es muy bueno para romper los puentes térmicos, emplean pernos que unen el corte de la estructura. Estos pernos son los que soportan la carga por lo tanto deben ser correctamente diseñados. Los fabricantes indican las características térmicas y mecánicas de estos materiales y deben ser empleados correctamente ya que van a estar soportando cargas mecánicas (19).

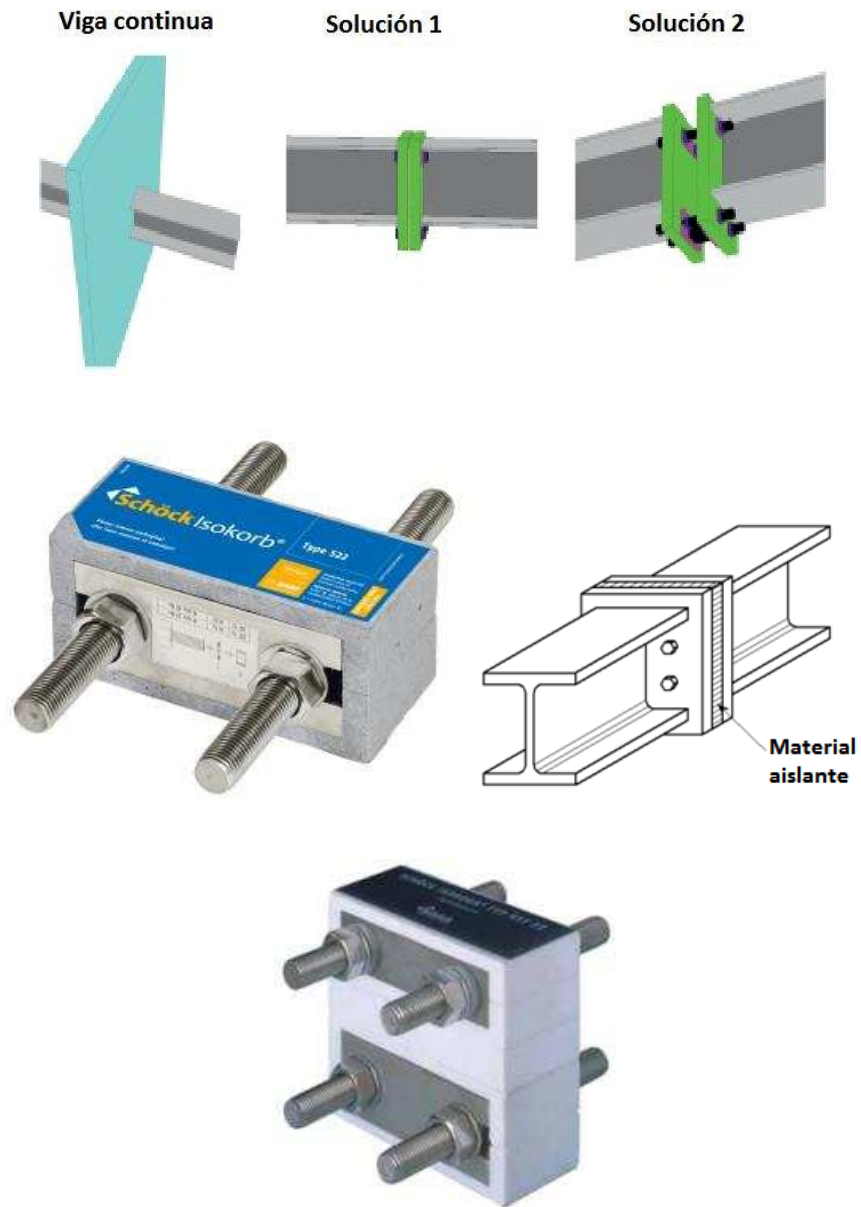


Figura 12. Elementos de ruptura de puente térmico en vigas horizontales

4.6. Equipos utilizados en la estación PVM y horarios de explotación

La estación PVM cuenta con generadores eléctricos a diésel para la producción de electricidad y con calderas a diésel para la producción de agua caliente para uso doméstico y para uso en la calefacción.

No se tiene información detallada sobre el funcionamiento de los equipos, rendimiento, horarios de utilización, etc. Se tiene información de que las calderas de agua caliente para la calefacción están en constante operación. Esto genera gastos inapropiados de diésel, que aparte de incrementar el consumo del mismo generan mayor cantidad de emisiones de gases contaminantes. Por tal motivo, es importante determinar los horarios de ocupación de los camarotes, cocinas, laboratorio, y demás zonas funcionales. El objetivo es principalmente proveer de agua caliente para calefacción a las distintas zonas solamente durante las horas de ocupación. Mientras las zonas están desocupadas se deben fijar los termostatos a bajas temperaturas.

Igualmente, no se tiene información sobre la existencia de sistemas de control para los equipos de calefacción. En caso de existir se debería programar la activación de los radiadores en función de los horarios de ocupación (20). En caso de que no exista un sistema de control se debe capacitar al personal para que manualmente activen los equipos solamente en los períodos de ocupación.

5. Instrumentación para el análisis del balance térmico de la estación PVM

5.1. Estación meteorológica

Como se sabe la meteorología influye de forma importante en el balance térmico de los edificios. En este sentido las variables más importantes son la temperatura del ambiente exterior, la irradiación solar y la velocidad y dirección del viento. Así pues con el objeto de medir y analizar el balance térmico de la Estación Pedro Vicente Maldonado, se ha propuesto la instalación de una de una estación meteorológica portátil por un período de 3 meses coincidiendo con la estancia de verano de los miembros del Instituto Nacional Ecuatoriano.

Los elementos principales de la estación meteorológica son (Figura 13)

1. Sensor de temperatura ambiente (-40 a 70 °C) y humedad relativa (0 a 100%) equipado con escudo de protección solar.
2. Sensor de irradiación solar global de banda espectral de 310 hasta 2800 nm y con un rango de temperatura de -40 °C a 80 °C.
3. Sensor de velocidad y dirección de viento con un rango de temperatura de -35 °C a 80 °C.
4. Sensor barométrico de 600 a 1100 mb con un rango de temperatura de -40 °C a 60 °C.
5. Pluviómetro.
6. Módulo para la adquisición de datos digitales y analógicos.

7. Accesorios: trípode, caja estanca preparada para intemperie y sistema de generación de energía con panel fotovoltaico de 70W y batería de 36 A.h 12V.

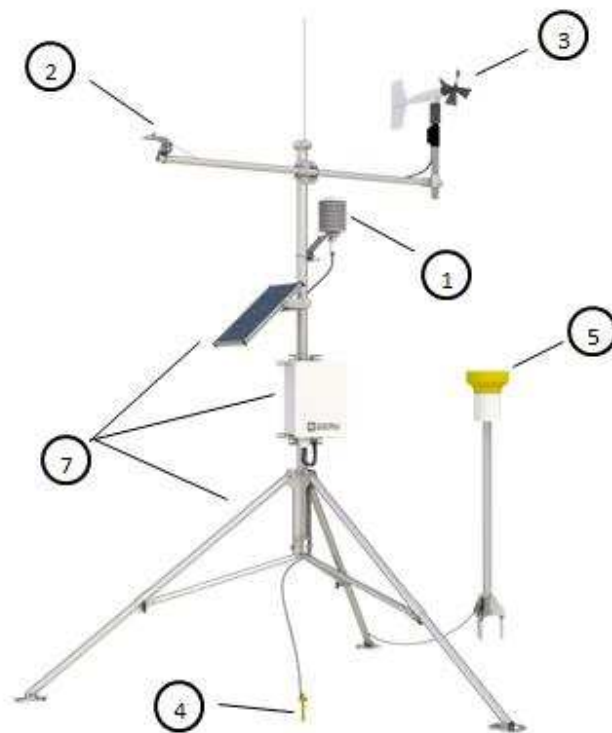


Figura 13: Elementos principales de la estación meteorológica

En el Anexo 1 se encuentran los detalles de cada uno de estos elementos.

5.2. Sistema de monitorización interior

Este sistema se emplea para medir y registrar las temperaturas de los cerramientos (paredes, techo y suelo) tanto en el exterior como en el interior de la estación PVM. De este modo se pueden calcular de forma rigurosa los flujos de calor del interior al exterior del edificio. También permite registrar el grado iluminación y la calidad del aire.

Los componentes principales son:

1. Módulo de adquisición de datos (Figura 14).
2. Sensores de temperatura (termocuplas) (Figura 15).
3. Sensor de nivel de CO₂ en el aire.
4. Sensor de nivel de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en el aire.
5. Accesorios

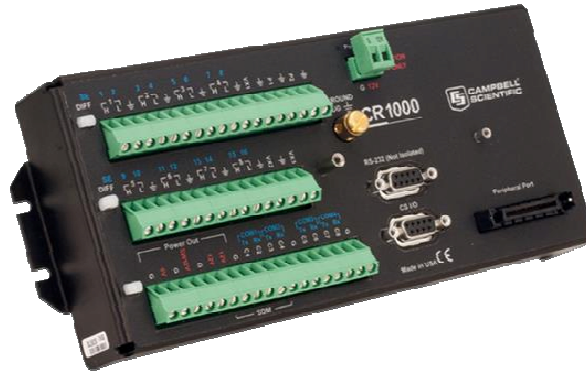


Figura 14. Módulo de adquisición de datos para acoplar a la pared.

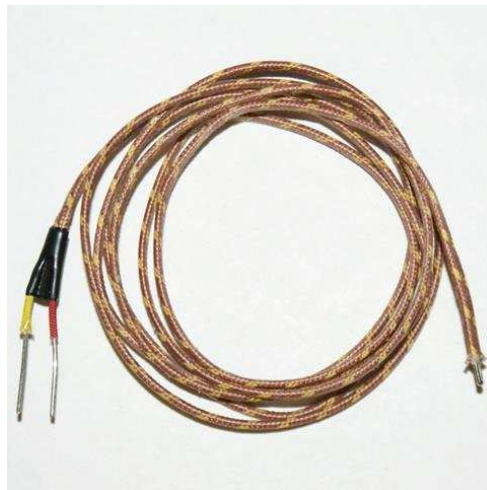


Figura 15. Termocupla para acoplar a la pared.

Es importante destacar que es necesaria una capacitación previa de algunos miembros de la expedición para el montaje y operación correcta de la estación meteorológica, sistema de monitorización interior y cámara termográfica. Esta capacitación junto con los manuales está incluida en el proceso de compras. También se recomienda instalación de unos pares más de termocuplas que servirán para monitoreo tanto de los materiales existentes como para los materiales nuevos que se van a instalar (caña guadua). Estas termocuplas se conectan fácilmente al módulo de adquisición de datos. El mismo modulo se debería aprovechar para medir el consumo energético de la instalación.

5.3. Cámara termográfica

Este equipo resulta de gran utilidad para aplicaciones en el ámbito energético. En el caso de la estación PVM se utilizará como herramienta de inspección y diagnóstico del grado de aislamiento de los cerramientos del edificio y del estado de las instalaciones térmicas y eléctricas.

Este equipo permite identificar los puentes térmicos entre el ambiente exterior e interior y evaluar las correspondientes pérdidas térmicas.

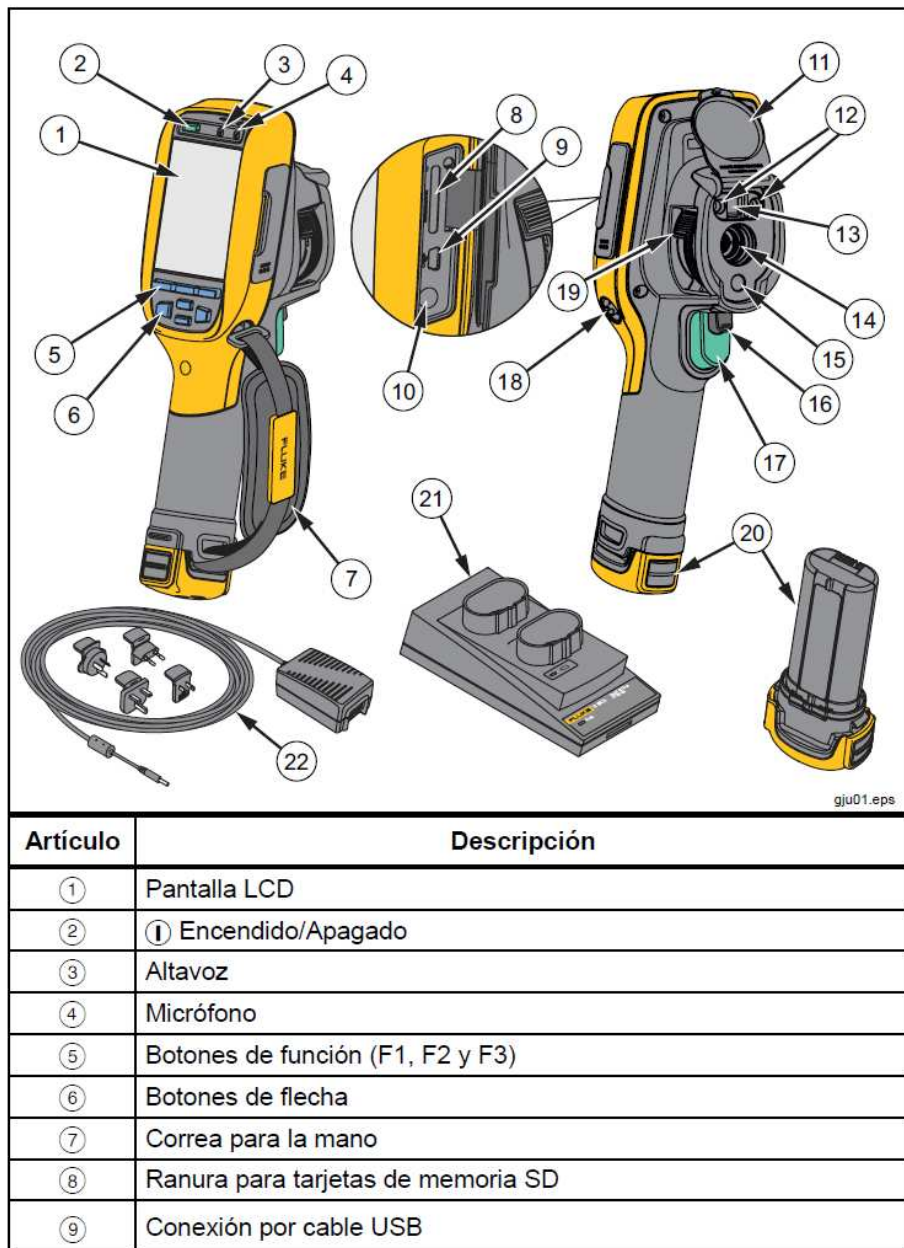


Figura 16. Cámara termográfica y accesorios.



6. Referencias

1. Países miembros. *Tratado Antártico*. Whashington D. C. : s.n., 15 de Octubre de 1985.
2. TERCERA AUDITORIA AMBIENTAL DE CUMPLIMIENTO INTERNA, *Estación Científica Pedro Vicente Maldonado Islas Shetland del Sur – Antártida* Instituto Antártico Ecuatoriano INAE, Cap 3. Pag 4-20, Quito, 2009.
3. H. MOREANO. *Rumbo a la Antártica*. Acta PROANTEC, pag 1-10. 1990.
4. Barbara Heimpele. *Grün in der Antarktis*, Deutschlandfunk (September, 2009).
5. Matthew A. Lazzara. *Preliminary Report: Record Temperatures at South Pole (and nearby AWS sites...)*. Retrieved 2011-12-28.
6. GHCN Climate data, *GISS data publications*, period 1978-2007.
7. Dirección General de Industria de la Comunidad de Madrid, *Guía del estándar Passivhaus Edificios de consumo energético casi nulo*, Madrid, 2011 pags 1-209.
8. K.D. Maglic, A. Cezairliou, V.E. Peletsky. *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods*. Volume 1, Plumen Press, New York 1984.
9. J.R. Wunsch, *Polystyrene - Synthesis, Production and Applications*. Smithers Rapra Publishing. (2000) ISBN 9781859571910., p.6.
10. C. Hepburn. *Polyurethane Elastomers*. Elsevier (1992).
11. UNET. *Fenomenos de transporte*. Unidad IV transferencia de calor. 2011.
12. ASHARE. *Fund 75*. pag 351-357. USA
13. Beatriz Garzón. *Arquitectura Bioclimática*. Nobuko. 2007. pp 10-175.
14. Belén Marín Martínez y Ignacio Clavera. *Asbestosis*. An. Sist. Sanit. Navar. 20: pp. 37-44 (2005).
15. Mike Carter and Roman Stangl; Considerations for Building Design in Cold Climates; Northern Microclimate Inc; 2012 <http://www.wbdg.org/resources/bldgdesigncc.php>
16. James Buska; Design and Construction of Infrastructure in Cold Regions; Engineer Research and Development Center Cold Regions Research and Engineering Laboratory Hanover, New Hampshire, USA; http://www.sameanchorage.org/files/presentations/09_08Luncheon.pdf



17. Richard L. Fricklas; Metal Roof Design for Cold Climates; Buildings; 2012
<http://www.buildings.com/article-details/articleid/13405/title/metal-roof-design-for-cold-climates.aspx>
18. Robert Field and Russ Miller-Johnson; Site, Foundations, and Sustainable Construction; Structural Sustainability; 2009 <http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=998>
19. Dieter Hardock; Structural Steel and Insulation: An Effective Solution?; Isokorb; 2013
<http://www.schock-blog.com/structural-steel-and-insulation-an-effective-solution/>
20. Scott Harris Friend; Sustainability and habitation in Antarctica; Montana State University; 2009

ANEXO 1: Detalles de los elementos de la estación meteorológica

DESCRIPCION
<p>DATALOGGER CR1000</p> <p>Flexibilidad: Debe permitir la incorporación de varios sensores a la vez Memoria incorporada De 2 MBytes para el sistema operativo y al menos 4 Mbyte SRAM para el CPU.</p> <p>Programación El datalogger debe ser programable en el software Loggernet y poder usar distintos sensores.</p> <p>Ejecución de programas tiempos Ejecución de programa a intervalos de 10 ms a 30 min en incrementos de 10 ms</p> <p>Entradas analógicas 3 entradas analógicas diferenciales o 6 entradas analógicas simples, configuradas individualmente.</p> <p>Debe ser compatible con un multiplexer para aumentar la capacidad de sensores</p> <p>Salidas analógicas 2 canales de voltaje alterno, activos solamente durante las mediciones, uno a la vez.</p> <p>Medidas de resistencia Debe proporcionar mediciones en puentes completos de 4 y 6 cables y medios puentes de 2, 3 y 4 cables.</p> <p>Contadores de pulsos 2 entradas de 24 bits 3 modos de operación; alta frecuencia, baja frecuencia y modo de ingreso de switch</p> <p>Puertos digitales 4 I/O configurables (Seriales UART, SDI-12 o comunicación SDM)</p> <p>Fuente de 12 V Una salida tipo fuente independiente de 12 V sin regulación que puede ser encendida o apagada por el programa de control</p> <p>Soporte para interfaz SDI-12 El datalogger debe poder configurar sus puertos para comunicaciones asíncronas SDI-12 (hasta 10 sensores por puerto).</p> <p>CPU e interfaz El procesador debe ser de 16 bits con núcleo interno de 32 bits.</p> <p>Interfaces seriales Un CS I/O de 9 pins RS232 DCE y un RS-232</p> <p>Batería de respaldo Tipo SRAM para proporcionar protección de datos y programas</p>
<p>PLUVIOMETRO YOUNG</p> <p>Tamaño: 18 cm de diámetro. x 30 cm de alto, 39 cm de alto (con la base de montaje)</p> <p>Áreas de Influencia: 200 cm²</p> <p>Resolución: 0,1 mm</p> <p>Precisión: 2% hasta 25 mm / hr 3% hasta 50 mm / h</p> <p>Salida: interruptor de láminas magnéticoas</p> <p>Temperatura de funcionamiento:-20i a +50° C (calefacción)</p> <p>Potencia: 18 Watts por sólo calentador</p>

SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA CS215

HUMEDAD RELATIVA

Rango de Medición:

0 to 100% RH (-20° to +60°C)

Output Resolution:

0.03% RH

Accuracy (a 25°C):

±2% (10% a 90% range),

±4% (0% a 100% range)

Histéresis: < 1% RH

Estabilidad (Típica): ±1.0% per year

TEMPERATURA:

Rango de Medición: -40° a +70°C

Resolución de Salida: 0.01°C

Precisión:

±0.3°C a 25°C;

±0.4°C (+5° a +40°C);

±0.9°C (-40° a +70°C)

Respuesta de Tiempo W-filtro: < 120 s (63% respuesta de tiempo con movimiento de aire a 1 m s⁻¹)

PROTECTOR DE SENSOR CS215

Escudo de Radiación Solar para proteger al Sensor de Temperatura y Humedad Relativa: Conducto de 1.0 a 2.1 in. OD, Peso máximo de 0.9 lb, Alto máximos de 11.4 cm, Platos de diámetro de: 11.9 cm, Construcción: UV estabilizado, Platos termoplásticos, Braket de montaje de aluminio, Pintura electrostática al horno

SENSOR DE DE RADIACION GLOBAL CMP3

Banda Espectral:: desde 310 hasta 2800 nm

Radiación máxima: 2.000 W / m²

Sensibilidad: 5 a 20 mV / W / m²

Rango de temperatura: de -40 ° a +80 ° C

La dependencia de la temperatura: ± 5% (-10 ° a +40 ° C)

No linealidad (0 a 1000 W / m²): <± 2,5%

Respuesta inclinación (± 80 °): <± 2% en 1000 W / m²

Clasificación ISO: Segunda Clase

Ancho: 7.9 cm (3.1 pulgadas)

Altura: 6,7 cm (2,6 pulgadas)

Diámetro de la cúpula: 3,2 cm (1,3 pulgadas)

KIT DE MONTAJE PARA SENSOR CMP3

SENSOR DE VELOCIDAD Y DIRECCION DEL WINDSONIC4

Humedad de funcionamiento: <5% a 100% de humedad relativa
 Temperatura de funcionamiento: -35 ° a +70 ° C
 Temperatura de almacenamiento: -40 ° a +80 ° C
 Voltaje de entrada: de 9 a 30 Vdc
 Típica Consumo de corriente: <10 mA a 12 V
 Medición de frecuencia: 40 Hz bloque promedio a una frecuencia de salida de 1 Hz
 Salidas Parámetros: Polar (dirección y velocidad) y ortogonal (Ux y Uy viento)
 Señal de salida: SDI-12 versión 1.3
 Diámetro: 14,2 cm (5,6 pulgadas)
 Largo: 16,0 cm (6,3 pulgadas)
 Peso: 0.5 kg (1.1 lb)

SENSOR BAROMETRICO CS100

rango de 600 a 1100 mb
 Precisión: $\pm 0,5$ mb @ 20 ° C;
 $\pm 1,0$ mb @ 0 ° a 40 ° C;
 $\pm 1,5$ mb @ -20 ° a 50 ° C;
 $\pm 2,0$ mb @ -40 ° a +60 ° C
 Linealidad: $\pm 0,4$ mb
 Histéresis: $\pm 0,05$ mb
 Repetibilidad: $\pm 0,03$ mb
 Resolución: $\pm 0,01$ mb
 Estabilidad a largo plazo: $\pm 0,1$ mb por año
 Tiempo de respuesta: <100 ms
 Excitación: 9,5-28 Vdc
 Consumo de corriente:
 <3 mA (activa);
 <1 μ A (modo de reposo)
 Tiempo de calentamiento: <1 s
 Resolución: 0,01 m s-1
 Temperatura de funcionamiento: -40 ° a 60 ° C
 Dimensiones: 9,1 x 6,1 x 2,5 cm
 (3,6 "x 2,4" x 1,0 ")
 Peso: 135 g (4,8 oz)

TRIPODE DE ACERO INOXIDABLE

Altura 3 metros, diámetro de tubería 1,5 pulgadas, accesorios de acero inoxidable para instalar sensores, incluye tubo de 1,5 pulgadas para instalación de sensor de dirección y velocidad del viento, y sensor de radiación solar, soporte de acero inoxidable para pluviómetro

**CAJA NEMA**

Material: Fibra de vidrio moldeada y comprimida al caliente reforzado con poliéster (termoestable). Resistente a la corrosión, radiación ultravioleta y sustancias químicas. Junta transparente de poliuretano proporciona hermeticidad, sello ambiental a prueba de polvo. Puerta con profundidad extendida aprox. 5 cm. Doble cerradura de acero inoxidable para candado. Dimensiones externas: 499 x 444 x 270mm. Peso aproximado: 19,50libras. Perforaciones superiores e inferiores para facilidad de montaje en torre (incluye tornillos en acero inoxidable con accesorios). Bordes redondeados, salientes mínimos o áreas expuestas para acumulación de polvo y/o escombros. Cumple estándar NEMA 250 Tipo 1, 3R, 4X, 6P, 12. Rango de temperatura de -60 a 134°C. Autoextinguible: No halogenados, no propagador de la llama. Cumple NFPA No. 101. Propagación de llama Clase A (1).

PANEL SOLAR DE 70W**BATERIA 12V 36AMP**

libre de mantenimiento. Tipo: Selladas, Plomo-Ácido. Voltaje Nominal: 12V. Tiempo de vida esperado: mayor a 3 años. Corriente Nominal: 36 Ah mínimo, incluye regulador de voltaje de 10 amperios.

ANEXO 2: Detalles de los elementos del sistema de monitorización de datos de temperatura de los cerramientos

DESCRIPCION
<p>DATALOGGER CR1000</p> <p>Flexibilidad: Debe permitir la incorporación de varios sensores a la vez Memoria incorporada De 2 MBytes para el sistema operativo y al menos 4 Mbyte SRAM para el CPU.</p> <p>Programación El datalogger debe ser programable en el software Loggernet y poder usar distintos sensores.</p> <p>Ejecución de programas tiempos Ejecución de programa a intervalos de 10 ms a 30 min en incrementos de 10 ms</p> <p>Entradas analógicas 3 entradas analógicas diferenciales o 6 entradas analógicas simples, configuradas individualmente.</p> <p>Debe ser compatible con un multiplexer para aumentar la capacidad de sensores</p> <p>Salidas analógicas 2 canales de voltaje alterno, activos solamente durante las mediciones, uno a la vez.</p> <p>Medidas de resistencia Debe proporcionar mediciones en puentes completos de 4 y 6 cables y medios puentes de 2, 3 y 4 cables.</p> <p>Contadores de pulsos 2 entradas de 24 bits 3 modos de operación; alta frecuencia, baja frecuencia y modo de ingreso de switch</p> <p>Puertos digitales 4 I/O configurables (Seriales UART, SDI-12 o comunicación SDM)</p> <p>Fuente de 12 V Una salida tipo fuente independiente de 12 V sin regulación que puede ser encendida o apagada por el programa de control</p> <p>Soporte para interfaz SDI-12 El datalogger debe poder configurar sus puertos para comunicaciones asíncronas SDI-12 (hasta 10 sensores por puerto).</p> <p>CPU e interfaz El procesador debe ser de 16 bits con núcleo interno de 32 bits.</p> <p>Interfaces seriales Un CS I/O de 9 pins RS232 DCE y un RS-232</p> <p>Batería de respaldo Tipo SRAM para proporcionar protección de datos y programas</p>
<p>CAMPBELL – CABLE –TIPO T</p> <p>Calibrado directamente en grados Celsius.</p> <p>La tensión de salida es proporcional a la temperatura.</p> <p>Tiene una precisión garantizada de 0.5°C a 25°C.</p> <p>Opera entre 4 y 30 voltios de alimentación.</p> <p>Baja impedancia de salida.</p> <p>Baja corriente de alimentación</p> <p>Bajo costo.</p>
<p>CABLEADO</p>

LIGHT METER

Consumo de corriente: 2mA
Impedancia de salida: 1K ohms
Ancho de banda / Tiempo de reacción 50Hz
Voltajes min /max 3.3VDC a 5.0VDC
Nivel mínimo de luz: 1 lux
Nivel máximo de luz @ 5VDC de alimentación 1000 lux
Error / Exactitud (valor típico) 5%
Nivel máximo de luz @ 3.3VDC de alimentación 660 lux
Longitud de onda con máxima sensibilidad 580nm

SENSOR DE CO2

Buena sensibilidad y la selectividad a CO2
Calefacción 6.0 ± 0.1 V Voltaje AC o DC
Calefacción Resistencia 30,0 ± 5% Ω
Calefacción Corriente 200 mA
Calefacción Potencia 1200mW
Temperatura de funcionamiento -20-50°C
Temperatura de almacenamiento -20 a 70°C
Salida F 30-50mV 350 10000ppmCO2

SENSOR DE VOC

Gama de la medida: seleccionable 0 - 10, 0 - 100, 0 - 1000 ppm (partes por millón)
Precisión: (0-10 y 0-100 ppm) + / - 2%; (100-1000 ppm) + / - 5%
Linealidad: (0 - 100 ppm) > 98%
Energía de entrada, sensor: 5 - 28 VDC, 65 mA
Energía de entrada, 4-20mA: 8-35 VDC, 22 mA
Temperatura de funcionamiento: -200C a 500C (-40F a 1220F)
Humedad de funcionamiento: 0 a 95% de humedad relativa sin condensación
Respuesta: sensor T90 <5 seg.
Sensor: Lámpara PID, 10,6 eV (Krypton)
Ciclo de trabajo de la lámpara: seleccionable 5 seg. a 5 min. (1 min. Std.)
Proceso de muestreo: difusión
Señal de salida: 4 - 20 mA
Pantalla: LCD de 7 segmentos de 4 dígitos, 4 colores
Calibración: cuatro etapas
Protección: (TVOC) - IP65 (sensor) - IP54
Aprobaciones de seguridad intrínseca: II 2 G EEx ia IIC T4, cert # Baseefa05ATEX0277

**CAJA NEMA**

Material: Fibra de vidrio moldeada y comprimida al caliente reforzada con poliéster (termoestable) Resistente a la corrosión, radiación ultravioleta y sustancias químicas Junta transparente de poliuretano proporciona hermeticidad, sello ambiental a prueba de polvo Puerta con profundidad extendida aprox. 5 cm. Doble cerradura de acero inoxidable para candado. Dimensiones externas: 499 x 444 x 270mm. Peso aproximado: 19,50libras. Perforaciones superiores e inferiores para facilidad de montaje en torre (incluye tornillos en acero inoxidable con accesorios). Bordes redondeados, salientes mínimos o áreas expuestas para acumulación de polvo y/o escombros. Cumple estándar NEMA 250 Tipo 1, 3R, 4X, 6P, 12. Rango de temperatura de -60 a 134° C. Autoextinguible: No halogenados, no propagador de la llama. Cumple NFPA No. 101. Propagación de llama Clase A (1), incluye regulador de carga de 10 amperios.