

Análisis de resultados de la Caracterización energética de la Base Antártica Gabriel de Castilla. Hacia un nuevo modelo de sostenibilidad energética en las BAE,s del Ejército de Tierra

Rodríguez Soria, Beatriz^{1,*}; García García, Miguel Angel¹ y Navarro Gutiérrez, Carlos².

¹ Centro Universitario de la Defensa Zaragoza (CUDZ). Academia General Militar. Crta Huesca s/n. 50090 Zaragoza. Correo electrónico: brs@unizar.es (BRS), magargar@unizar.es (MGG).

² B+Haus Arquitectura Eficiente (B+H AE). c/Armas, 70, local 4, 50003. Zaragoza. Correo electrónico: carlos@bhaus.es (CNG).

* Autor principal; brs@unizar.es (BRS).

Resumen:

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la caracterización energética de la Base Antártica del Ejército de Tierra Gabriel de Castilla. Los datos de partida se recogieron durante una estancia de investigación que se llevó a cabo en dicha Base durante la 32ª Campaña Antártica. A partir de la caracterización se extraen una serie de conclusiones que servirán en un futuro para, apoyados en la financiación concedida por la Comisión Europea a través del Programa LIFE “Call LIFE 2019 Climate change mitigation traditional projects”, proceder al diseño y la construcción de unos módulos habitacionales, bajo el estándar Passivhaus, que permitan al Ejército de Tierra (E.T.) la conversión de las Bases desplegadas en misiones internacionales en Bases de Consumo de Energía Casi Nulo, alimentadas a través de energías limpias con almacenamiento de hidrógeno.

Palabras clave: Base Antártica, Eficiencia energética, Confort, Consumo energía.

1. Introducción

Partiendo de los datos obtenidos para la monitorización y caracterización energética de la Base Miguel de Cervantes del Ejército de Tierra (ET) en el Líbano, tomados durante una estancia en el año 2017, y los datos recogidos para la caracterización energética de la Base

Antártica Gabriel de Castilla (BAGC), tomados durante una estancia en la 32ª Campaña Antártica, se está desarrollando el diseño de unos módulos habitables que permiten reducir en torno a un 90% la demanda de energía en su utilización. Este diseño se construirá gracias a la financiación que acaba de ser concedida a través del programa LIFE de la Comisión Europea: “Call LIFE 2019 Climate change mitigation traditional projects”, a un consorcio formado por el Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar (CUDZ), la Fundación para el desarrollo de las nuevas tecnologías del Hidrógeno en Aragón (H_a), ARPA equipos móviles de campaña, S.A.U. y B+Haus Arquitectura Eficiente. El prototipo se ha denominado ZEROENERGYMOD.

El estudio parte de la necesidad detectada en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID-2010, que ya tenía como una de sus metas (MT 3.3.4.): Disminuir la dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en bases y campamentos [1] y que fue traspuesta como meta en la posterior ETID-2015 [2] incidiendo además en la necesidad de disminuir la dependencia energética de sus bases y campamentos.

1.1 Antecedentes.

Analizando las misiones asignadas a las tropas españolas del Ejército de Tierra en el extranjero, la mayoría han requerido la creación de Bases, Acuartelamientos y Establecimientos (BAE,s) para una estancia larga, siendo la principal infraestructura que se ha utilizado el contenedor de 20 pies [3], o las construcciones TYCE. El funcionamiento de estas BAE,s provoca una dependencia energética basada en el abastecimiento de combustibles fósiles que hace necesaria una enorme puesta en marcha logística. La reducción de esta logística reduciría el riesgo de los convoyes evitando pérdidas tanto materiales como humanas [4, 5]. Los máximos consumos en las BAE,s del ET se deben a la climatización y el agua caliente sanitaria (ACS) (en torno a un 80%), donde se centran los resultados del estudio [6]. En un estudio realizado con anterioridad por algunos de los autores de este trabajo, se obtuvo como resultado que, sólo mediante la construcción de los módulos de las BAE,s mediante contenedores de 20 pies adaptados a los requerimientos del estándar Passivhaus, se podía llegar a ahorrar hasta un 84% del consumo energético anual total de las mismas [7].

Si bien ha habido otros proyectos de investigación desarrollados por algunos estados miembros de la OTAN que tenían como finalidad el ahorro energético en bases ubicadas en zona de operaciones, la mayoría no iban enfocados a la disminución de la demanda de energía de sus infraestructuras, sino a la mejora de sus fuentes de generación de energía [8,9].

Como se ha mencionado en el año 20017 se realizó una estancia en la Base Miguel de Cervantes del Líbano. En esta estancia se analizó la caracterización energética de los actuales contenedores de 20 pies usados para conformar los módulos de vida, ablución, mando, vigilancia y Centro de Comunicaciones. Se observó que, si bien en líneas generales se alcanzaban rangos de temperatura tolerables la mayor parte del año, la combinación con altas humedades daba como resultado un disconfort ambiental. Además, los consumos de energía en climatización para obtener esas condiciones de confort, se encontraban en un rango entre 5 y 10 veces superior (en función del uso) a los que se quieren alcanzar con los nuevos módulos [10]. Los datos de consumo energético calculados con los datos obtenidos se asimilaban a los consultados en la Base de Afganistán [11].

A raíz del interés despertado por los resultados obtenidos en el estudio de la Base Miguel de Cervantes del Líbano, se consideró oportuno caracterizar energéticamente la BAGC como clima extremo, siendo además un trabajo que se encuentra como prioridad 1 en el Plan Director de la misma. Para ello, la investigadora Beatriz Rodríguez realizó una estancia de dos meses en la citada Base durante la 32ª Campaña Antártica (2018/2019), cuyos principales resultados obtenidos se muestran en este trabajo.

1.2 Alcance de los estudios realizados.

Los resultados de este artículo se centran en la demanda y eficiencia energética de la BAGC, pero forman parte de un estudio mucho más amplio que se está desarrollando para comenzar un proceso de descarbonización del sistema energético de las BAE,s del ET. Debido a la limitación de espacio para este artículo, de todos los edificios analizados: módulo de vida, iglús, módulo dormitorio, módulo científico y botiquín, se ha decidido presentar únicamente algunos resultados del módulo de vida, ya que se trata de una edificación de tipología TYCE que fue aportado a la Base por el propio Ejército de Tierra.

Con los datos obtenidos se quieren sentar las bases constructivas de unos nuevos módulos habitacionales ZEROENERGYMOD que consigan disminuir la demanda energética y las emisiones de CO₂ de las BAE,s del ET en torno a un 90%, proponiendo las modificaciones necesarias para su conversión a Bases de Consumo de Energía Casi Nulo bajo el estándar Passivhaus, alimentadas a través de energías limpias con almacenamiento de hidrógeno. Se pretende además aumentar su funcionalidad y su confort, así como la disminución del coste de mantenimiento de las infraestructuras. Cabe destacar además la singularidad del uso y la tipología prefabricada, replicable y de bajo coste, a base de contenedores de 20 pies que puedan ser trasladables con medios disponibles en el Ejército y que cumplan con las condiciones de seguridad y despliegue en un entorno hostil.

2. Metodología.

2.1 Caracterización de la envolvente térmica.

Se obtuvieron datos de transmitancias globales de los cerramientos con el medidor de transmitancias Testo 435. Las mediciones se realizaron como mínimo a 1m de encuentros con ventanas o esquinas para no interferir con puentes térmicos. Mediante la realización de termografías con cámara termográfica Flir, se caracterizaron los puentes térmicos y se detectaron las zonas afectadas por humedad. Sabiendo la transmitancia del muro y la diferencia de temperaturas superficiales (obtenidas gracias a las termografías) entre el muro y el puente térmico, puede obtenerse la transmitancia aproximada de este último. Mediante test de blower-door se obtuvieron las infiltraciones de aire en h-1 a 50Pa con el equipo RETROTEC Blower Door 311 LCP DM32. Dicho test se realizó conforme a las especificaciones de la Norma UNE-EN 13829 de enero de 2002, a través del software Fantestic. La medición simultánea de transmitancias, temperaturas superficiales, y termografías, junto con la realización del test de blower-door al mismo tiempo, ha permitido, sin tener que realizar ninguna intervención o técnica invasiva sobre los cerramientos, saber cuál el estado real de conservación de los aislantes y las uniones debido a su posible degradación. Esto permite, no solo mejorar las propuestas para los nuevos módulos, sino también saber el punto real de partida para una posible rehabilitación de los actuales módulos.

2.2 Caracterización de la calidad ambiental.

Para la caracterización de la calidad ambiental y el confort se siguieron las recomendaciones recogidas en la norma UNE EN ISO 7726:2002. Se ubicaron medidores ubicados de forma que también permitiera conocer los gradientes térmicos dentro de las estancias

2.3 Caracterización de la demanda energética.

Se registraron, para cada uno de los módulos, los valores de potencia absorbida tanto para climatización como para ACS. Esta caracterización se realizó para los elementos de mayor consumo eléctrico. Para ello, se emplearon datalogger monofásicos y analizadores de redes trifásicos. Asimismo, se recopilaron datos de funcionamiento de los grupos electrógenos que su ministran la energía eléctrica de la Base.

2.4 2.4. Tratamiento de datos.

Para el estudio los datos se incluyeron gráficas semana a semana desde el día 14 de febrero al día 15 de marzo, ofreciendo datos cada 2 horas para obtener una escala de medida apreciable. Se muestra la 3ª semana. No obstante, para el estudio se ha generado una base de datos horaria que permita realizar cálculos dinámicos adecuados. Los datos de condiciones ambientales exteriores se han extraído de la página <https://antartida.aemet.es/index.php?pag=estaciones#> , donde ya se encuentran disponibles los datos de la campaña 2018-2019.

3. Resultados de las mediciones

3.1 Pruebas y ensayos sobre la envolvente térmica.

La transmitancia obtenida en el módulo de vida se encuentra en torno a U-value: 1,30W/m²K. Las infiltraciones del módulo de vida se encuentran en torno a n50 igual 6,14 h⁻¹, que equivale a una fuga equivalente de NLA50 1,33 cm²/m².

En cuanto al estado de la envolvente en primer lugar se muestra una termografía exterior con el fin de caracterizar los puentes térmicos, así como posibles degradaciones del aislamiento. El segundo tipo de termografías se realizaron desde el interior de forma simultánea a la prueba de blower-door. La finalidad de dichas termografías es detectar las zonas donde se producen las infiltraciones de aire.

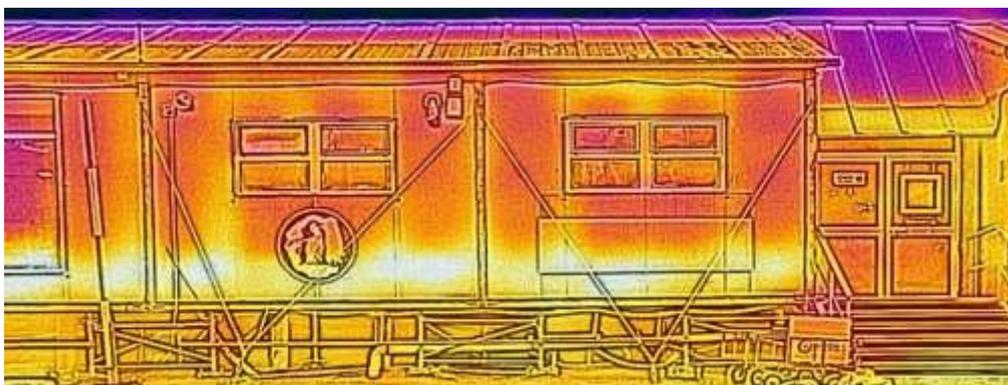


Figura 1. Termografía de la pred frontal del módulo de vida. Degradación del aislamiento en la franja inferior.



Figura 2. Termografías de las infiltraciones en la unión entre el suelo y los paneles de esquina durante el ensayo de blower-door

3.2 Gráficas de confort frente a condiciones climáticas.

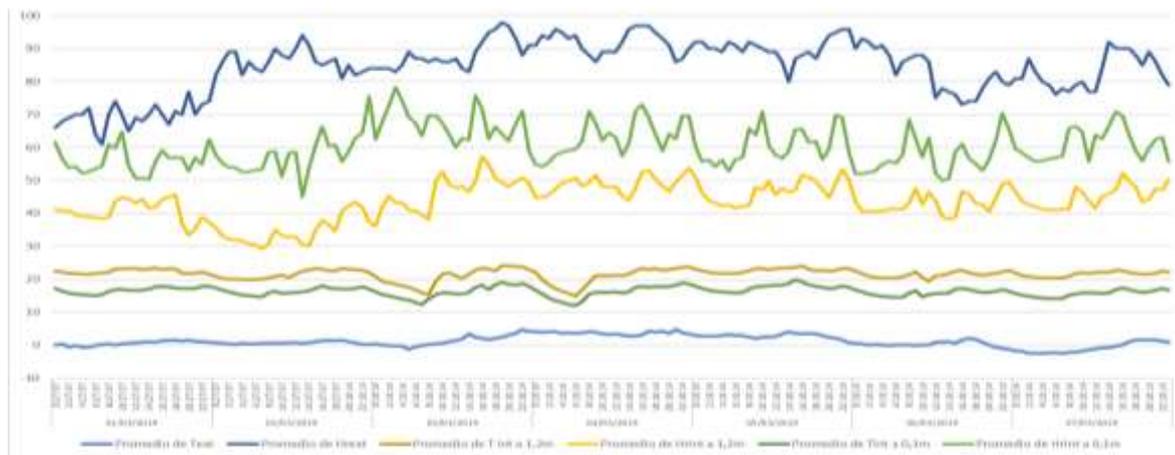


Figura 3. Temperatura y humedad relativa interior y exterior en el módulo de vida, 3ª semana.

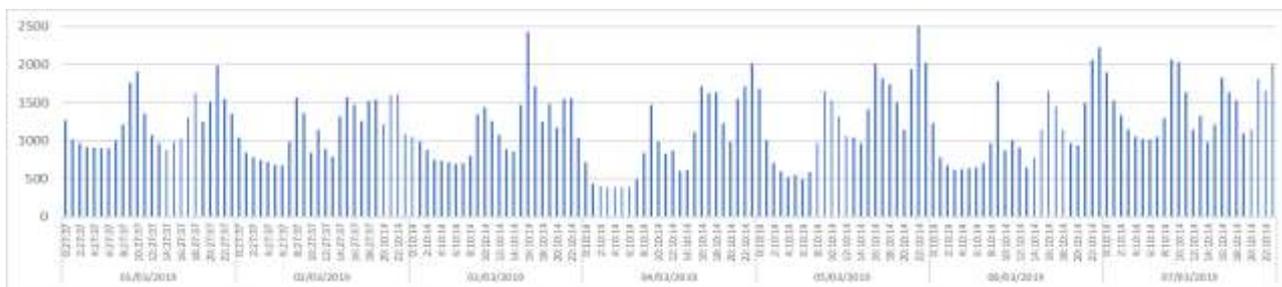


Figura 4. Concentraciones de CO2 en el módulo de vida, 3ª semana.

3.3 Gráficas de consumo de energía eléctrica



Figura 5. Consumo potencia activa (W) caldera módulo de vida. 3ª semana

Al consumo del funcionamiento del ventilador de la caldera mostrado en esta gráfica, hay que sumar el consumo de gasoil del quemador, que es de 2kg por cada hora de funcionamiento. La caldera se encuentra en funcionamiento una media de 15,50 horas al día.

4. Análisis de resultados y medidas de mejora

4.1 Resumen de los principales resultados obtenidos en el módulo de vida

En la tabla 1 se muestra un resumen de los datos obtenidos para el módulo de vida, que se comparan con los valores de referencia tanto para la actual normativa española como para el estándar constructivo Passivhaus con el que se va a construir el prototipo. La calefacción se ha dado en tres meses de funcionamiento ya que es el tiempo de apertura de la BAEGC.

Normativa / Módulo de estudio	U-value cerramientos opacos (W/m ² K)	Infiltraciones en n50 (h ⁻¹)	Demanda anual máxima calefacción (kWh/m ² año)	Puentes térmicos
Passivhaus	clima polar: <0.09	<0,6	<15	Diferencia máxima de temperatura superficial de cerramientos y temperatura operativa: 4K
Nuevo HE1	en zona E1: <0,37 cada uno de los cerramientos	Compacidad <2: <6,0 Compacidad >4: <3,0	Consumo de energía primaria no renovable: 10 + (8*Carga interna media)	No especifica
Módulo vida	1,30	6,14	Durante 3 meses: 283,53	Tmarco-Top = 10K

Tabla 1. Comparativa de valores normativos de referencia con los valores obtenidos en el módulo de vida

En referencia a la envolvente, se comprueba que la transmitancia del módulo de vida casi cuadruplica la máxima permitida en España para su zona climática de invierno más severa, siendo éste un clima mucho más suave que el polar. Si lo comparamos con el estándar de construcción de edificios de consumo casi nulo para clima polar el módulo de vida multiplica por 14 su valor máximo. El siguiente factor que influye en el estado de conservación de la envolvente y por tanto en la demanda de energía de calefacción son las infiltraciones de aire. Con una compacidad de edificios menor que dos, la normativa española exige unas infiltraciones medidas a 50Pa por debajo de 3h⁻¹ y el estándar Passivhaus un máximo de 0,6h⁻¹. El valor obtenido para el módulo de vida es 10 veces superior al de dicho estándar.

La demanda de calefacción obtenida es 18 veces mayor que la que se quiere obtener con el nuevo prototipo.

4.2 Principales problemas detectados.

Se ha comprobado que el sistema de climatización por aire a través de difusores en el falso techo sin sistema de ventilación asociado no es el más adecuado, ya que se producen grandes gradientes térmicos, con una diferencia de temperatura entre 1,2m y 0,1m de altura de unos 5°C, muy superior a la máxima permitida por las normativas tanto europeas como españolas (en torno a 2°C). Además, estos gradientes térmicos junto con la existencia de superficies o “paredes frías” como las ventanas, provocan que por el propio movimiento del aire (al cambiar su densidad con los cambios de temperatura), se produzcan corrientes de aire en el interior de las estancias, aún sin haber apertura de ventanas, que generan disconfort.

En cuanto a las concentraciones de CO₂, durante el desayuno y comida se alcanzan valores por encima de las 1200ppm y las 1500ppm, cuando la concentración de CO₂ en el ambiente de acuerdo a la EN 13779 para calidad de aire IDA3 debe estar por debajo de 1000ppm. En cambio, al no haber una ventilación después de comer, durante la cena y el descanso posterior se llegan a alcanzar concentraciones de 2500ppm, que como indica la Organización Mundial de la Salud posee efectos adversos sobre la salud. Además, la escasa ventilación y el tipo de climatización seleccionada provocan humedades relativas muy bajas, por debajo de lo indicado tanto en el RITE como en la UNE EN ISO 7726:2002. Estos valores pueden producir dolores de cabeza, problemas en las mucosas y problemas oculares, como se constató en el malestar general de los ocupantes.

En cuanto al funcionamiento de la caldera, en la figura 5 puede verse que los ciclos de conexión desconexión son frecuentes y que el tiempo que está en cada uno de esos estados es reducido. Esto se debe a que al alcanzar la temperatura de consigna se desconecta y vuelve a conectarse pocos instantes después en cuanto la temperatura baja muy poco por debajo de la temperatura fijada, algo que ocurre muy rápidamente debido a las grandes pérdidas energéticas a través de la envolvente. Se comprobó que el factor de potencia se sitúa entre 0,9 y 0,98, disminuyendo drásticamente cuando la caldera se conecta o se desconecta.

En cuanto a la envolvente, en las termografías se aprecia que el aislamiento de la zona de vida se encuentra muy degradado, sobre todo en su zona inferior pudiendo observar en la termografía de la figura 1 una franja inferior de unos 60 cm a lo largo de todo el módulo de color mucho más amarillo y en las zonas cercanas a las uniones. Durante el posterior cambio de la balconera del módulo, pudo observarse que se encontraba podrido. Esto puede deberse a que, debido a los altos gradientes de temperatura entre el exterior y el interior acompañado de los fuertes vientos de la isla, se producen grandes diferencias de presiones, ocasionando altas infiltraciones y degradación de los sellantes por la alta saturación de vapor de agua que posee el aire frío, que condensa una vez se ha introducido entre los cerramientos. La franja continua de unos 60 cm en la parte inferior se atribuye principalmente a que en invierno queda enterrada por la nieve. Aun así, las mayores pérdidas de calor se generan las ventanas, ya que todas son de marco de aluminio de altas transmitancias.

En cuanto a las infiltraciones de aire, son significativas en las uniones de la pared con el suelo (donde se observa el aire que entra circulando por el suelo) y en la unión de las paredes en esquina. Por otro lado, la pared que se encuentra orientada a la bahía muestra filtraciones de aire a través del propio panel (figura 2), lo que denota que el panel utilizado no es suficientemente estanco y posee una porosidad elevada para el ambiente agresivo en el que trabaja. Aunque las principales infiltraciones de aire se producen siempre en la unión de los cristales con los marcos de las ventanas, por la degradación del sellado del espaciador, mucho mayor incluso que en la unión del marco con el cerramiento opaco. Además, como consecuencia de esta degradación, entra humedad en el interior de la cámara de aire alterando su interior y el tratamiento de los vidrios.

4.3 Medidas de mejora propuestas

Los principales problemas detectados podrían solventarse con las siguientes medidas:

- Aumento del aislamiento de los edificios y de su inercia térmica
- Mejora del sellado de las uniones para disminuir las altas infiltraciones de aire y utilización de cerramientos menos porosos.
- Modificar el sistema de climatización por un sistema que incorpore una ventilación mecánica controlada con recuperación de calor entálpica.
- Sistema de climatización complementario mediante una batería de agua caliente a la salida del recuperador de calor para superar los grados aproximadamente 3°C que faltarían para impulsarlo a temperatura de confort, complementado con un suelo radiante de agua a baja temperatura, que evitara los gradientes térmicos.
- Un sistema de control de temperatura que tuviera histéresis haría que estos ciclos de conexiones/desconexiones no se produjeran
- Para evitar además duplicidades en el sistema de alimentación de las calderas (electricidad proveniente de los generadores y gasoil desde los depósitos con problemas de derrame del mismo), se aconseja producir calefacción y ACS con un solo sistema integrado de aerotermia.
- Utilización de materiales, no solo que no se degraden frente a la humedad, sino también frente a la corrosión marina y al piroclasto que arrastra el viento a grandes velocidades.
- Se aconseja utilizar ventanas de altas prestaciones aislantes con espaciadores desecantes y tratamientos anticorrosivos.

Agradecimientos

Al Ejército de Tierra y, sobre todo, a los componentes de la 32ª Campaña Antártica por su ayuda y colaboración desinteresada. Gracias especiales a los componentes del Equipo de Instalaciones por su trabajo y su apoyo en el proyecto.

A la Comisión Europea, financiadora del Proyecto LIFE 19CCM/ES/001327.

Referencias

- [1] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID-2010. DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL. Subdirección General de Tecnología y Centros. Ministerio de Defensa. 2010.
- [2] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID-2015. DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL. Subdirección General de Tecnología y Centros. Ministerio de Defensa. 2015
- [3] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Ejército de Tierra. Orientaciones: empleo de los ingenieros. OR3-401.
- [4] ROGERS, Simon; EVANS, Lisa; 10 years in Afghanistan. The Guardian. 2011.
- [5] Prado, T. P. Seager, A. R. Mechtenberg, and E. Bennett, "A systemic thermodynamic analysis of fuel consumption at forward operating bases," 2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST 2011, 2011.
- [6] DGAM, "vademécum general de armamento y material del Ejército de Tierra."
- [7] J. Mur, M García, I. Cristóbal, B. Rodríguez, C. Cajal, "Generación energética modular e integrada en bases y campamentos".II Congreso DESEID, 2014. España.ISBN:978-84-940583-
- [8] NATO; 'Smart Energy' camp opens eyes to promising energy-saving solutions.19 de enero de 2015.
- [9] INTA. El ITM en SICUR: Greenmar, nº18. Abril de 2014. S. de O. y P. T. SOPT, Monografías del SOPT: Sistemas de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales. Ministerio de Defensa, 2011.2-5.
- [10] B: Rodríguez Soria, C. Navarro Gutiérrez. Monografías del SOPT 18. Desarrollo de nuevos contenedores Passivhaus en bases de las fuerzas armadas españolas. Jornada tecnológica: soluciones tecnológicas para la eficiencia y seguridad energética en misiones internacionales. SOPT PLATIN. Ministerio de Defensa.
- [11] ORTS PALÉS, José Luis; General de Brigada; Discurso en SICUR. 2014.