

ZEROENERGYMOD: Zero energy habitable mobile modules in Europe

AUTOR/ES: RODRÍGUEZ SORIA, Beatriz; NAVARRO GUTIERREZ, Carlos; GARCÍA GARCÍA, Miguel Ángel

RESUMEN

Detectada la necesidad de disminuir la dependencia de combustibles fósiles así como las emisiones de CO₂ en las Bases y Acuartelamientos militares de las Fuerzas Armadas Europeas (BAEs), se solicitó un proyecto europeo dentro la convocatoria LIFE, el cual fue concedido en junio de 2020. La finalidad es construir un prototipo de módulos habitables, desmontables y modulares para la construcción de bases de las fuerzas armadas europeas, alimentados sólo con energías limpias mediante el almacenamiento de hidrógeno. Para ello, los módulos se han construido bajo el estándar Passivhaus, encontrándose ahora en proceso de construcción y certificación.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Analizando las misiones asignadas al Ejército de Tierra de España, tanto en el extranjero como en grandes maniobras en territorio nacional, precisan de BAEs construidas principalmente con contenedores de 20 pies (J.L. Palés, 2014). En la actualidad la generación de energía para estas BAEs, depende casi exclusivamente del uso de grupos electrógenos diésel dada la inexistencia o escasa fiabilidad de las redes eléctricas locales (SOPT, 2011). Para su abastecimiento con gasoil precisan de una enorme cadena logística, dificultada a menudo por la continua acción de combatientes y por la precaria infraestructura de transporte de los países donde se despliegan las tropas (SOPT, 2018). La reducción de la logística de estos convoyes, evitaría pérdidas tanto humanas como materiales. En concreto en Afganistán se observó una correlación directa entre el combustible consumido en las BAEs y el número de bajas debido a los ataques a las cadenas de suministro (V. Prado et. Al, 2011, pág. 1-6).

En 2012, las operaciones de mantenimiento de la paz de la ONU representaban el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero de todas sus actividades. El problema del consumo de combustible y de la seguridad del suministro ha afectado particularmente a la misión "International Security Assistance Force" (ISAF) en Afganistán, la más grande llevada a cabo por la OTAN en toda su historia, donde se consumieron más de 6,8 millones de litros de combustible al día, el 99% de los cuales fueron transportados en camión desde el extranjero a través de un enlace ferroviario de más de 5.000 km (C. Samarras et. Al, 2019). En el marco de esta misión se estima que en la BAE española Ruy González de Clavijo se necesitaban una media de 30.000 litros diarios de combustible y eran necesarios 52 grupos electrógenos para abastecer los 730 contenedores de 20 pies que había instalados. Por otra parte, se estimó que estos consumos se repartían en un 20% en iluminación y en un 80% en calefacción y aire acondicionado (J.L. Palés, 2014). Cada uno de estos contenedores representa un consumo anual de combustible de 15.000 litros, cuya principal fuente de gasto es la climatización, con un total de 12.000 litros/año por contenedor. Estos datos dan como resultado un consumo de 10,95 millones de litros de combustible al año únicamente para el funcionamiento de los contenedores. En estudios realizados por los autores del artículo a través de una estancia de investigación en la Base Miguel de Cervantes en el Líbano, se comprobó que el consumo de combustible de los contenedores de vida ofrecía resultados similares (SOPT, 2018).

Detectada esta problemática en 2011 el Comité Militar de la OTAN aprobó el documento MC-469: "Principios y política militar OTAN para la Protección Ambiental", que establece las políticas y responsabilidades en el terreno de la protección medioambiental de los mandos

OTAN y mandos nacionales que cooperen en las actividades militares de la Alianza (NATO, 2011). A partir de la Cumbre de la OTAN de Chicago de 2012, en la que los aliados acordaron mejorar la eficiencia energética de las fuerzas militares (M. M. Hidalgo, 2012), la política medioambiental y de eficiencia energética coge fuerza y desde entonces, tanto en la Cumbre de Gales de 2014 [NATO, 2014], como en la Cumbre de Varsovia de 2016 (NATO, 2016), se dan pasos en esa dirección. En la Cumbre de Bruselas de 2018, se afirma que la seguridad energética juega un papel importante en la seguridad común de la OTAN, dando como resultado el desarrollo de varios procedimientos comunes a los ejércitos de los países aliados (NATO Standardization Agreement –STANAG) relacionados con la protección medioambiental y la eficiencia energética. (Allied Joint Environmental Protection Publication - AJEPP). Los documentos relacionados con la eficiencia energética son el STANAG 2582: Environmental protection best practices and standards for military camps in NATO operations (AJEPP-2) [40] y el STANAG 7141: Joint NATO doctrine for environmental protection during NATO-led military activities (AJEPP-4). Ambos tienen como finalidad aportar medidas de eficiencia energética y medidas medioambientales concretas que deben considerarse en la construcción de las BAEs de la OTAN, así como establecer protocolos de seguimiento de los planes medioambientales.

En la actualidad, existen varios proyectos de investigación en marcha para disminuir el consumo energético en bases ubicadas en zona de operaciones. Sin embargo, la mayoría de estos estudios no están enfocados hacia la disminución de la demanda de energía en las infraestructuras, sino hacia la mejora de las fuentes de generación de energía (SOPT, 2018), (NATO, 2013), (Dirección general de armamento y material, 2020).

Con el proyecto de investigación que se presenta en el artículo, se ha comprobado que una construcción modular a base de contenedores de 20 pies, que cumpla con los requerimientos OTAN y con los condicionantes de seguridad y transporte disponible en la Fuerzas Armadas, si se realiza bajo el estándar Passivhaus, será capaz de disminuir en un 90% la demanda de energía de las actuales BAEs (en torno a 10,95 millones de litros de combustible al año), pudiendo así hacer posible su abastecimiento a través de energías renovables.

1.2. PROYECTO

En base a los antecedentes presentados en el artículo se solicitó a la Comisión Europea un proyecto de investigación dentro de la convocatoria LIFE 2019: LIFE Climate Change Mitigation projects, para dar solución a la problemática de la alta dependencia de combustibles fósiles de las BAEs así como su altas emisiones de CO₂. El proyecto fue concedido con referencia LIFE 19 CCM/ES/001327, bajo el acrónimo ZEROENERGYMOD. Con este proyecto se están construyendo módulos habitables, desmontables y modulares en base a contenedores de 20 pies, para la construcción de bases de las Fuerzas Armadas europeas, alimentados con energías limpias mediante el almacenamiento de hidrógeno.

El prototipo consta de dos módulos que se encuentran unificados dentro una misma envolvente energética. Uno de ellos es el módulo PASSIVMOD: módulo habitable construido bajo el estándar Passivhaus y el otro es el módulo ENERMOD, que abastece al PASSIVMOD con energías limpias (fotovoltaica y minieólica) de forma estacional mediante producción y almacenamiento de hidrógeno.

El proyecto se está desarrollando a través de un consorcio de empresas formado por el Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza y la empresa BHaus Arquitectura Eficiente, encargadas de los estudios de las necesidades de los módulos, y del diseño y cálculo del prototipo PASSIVMOD, en las cuales recae la propiedad industrial internacional del mismo; la empresa ARPA Construcciones Modulares encargada de su construcción y que posee derechos de explotación y la Fundación de Hidrógeno de Aragón encargada del cálculo y dimensionamiento de los elementos del ENERMOD.

El prototipo va a ser desplegado y monitorizado en climas extremos para comprobar su correcto funcionamiento a lo largo de tres años: primero en la Base San Jorge adyacente al campo de maniobras de San Gregorio (Zaragoza), clima desértico, después en la Base de Riga en Letonia en clima frío y por último quedará ubicado de forma definitiva en la Base Gabriel de Castilla en la Antártida, clima polar. Si bien de momento se está certificando el prototipo en Zaragoza con uso oficina, se ha calculado para su autosuficiencia energética tanto en Riga como en la Antártida (con uso dormitorio). Ello ha conllevado tomar medidas mucho más exigentes en cuanto a aislamiento e instalaciones, así como el uso de materiales resistentes a las condiciones climatológicas del volcán antártico (Isla Decepción) donde se va a ubicar. Dicha ubicación también ha condicionado el dimensionamiento de las piezas desmontables para poder ser trasladadas a la isla y montadas con el material disponible en la misma.

1.3. INVESTIGACIÓN

Como se ha comentado, previo a la realización de este proyecto, se han desarrollado dos proyectos de investigación más que han permitido establecer las condiciones de contorno y diseño que debían cumplir los prototipos para poder ser transportados y utilizados en entornos con condiciones de seguridad y funcionalidad tan peculiares como las BAEs en despliegues en zonas de conflicto. En dichos proyectos, con cuyas estancias de investigación se caracterizaron energéticamente dos BAEs, se detectaron los problemas existentes de funcionalidad, seguridad y eficiencia energética de contenedores con diferentes usos, y se realizaron entrevistas a personal de mantenimiento y oficiales. Fueron desarrollados también en climas extremos para disponer de todos los condicionantes. Un proyecto se realizó en la Base Miguel de Cervantes del Líbano, en la frontera con Israel y el otro en la Base científica Gabriel de Castilla en la Isla Decepción, en la Antártida. Se monitorizaron condiciones climatológicas exteriores, condiciones de confort interiores y consumos de energía, y se realizaron pruebas de blower door, termografías y mediciones de transmitancia.

Para el diseño final del prototipo se hizo un listado que recopilaba las consideraciones de todos los requerimientos detectados en estos estudios, además de las indicaciones de la normativa militar y civil en el entorno europeo y NATO que rige las condiciones de construcción y eficiencia energética. Por último, se incluyeron para dar solución al problema de abastecimiento energético los condicionantes de diseño para certificar el prototipo como edificación Passivhaus. Los condicionantes resultantes se dividieron en tres categorías: instalaciones y almacenamiento de energía, materiales y medidas pasivas para el diseño constructivo y demanda de energía, confort y calidad de aire.

En la imagen 1 se muestra el resumen del proceso:

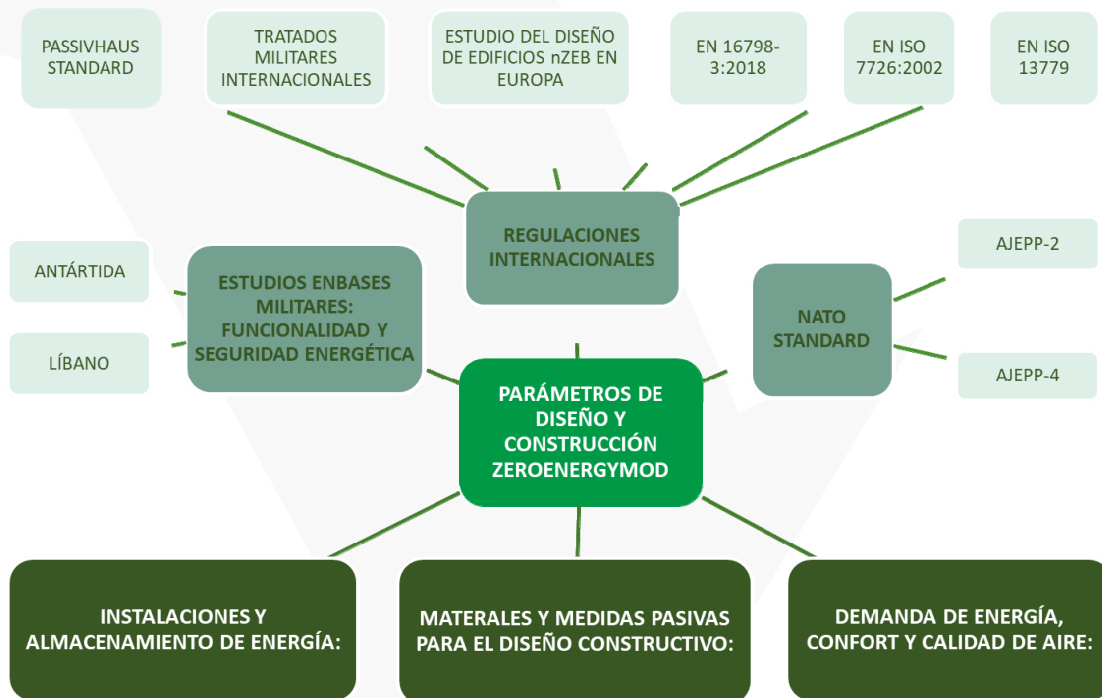


Imagen 1: Proceso de estudio de los parámetros de diseño del ZEROENERGYMOD

Como resultado, se obtuvieron los siguientes parámetros de diseño para la ubicación del prototipo en las tres ubicaciones (clima desértico -San Gregorio, Zaragoza-, clima frío -Riga, Letonia- y polar -Isla Decepción, Antártida-):

INSTALACIONES Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA:

- Ventilación mecánica con recuperador de energía entálpico de alta eficiencia. En torno al 80% y bajo consumo específico de ventiladores
- Control centralizado del sistema de ventilación y climatización
- Eficiencia y control de la iluminación. Maximizar el uso de led y la luz natural

- Sistemas de abastecimiento energético descentralizado
- Disminuir encendidos y apagados de sistema de climatización. Preferible sistema con funcionamiento permanente en Antártida
- Instalaciones aisladas térmicamente
- Suministro conjunto ACS - aire acondicionado, con aerotermia de alto rendimiento
- Uso de energía fotovoltaica
- Instalar capacidades de almacenamiento de energía para las fuentes renovables
- Sistema de monitorización de energía para configuración óptima de funcionamiento
- Prevención de contaminación conservando recursos, reduciendo el uso de materiales peligrosos y minimizando la liberación de contaminantes
- Alta eficiencia energética con técnicas disponibles y eficaz gestión de la energía
- Puntos acceso a internet
- Termómetro e higrómetro visible en lugar representativo

MATERIALES Y MEDIDAS PASIVAS:

- Alto aislamiento térmico (U aproximado de $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) y riguroso control de puentes térmicos que disminuyan demanda de energía y eviten la huella térmica
- Infiltraciones $n50 < 0,6 \text{ h}^{-1}$. Uniones estancas para evitar infiltraciones de aire, humedad que produce corrosión y entrada de polvo que estropea equipos
- Inercia térmica para mantener temperatura en caso de fallo temporal de energía
- Paneles de cerramientos con poca dilatación térmica y materiales no porosos, resistentes a la corrosión por salinidad y humedad y a la abrasión por piroclasto
- No utilizar madera que necesite tratamientos superficiales ni pinturas que se desprendan. Aconsejable acabado exterior de acero galvanizado o polímeros.
- Aislamientos que no se degraden frente a la humedad producida por infiltraciones
- No usar colas o siliconas para sellados
- Ventanas no correderas, con carpinterías y vidrios de gran calidad y espaciadores desecantes
- Cámara técnica en pared, suelo o techo
- Utilizar dobles puertas en climas fríos
- Sellado acústico entre contenedores adyacentes
- Modulable para carga máxima en traslado por tierra: 14530kg
- Medidas máximas de cada módulo: $8588 * 2500 * 3065\text{mm}$ para transporte por tierra
- Desmontable en piezas de peso máximo 2 T.
- Contenedores de largo: 6-6.5m, ancho 2.435-6m, alto 2.6-2.79m
- Carga mínima nieve y viento: 100kg/m^2

DEMANDA DE ENERGÍA, CONFORT Y CALIDA DE AIRE:

- Demanda de energía para calefacción $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{año}$
- Demanda de energía para refrigeración $< 15\text{kWh/m}^2\text{año}$
- Consumo de energía primaria total $< 120 \text{ kWh/m}^2\text{año}$
- Consumo de energía primaria renovable: $60 \text{ kWh/m}^2\text{año}$ para el conjunto de climatización, ACS, iluminación y electricidad general y auxiliar. En nuestro caso, el 100% de la energía será renovable.
- Diferencia de temperaturas superficiales interiores y temperatura del aire $< 4,2 \text{ K}$
- Gradiente de temperatura en zona de confort $< 2 \text{ K}$
- Temperatura operativa: entre 20°C y 24°C . (Passivhaus y AJEPP-2)
- Humedad relativa entre 40% y 70% (AJEPP-2)
- $\text{CO}_2 < 1000\text{ppm}$
- Comprobar que no hay ninguna zona especialmente expuesta al exterior. Sino en Antártida realizar cálculo específico de carga de calefacción en esa zona

- Patrón de uso establecido para BAEs

2. RESULTADOS

Como resultado de aplicar las condiciones de diseño se ha desarrollado un diseño construido a partir de contenedores de 20 con estructura de chasis rígido apilable, modificado respecto a los disponibles actualmente para evitar los puentes térmicos. Se ha seleccionado el modelo HIGH CUBE para disponer falso techo. Posee un aislamiento de base en los paneles desmontables del chasis de 10cm de lana de alta densidad, y doble machiembrado. Por el interior se ha instalado otra capa de los mismos paneles y por el exterior se colocarán unas pieles de 30cm de espesor de lana de alta densidad con acabado exterior en acero inoxidable. En la imagen 2 se muestra el diseño final del prototipo, que incluye un vestíbulo previo una sobrecubierta. En el modelo se está instalando un equipo compacto que incluye sistema de ventilación mecánica controlada con recuperación entálpica, y alimenta mediante aerotermia tanto el sistema de climatización con batería de agua como el ACS.

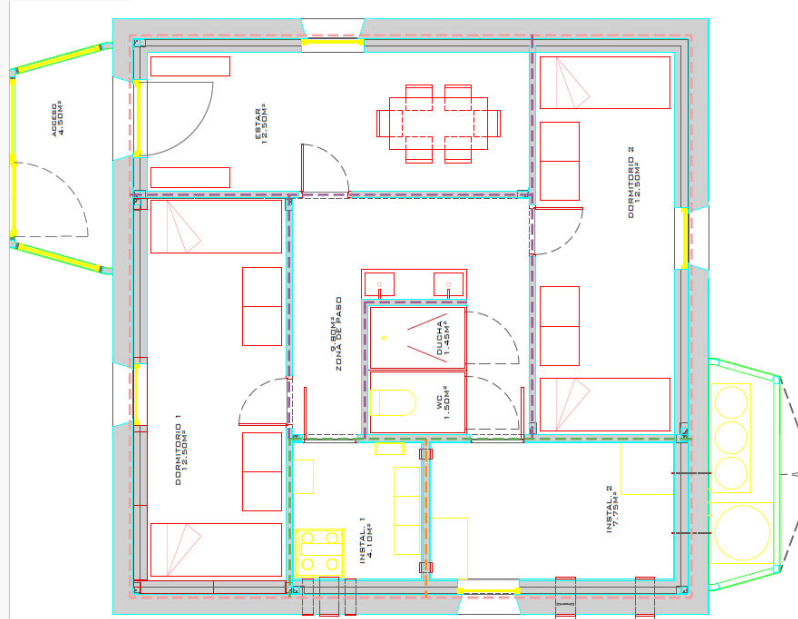


Imagen 2: Diseño final del prototipo ZEROENERGYMOD

En la imagen 3 puede verse el proceso de montaje en el que se encuentra en la actualidad para ser testado antes de desmontarlo y ubicarlo en septiembre en la primera demosite en Zaragoza. En el prototipo se va a realizar una monitorización, tanto de consumos, como de condiciones de confort y estado de los cerramientos.



Imagen 3: Estado actual de montaje del prototipo ZEROENERGYMOD

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha justificado la necesidad de disponer de infraestructuras energéticamente autosuficientes para la construcción de BAEs en el despliegue de misiones internacionales de la NATO. Para cubrir esta necesidad, el consorcio de empresas CUDZ, BHaus, ARPA y la Fundación de Hidrógeno solicitaron un proyecto europeo LIFE con el que se está construyendo un prototipo de módulos habitables, desmontables y modulares para la construcción de BAEs de las fuerzas armadas europeas, alimentados sólo con energías limpias mediante el almacenamiento de hidrógeno. Dicho módulo se realiza en base a contenedores desmontables de 20 pies, que cumplen con todos los condicionantes para ser transportados y utilizados en entornos con condiciones de seguridad y funcionalidad tan peculiares como las BAEs en despliegues en zonas de conflicto. Para el diseño final del prototipo se hizo un listado que recopilaba todas las consideraciones de seguridad y funcionalidad necesarias, además de todos los requerimientos de la normativa militar y civil en el entorno europeo y NATO que rige las condiciones de construcción y eficiencia energética en BAEs. En base al análisis realizado y a partir de los resultados obtenidos de la caracterización energética de Bases en el Líbano y la Antártida, se extraen las condiciones de diseño que debe cumplir el prototipo ZEROENERGYMOD, construido bajo el estándar Passivhaus. En la actualidad se encuentra en proceso de pre-montaje y certificación. Su funcionamiento será monitorizado y testado en la Base San Jorge adyacente al campo de maniobras de San Gregorio (Zaragoza), clima desértico, después en la Base de Riga en Letonia como clima frío y por último quedará ubicado de forma definitiva en la Base Gabriel de Castilla en la Antártida, clima polar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- J. L. Palés, 2014, Transcripción Discurso en SICUR. Intranet AGM.
- Dirección General de Armamento y Material. Subdirección General de Tecnología e Innovación. Ministerio de Defensa, 2011, Monografías del SOPT. “Sistemas de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales”. Ministerio de Defensa
- Dirección General de Armamento y Material., Subdirección General de Tecnología e Innovación. “Monografías del SOPT. Jornada tecnológica: Soluciones tecnológicas para la eficiencia y seguridad energética en misiones internacionales,” 2018, Ministerio de Defensa.
- V. Prado, T. P. Seager, A. R. Mechtenberg, and E. Bennett, “A systemic thermodynamic analysis of fuel consumption at forward operating bases,” in Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, 2011, pp. 1–6.
- C. Samaras, W. J. Nuttall, and M. Bazilian, “Energy and the military: Convergence of security, economic, and environmental decision-making,” Energy Strateg. Rev., vol. 26, no. August, p. 100409, Nov. 2019.
- NATO Military Committee, “Principles and Policies for Environmental Protection: MC 469/1.” 2011.
- M. M. Hidalgo García, “La cumbre de Chicago de la OTAN: las armas de destrucción masiva y la seguridad energética,” Doc. Inf. ieee (Instituto español estudios estratégicos), no. 32, pp. 1–4, 2012.
- NATO, “Wales Summit Declaration,” NATO Summit Wales, 2014. [Online]. Available: http://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_112964.htm. [Accessed: 29-Sep-2020].
- NATO, “Warsaw Summit Communiqué,” 2016. [Online]. Available: http://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_133169.htm. [Accessed: 29-Sep-2020].
- NATO, “‘Smart Energy’ camp opens eyes to promising energy-saving solutions,” 2013. [Online]. Available: https://www.nato.int/cps/en/natolive/news_101896.htm?selectedLocale=en. [Accessed: 29-Sep-2020].
- Dirección General de Armamento y Material. Ministerio de Defensa, “Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID - 2020.”,