

DISEÑO DE UN MÓDULO HABITACIONAL DE EMERGENCIA ABASTECIDO CON ENERGÍA SOLAR PARA LA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA

Miriam Cecilia López (mclopez@frm.utn.edu.ar); Germán Rodolfo Henderson (hendger.071@gmail.com); Silvia Curadelli (silvia.curadelli@gmail.com); Roxana Piastrellini (roxana.ppt@gmail.com); Alejandro Pablo Arena (aparena@gmail.com); Tamara Antoniucci (tamantoniucci@gmail.com)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (UTN - FRM) - Arg.

Palabras clave: vivienda de emergencia, energía fotovoltaica, construcción sustentable

Ante situaciones de emergencia, la evacuación y albergue es una de las medidas más importantes en términos de supervivencia. Contar con refugios concebidos para estos fines, que responda a los requerimientos de habitabilidad del grupo familiar a albergar, permite aminorar la vulnerabilidad que los afecta.

Teniendo en cuenta que la construcción sustentable ha crecido con fuerza en el terreno del diseño arquitectónico, propiciando que los recursos sean mejor aprovechados con una intervención de bajo impacto en el ambiente y al mismo tiempo cumpliendo con su dimensión social, resulta imperante incorporar estos aspectos en el diseño de refugios de emergencia. De esta forma, los refugios diseñados bajo este enfoque resultan de fácil construcción y transporte, y eficientes en cuanto al uso de energía y recursos materiales, conforme con las condiciones particulares del entorno, no sólo durante su funcionamiento y vida útil, sino también en la etapa de construcción.

En este contexto, lo que propone el presente estudio es desarrollar un módulo habitacional de emergencia donde su construcción se base en materiales desarrollados localmente y de tecnología simple, que se adapte a las condiciones del entorno y, fundamentalmente, que sea autosuficiente en cuanto a los servicios energéticos que se requieran.

Para ello, se desarrolló un prototipo preliminar abastecido energéticamente mediante un sistema fotovoltaico aislado, para tres regiones geográficas de Mendoza, teniendo en cuenta que la provincia constituye uno de los grupos poblacionales con mayor riesgo sísmico en Argentina. Asimismo, se identificaron estrategias pasivas de diseño, incorporadas en el proyecto arquitectónico y en la composición de elementos constructivos que contribuyan de manera efectiva a la eficiencia energética de la vivienda.

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Mendoza, y en particular lo que se conoce como Gran Mendoza, constituye el grupo poblacional, junto con la Provincia de San Juan, con mayor riesgo sísmico de Argentina. Estas consideraciones se basan en una conjunción de factores que contribuyen con este riesgo tales como, los antecedentes de terremotos destructivos, la configuración de las construcciones sismorresistentes y las características de la geología que conforman el territorio.

En la historia de Mendoza, los primeros registros disponibles mencionan que el 22 de mayo de 1782 se produjo un fuerte sismo, con grandes daños en la Ciudad de Mendoza, que lo muestran como el de mayor intensidad hasta esa fecha. Este terremoto dejó en estado ruinoso algunos edificios importantes como la Iglesia y el Colegio de la Inmaculada Concepción y la Iglesia y el Colegio de los Franciscanos.

Posteriormente a esta fecha, se puede mencionar el terremoto del 20 de marzo de 1861 (magnitud 7.0 en escala sismológica de Richter y una intensidad de IX en escala sismológica de Mercalli), que se considera como uno de los máximos históricos. En esta ocasión, y de acuerdo con la información periodística de ese momento, las víctimas producidas por el terremoto fueron cercanas a las 5.000 sobre una población de aproximadamente 8.000 habitantes, tomando el Censo del año 1857.

Otro terremoto de gran relevancia ocurrió en el Gran Mendoza el 26 de 1985 (con magnitud 6.3 escala de Richter e intensidad máxima de VII escala de Mercalli) que, aunque de moderada magnitud, produjo daños considerables, principalmente en viviendas de adobe y de mampostería antigua. Los damnificados de estas catástrofes, se refugiaron transitoriamente en plazas, estaciones de servicios, parques y hasta en las linderas de zanjones. Gran parte de los que perdieron sus viviendas fueron ubicados en numerosos albergues comunitarios de la provincia.

Situaciones como estas, ponen de manifiesto el alto nivel de actividad sísmica a que se exponen continuamente los mendocinos y marca la necesidad de incorporar este riesgo en la planificación de los planes de emergencia y en el desarrollo socio-económico de la población afectada luego de un terremoto.

Muchos son los avances que se han desarrollado a nivel mundial en "viviendas de emergencia", siendo uno de los pioneros Ian Davis (1980), en plantear cómo debían pensarse estas construcciones, en función de las necesidades locales y de las personas a quienes se orientan.

A nivel regional son también variadas las experiencias que han estudiado sobre el tema. En Chile, desde el terremoto de Chillán en 1939, la solución de vivienda de emergencia es la comúnmente llamada "mediagua" (Lawner, 2010), la cual constituye una construcción de madera que ocupa un área de 6 x 3 m que, a pesar de ser concebida y materializada como una solución transitoria, suele ser habitada durante una extensión de tiempo que tiende a lo definitivo. Es decir, aquello que desde su diseño parece ser una solución transitoria, tiene en la realidad una condición de permanente.

Argentina no escapa a esta situación. Un ejemplo de ello es la construcción de viviendas de emergencia que debieron realizarse por las reiteradas e incontroladas crecidas de los ríos en el Litoral del país, reemplazando a los módulos habitacionales que se utilizaban anteriormente, para reubicar a las familias afectadas. Estas viviendas construidas con estructuras prefabricadas albergan en forma casi permanente a los evacuados, replicando los prototipos diseñados por la organización "Un Techo para Argentina".

Otro antecedente a mencionar, es la utilización de containers, los cuales no hace mucho tiempo comenzaron a ocuparse para este fin en distintas partes del mundo. Estos depósitos son adaptados (intervenidos) como espacios acondicionados para crear un hábitat adecuado, con sectores funcionales capaces de poder dar un lugar acogedor y saludable para las personas en situación de emergencia, procurando su bienestar y seguridad.

En Mendoza, fue desarrollado un proyecto por el CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, pensado como refugio después de ocurrido un sismo destructivo, para resguardo de las personas afectadas. Además de la solución inmediata al problema habitacional ante la emergencia sísmica, lo que pretendía este tipo de vivienda es que pudiera ser utilizada en condiciones normales. El prototipo denominado Módulo de Emergencia Sísmica –MES, consistía en una vivienda del tipo industrializada con estructura de acero y cerramientos de paneles termoacústicos, conteniendo un sistema de ensamble tipo mecano (Pizarro et al. 2004).

De lo anteriormente expuesto, se observa que existe un amplio desarrollo y variedad de experiencias sobre viviendas de emergencias. Sin embargo, lo que propone el presente estudio es desarrollar un prototipo donde su construcción se base en materiales desarrollados localmente y de tecnología simple, que se adapte a las condiciones del entorno y, fundamentalmente, que estos módulos sean autosustentables en cuanto a los servicios energéticos que se requieran. Para ello se tuvo en cuenta la experiencia adquirida en el equipo de investigación en cuanto al abordaje regional de aspectos energéticos en edificios (Arena 2006; Arena “et al” 2004; 2015).

Desde esta perspectiva, este estudio presenta un análisis preliminar del sistema de energías renovables más conveniente para el proyecto, sobre un análisis de los materiales que componen la envolvente de la vivienda, para estimar un consumo energético del módulo habitacional. Asimismo, se identifican y estudian los parámetros de los elementos constructivos, que pueden reducir la demanda de energía y optimizar el confort higrotérmico mediante el acondicionamiento natural del edificio durante todo el año. En cuanto estudios previos que abordan estrictamente lo aspectos energéticos en edificios podemos mencionar como estudios regionales los de Arena A. P., M. Basso , Fernández Llano J. (2001), Arena, A. P. (2006).

2. METODOLOGÍA Y FUNDAMENTO TEÓRICO

En general los refugios de emergencia que se utilizan ante catástrofes naturales no responden a viviendas ambiental ni funcionalmente eficientes, como tampoco consideran el desarrollo sostenible como variable de diseño (PNUMA 2007). Sólo resuelven la situación inmediata sin la asimilación posterior a la emergencia. Si bien cada país establece distintas normativas de aplicación para este tipo de albergues, en este proyecto se toma como referencia lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para una vivienda digna (ONU 1991), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en lo referente a estándares mínimos para viviendas de interés social y la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Secretaría de Obras Públicas de la Nación en lo concerniente a la regulación sobre las condiciones básicas para viviendas en caso de suceder una catástrofe.

Para el estudio del abastecimiento de energía eléctrica del módulo habitacional en las diferentes regiones establecidas en la provincia de Mendoza se utilizó la metodología propuesta en (PDACSNL 1995). La misma utiliza las características climáticas de cada región y las características técnicas del equipamiento utilizado para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado de la red. Para las características climáticas se utilizó el software Meteonorm versión 7 de la firma Meteotest, de origen suizo. Las características técnicas del equipamiento fueron obtenidas de las hojas de especificaciones técnicas de los fabricantes, utilizando particularmente el modelo de batería SIND 04 2145 de la firma Trojan y el módulo FV JKM300P-72 de la firma Jinko.

La provincia de Mendoza fue sectorizada en tres regiones geográficas con distintas condiciones meteorológicas y de irradiancia solar: Norte, Centro y Sur. Esta sectorización se realizó considerando los trabajos previos realizados por el Grupo Cliope, con el objeto de seguir una misma línea de trabajo (Piastrellini “et al”. 2018; Rodríguez et al. 2018). Para cada una de las regiones se utilizó los siguientes puntos para realizar el estudio:

- Zona Norte: Observatorio Parque General San Martín, Ciudad, Mendoza. (32.895 latitud Sur; 68.872 longitud Oeste).
- Zona Centro: Eugenio Bustos, San Carlos, Mendoza (33.786 latitud Sur; 69.072 longitud Oeste).
- Zona Sur: Ciudad de San Rafael, Mendoza (34.627 latitud Sur; 68.360 longitud Oeste).

Las cargas consideradas para el estudio se muestran en la Tabla 1, donde se puede observar que se han establecido cargas para la iluminación del módulo habitacional, una radio para tener un sistema de comunicaciones, un teléfono celular y su correspondiente cargador, una heladera para la conserva de alimentos y ciertos medicamentos, y un remanente de energía útil para abastecer una computadora portátil.

Tabla 1. Cargas eléctricas del módulo habitacional de emergencia

Carga	Potencia [W]	Descripción
Iluminación de la cocina	10	Esta es la iluminación considerada para la mesada de la cocina, donde será el lugar donde la preparación de los alimentos y su cocción se llevará a cabo.
Iluminación del comedor	10	Esta iluminación es la utilizada sobre la mesa del comedor.
Iluminación del baño	10	-
Iluminación del dormitorio (x2)	10	-
Radio AM-FM	5	Al igual que el televisor, la radio es muy importante en situaciones de emergencias.
Cargador de celular	18	En la actualidad, contar con telefonía celular es no solo importante para la comunicación, sino también para el entretenimiento y el trabajo.
Heladera	75	Esencial para poder preservar alimentos y medicamentos.
Cargador de computadora portátil	100	Una computadora permite que las personas realicen gestiones personales y laborales, además de permitirles tener conectividad con los medios de comunicación en línea.

No se consideró la utilización de un termotanque, debido a que este será reemplazado por un equipamiento solar térmico, que no ha sido en este momento abordado. Los elementos de cocina, como el horno y los anafes, no se han considerado para el abastecimiento a partir de módulos fotovoltaicos, debido al alto consumo de energía eléctrica. El abastecimiento de estos artefactos será realizado por gas envasado.

Para el estudio sobre los recursos pasivos de diseño se identificaron estrategias incorporadas en el proyecto arquitectónico y en la composición de elementos constructivos, de acuerdo con el punto 3.2.4 Estrategias pasivas para diseño arquitectónico (EPDA) - Norma IRAM 11900 (2017). En la misma se establecen las características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecuan el edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y que permiten mejorar condiciones de confort higrotérmico y reducir la demanda de energías convencionales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción geométrica y constructiva del Módulo habitacional

El diseño sometido a estudio se ha realizado en base a un sistema modular de 25 m², en función de las dimensiones de los paneles que pueden realizarse con las placas que ofrece el mercado (1,220 m por 2,44 m), reduciendo al mínimo el desperdicio de materiales. Las figuras 1 y 2 muestran la distribución geométrica y constructiva de la vivienda, así como las medidas reales de las áreas que conforman la misma.

Esta construcción está conformada por una estructura metálica de perfiles laminados, caños estructurales y perfiles de chapa doblada. El piso del módulo se arma con paneles de madera contrachapada (fenólico) de 18 mm de espesor, atornillados a la estructura de caños inferior. Sobre el contrachapado se coloca un piso de terminación. La estructura de caños se suelda a perfiles W 200x15 longitudinales, y en cada caño transversal se sueldan tornapuntas a los mismos perfiles.

El techo, a dos aguas con el 17% de pendiente está constituido por paneles apoyados y atornillados sobre la estructura de caño de la cubierta. Los paneles de techo son de 5 cm de espesor inyectados con poliuretano de 36 kg/m³ de densidad, con chapa de acero T101 BWG 25 en el exterior y placas de chapadur de 3 mm en el interior.

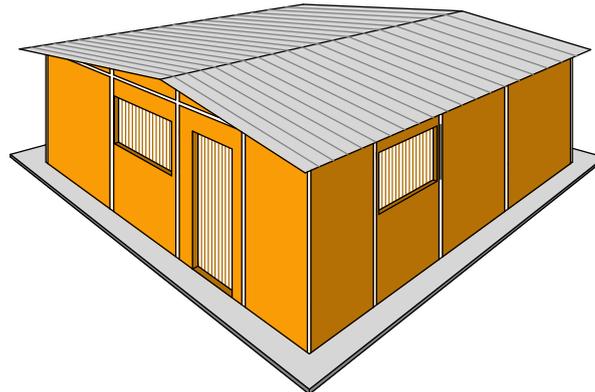


Figura 1. Vista del prototipo del módulo de emergencia

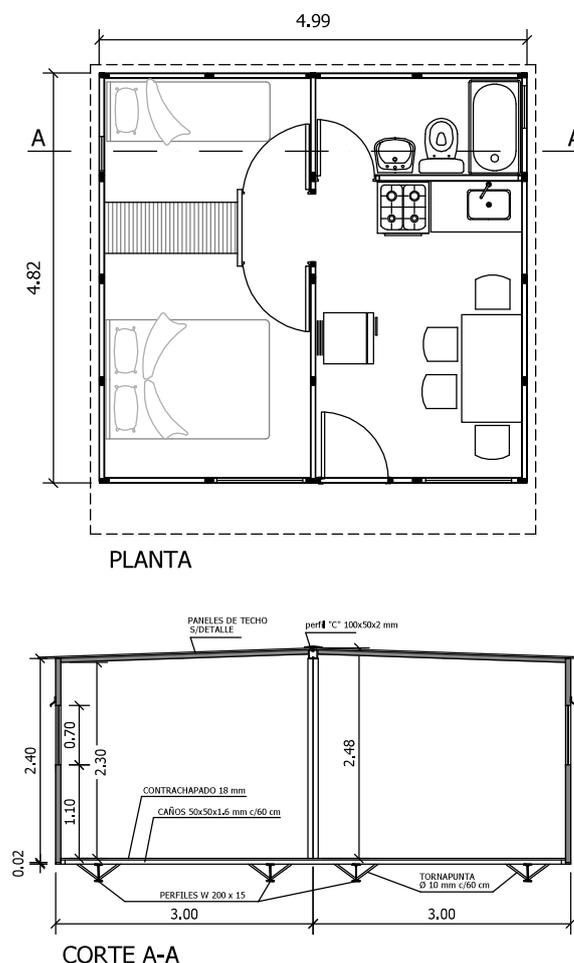


Figura 2. Diagrama en planta y corte de la modulación del sistema

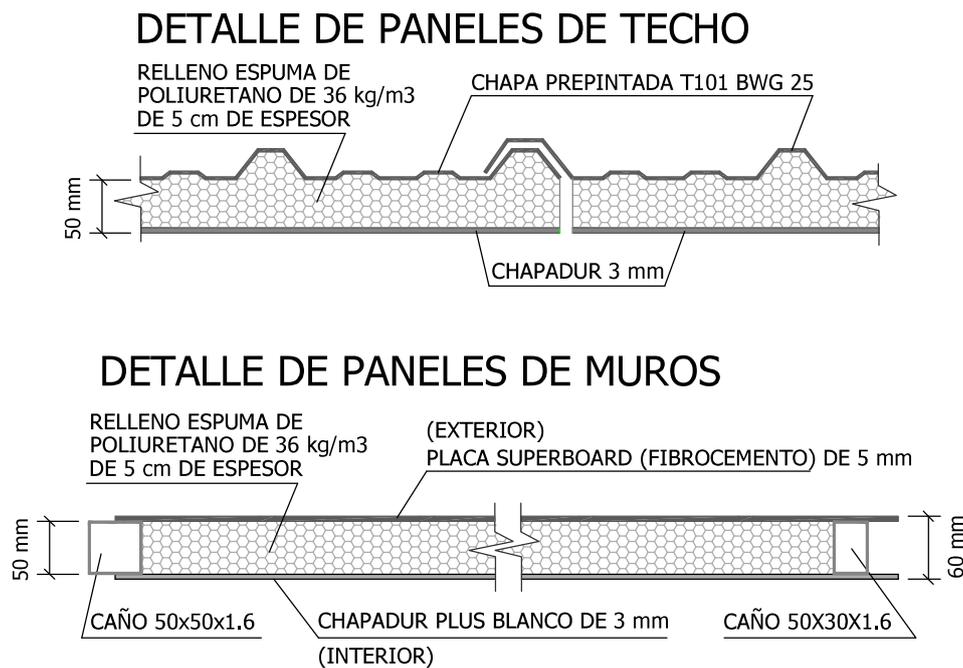


Figura 3. Detalles de paneles de techo y muros

Complementa la cubierta un cielorraso suspendido de placas de melamina de 5 mm sostenida mediante remaches tipo “pop” a caños de 50 x 20 x 1.2 mm, los que se ubican cada 90 cm de separación y se sueldan a los cordones inferiores de las cabriadas.

Los paneles que conforman los cerramientos verticales exteriores están formados por una chapa exterior prepintada Cincalum n° 25 plegada con nervios cuadrados de 15mm de lado cada 15 cm, el interior es de Chapadur Plus blanco de 3,8 mm; entre ambos materiales lleva un relleno de espuma de poliuretano de 36 kg/m³ de densidad, de 50 mm de espesor. Este relleno de poliuretano se coloca mediante la técnica de inyección bajo prensa, asegurando un llenado homogéneo y una total adherencia entre la chapa y el Plus. En todo su perímetro estos paneles llevan un plegado en “U” de chapa galvanizada n° 16, de 55 x 25 mm.

Estos paneles han sido ensayados con cargas de 142 kg/m² no presentando deformaciones permanentes, lo que asegura una adecuada transferencia de cargas de presión (viento, nieve, etc.) a la estructura del módulo.

La configuración de esta vivienda de emergencia se obtiene como resultado de la unión de dos módulos de 3m por 5 m, donde sus componentes mantienen iguales medidas en superficie, alto y ancho de 1,22 por 2,44 m, lo que asegura a los efectos del traslado, poder transportarlo sin problemas, ya que ocupa un espacio apropiado para vehículos de carga normal. Asimismo, permite rapidez de montaje con un mínimo de equipamiento, resultando una solución viable tanto en países de medianos o escasos recursos, ofreciendo durabilidad, flexibilidad de uso y adecuación al crecimiento.

La vivienda es transportada al lugar de emplazamiento donde se ensamblan ambos módulos y se apoyan y fijan a través de pasadores metálicos sobre plataformas de hormigón prefabricadas o sobre contrapiso existente (figura 4).

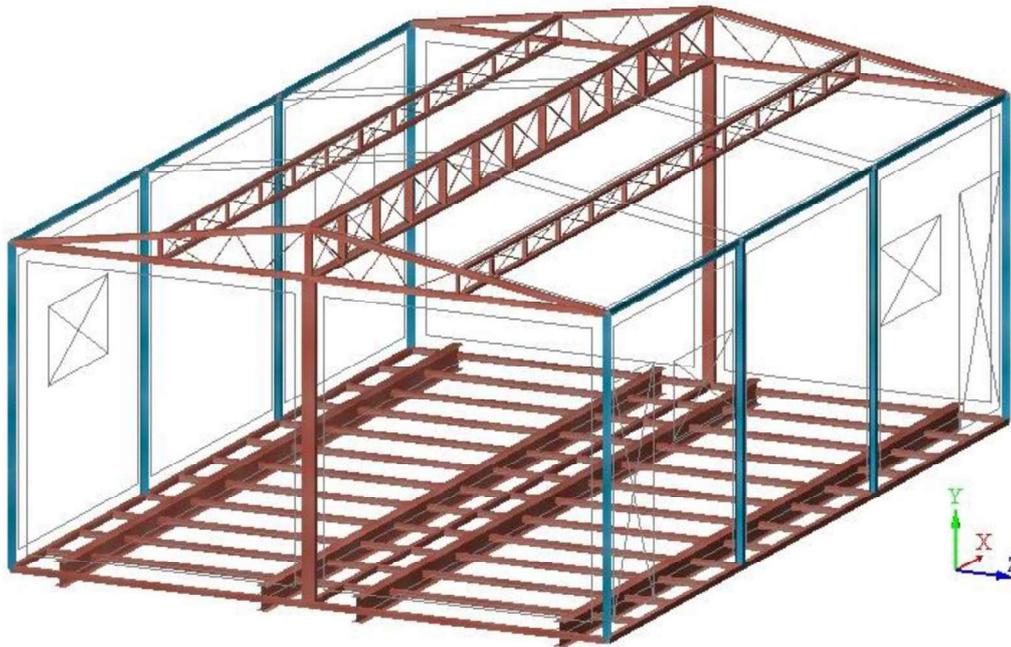


Figura 4. Detalle esquema estructural

3.2. Abastecimiento de electricidad

Se encontró que existen diferencias en las cantidades de módulos a utilizar para cada una de las regiones evaluadas, debido principalmente a la variación en las condiciones climáticas de cada una de estas, resultando entre 3 y 4 módulos de 300 W de potencia eléctrica cada uno.

Para el caso de la región Norte, se necesitarían 900 W nominales fotovoltaicos para el abastecimiento de la energía consumida diariamente, mientras que para las regiones Centro y Sur serían necesarios 1200 W nominales fotovoltaicos, lo que implica un costo mayor de inversión debido a la ubicación seleccionada para colocar los módulos habitacionales.

3.3. Valoración de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico (EPDA)

Para la determinación de la ponderación de los EPDA se siguieron los pasos del método de cálculo previsto en la Norma IRAM 11900 - Capítulo 4 y Norma IRAM 11605 de Acondicionamiento Térmico de Edificios.

Con los datos de los materiales y sistema constructivo del módulo habitacional se analizaron tres posibles escenarios en la provincia de Mendoza (Ciudad, San Rafael y Malargüe), adoptando como Nivel de confort higrotérmico el Nivel A/B.

Los recursos arquitectónicos- constructivos (RAC) evaluados en el diseño fueron la aislación térmica de la envolvente, la inercia térmica de los elementos constructivos interiores y exteriores, la protección y captación solar, la orientación, la forma y el agrupamiento edilicio, la ventilación natural y las características del entorno.

La evaluación del módulo se realizó contrastándolo con el modelo teórico de edificio según Tabla E2 de ponderación de estrategias pasivas de diseño (Anexo E de Norma IRAM 11900), dando como resultado para la Valoración del nivel de aprovechamiento EPDA para los climas Templado frío a y b (Ciudad de Mendoza y San Rafael) 64% y 58,5 % para el caso de Malargüe (clima frío).

4. CONCLUSIONES

Frente a un escenario global muy preocupante sobre problemas medioambientales, como así también sociales, relacionados con la pobreza y la salud, es que en este trabajo se ha buscado aplicar un enfoque de sustentabilidad en el diseño habitacional de un módulo de emergencia para la provincia de Mendoza (Argentina). Para ello, se han considerado los estándares mínimos de habitabilidad y de las necesidades básicas a cumplir de acuerdo con normativas vigentes tanto nacionales como internacionales, así como criterios de eficiencia y autonomía energética.

Se ha logrado un módulo habitacional que se autoabastece de energía eléctrica por medio de una fuente renovable de energía, en donde con un máximo de 1200 W CC nominales se logran alimentar muchas de las principales cargas necesarias ante una catástrofe. El módulo es útil para diversas condiciones de funcionalidad como pueden ser alojar una población civil ante desastres naturales, como también conformar albergues comunitarios por precariedad habitacional en asentamientos irregulares con viviendas autoconstruidas bajo deficientes condiciones de habitabilidad.

Se destaca que este estudio representa el primer paso de un proyecto que pretende hallar un prototipo habitacional sustentable desde los puntos de vista energético, ambiental y económico. Por lo cual, los resultados hallados hasta el momento serán complementados y contrastados con los siguientes estudios:

- Estudio de alternativas sobre el diseño y materiales constructivos que mejoren las condiciones de aprovechamiento de estrategias pasivas en el diseño arquitectónico.
- Análisis de otras alternativas de equipos y artefactos eléctricos de menor potencia que provoquen un salto menor al incrementar en un módulo la instalación. De esta manera, se podría esperar reducir la potencia necesaria para las regiones Centro y Sur e incorporar otros equipos que complementen la funcionalidad del refugio, especialmente en cuanto a la cocción de alimentos.
- Diseño del sistema solar térmico para conocer si se debe aportar parte de energía desde el sistema solar fotovoltaico para la resistencia auxiliar.
- Análisis del sistema de provisión de agua potable y para higiene de los residentes del módulo, como también el sistema de tratamiento de efluentes, contando con situaciones extremas en las que no se pueda acceder a estos sistemas integrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arena, A. P., Basso, M., Fernández, J. (2004). *Análisis de costo de ciclo de vida de estrategias conservativas aplicadas en una vivienda en el centro oeste de la República Argentina. ClaCS04 – I conferencia latinoamericana de construcción sustentable/ENTAC 04 – 10° encuentro nacional de tecnología de I ambiente construido. Centro de Convenciones Reboucas, Sao Paulo, Brasil, 18 al 21 de junio de 2004. ISBN 85-89478-08-4.*
- Arena, A. P. (2006). *Ciclo de vida de tecnologías para el desarrollo urbano energéticamente sustentable del sector edilicio en zonas áridas andinas. Experiencias en Mendoza (Argentina). Trabajo código AEAT 02, XXX Semana Nacional de Energía Solar. Veracruz, Ver., del 2 al 6 de octubre del 2006. México. ISBN 968-5219-08-7.*
- Arena, A. P., Funes, M., Henderson, G. (2015). *Life cycle cost of building-integrated PV overhangs for the main building in a university campus in Mendoza, Argentina. 7th International Conference on Life Cycle Management - LCM2015. Bordeaux (Francia), August 30 – September 02.*
- Davis, I. (1980). *Arquitectura de emergencia. Editorial Gustavo Gilli. Barcelona. España.*
- Lawner M. (2010). *Carta abierta al Presidente Piñera. Artículo. Editorial Universidad de Chile. (OCLC 860361346).*

- PDACSNL-Photovoltaic Design Assistance Center Sandia National Laboratories (1995). *Stand-Alone Photovoltaic Systems: A Handbook of Recommended Design Practices*. Estados Unidos. SAND87-7023.
- PNUMA-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2007). *Diseño para la Sostenibilidad (D4S) de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2007*.
- ONU-Organización de las Naciones Unidas. (1991). *Programa de las Naciones Unidas sobre el Derecho a la Vivienda. Observación general N° 4*.
- Pizarro, N., Michelini, R., Maldonado, N. (2004). *Vivienda de interés social, con aplicación para la emergencia sísmica, utilizando un sistema constructivo innovador proyecto VIS.UTN.FAC.REG.MZA.01, 2004*.
- Piastrellini, R., Rodriguez, P. Arena, A.P., Allende, D. (2018). *Herramienta web de consulta sobre energía solar y de biomasa para la provincia de Mendoza. Anales de trabajos completos. III Congreso de Energías Sustentables en Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina*.
- Rodriguez, P., Piastrellini, R., Arena, A. P. (2018). *Estimación de la producción de biomasa residual apta para la generación de energía en la provincia de Mendoza. Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6, pp. 04.75-04.84, 2018. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-1-2*.
- Norma IRAM 11900 (2017). *Prestaciones energéticas de viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética*.
- Norma IRAM 11605 (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad de edificios*.