

PROYECTO DE VIVIENDAS BIOCLIMÁTICAS DE INTERÉS SOCIAL. TAPALQUÉ, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

**G. San Juan, C. Dícoli, G. Viegas,
C. Ferreyro, L. Rodríguez, L. Dicroce, J. Esparza y V. Barros**

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires
Tel. 0221-4236587/90 int. 250-31. e-mail: gustavosanjuan60@hotmail.com

Recibido: 2-06-14; Aceptado: 16-07-14.

RESUMEN.- El trabajo presenta el desarrollo organizativo, conceptual y técnico de un proyecto piloto que tiene como objetivo principal el diseño y construcción de cuatro viviendas bioclimáticas en el municipio de Tapalqué provincia de Buenos Aires (36° 21' Lat. Sur, 60° 61' Long. Oeste), República Argentina. Se analizan las características del lugar y de su localización; las pautas bioclimáticas; las características generales y particulares de diseño; las tecnologías adoptadas. Se presenta la metodología de dimensionamiento y los resultados de calidad térmica interior y los consumos energéticos. Los resultados teóricos a los que arribó el estudio implicaron: i. Un ahorro anual estimado de energía para calefacción del 56%; ii. Una resolución presupuestaria según el monto corriente estipulado en estos planes de vivienda; iii. Mejoras en las condiciones de confort (invierno/verano), contrastando con una vivienda tradicional equivalente de producción estatal; iv. Mejoras en las condiciones de habitabilidad, reduciendo las infiltraciones de aire; evitando condensación superficial e intersticial; estabilizando la onda térmica a partir de la incorporación de aislación térmica exterior y muros acumuladores (MAC); aprovechando al máximo la radiación solar incidente en invierno y la protección solar en verano.

Palabras claves: Diseño bioclimático. Vivienda social. Energía solar. Tecnología. Transferencia.

BIOCLIMATIC HOUSING OF SOCIAL INTEREST PROJECT. TAPALQUÉ, BUENOS AIRES PROVINCE. ARGENTINA

ABSTRACT.- The work exposes in a conceptual and technique way the development of a project of four bioclimatic houses in the municipality of Tapalqué, Buenos Aires (36° 21' South Lat., 60° 61' West Long.). The characteristics of the place are studied together with bioclimatic guidelines, general and detailed design characteristics, adopted technology, dimension methodology, inner quality thermal results and energy consumption. These theoretical results imply: i. an annual saving of energy for heating of 56%; ii. budgetary resolution according to the specified average amount; iii. comfort conditions improvement (winter/summer), in relation to a traditional house of state production; iv. habitability conditions improvement, reducing air infiltrations, avoiding superficial and interstitial condensation, stabilizing the thermal wave by the incorporation of external thermal insulation and accumulative walls (MAC); maximum use of the incident solar radiation in winter and solar protection in summer.

Keywords: Bioclimatic design. Social House. Solar energy. Technology. Transfer.

1. INTRODUCCIÓN

El contexto energético actual así como el consumo energético del parque edilicio urbano existente en la Argentina, forman parte de una problemática vigente que necesariamente debe abordarse a efectos de minimizar la demanda de recursos fósiles.

Si se observa la matriz energética nacional (BEN, 2007), el sector residencial representa una parte significativa de la misma (22,87%), situación que ha sido sostenida en el

tiempo dado que en los últimos veinte años, la producción edilicia formal (edificaciones que han sido construidas con permisos de los diferentes organismos de catastro de los municipios) se ha incrementado fuertemente, duplicando en el año 2009 el promedio anual de la superficie construida respecto de 1991 (INDEC, 2011).

Para reducir progresivamente esta demanda y trabajar en consonancia con los convenios y tratados internacionales avalados por el Estado Nacional Argentino a partir del Decreto 140/2007 que declara de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía; se

iniciaron interacciones institucionales entre organismos provinciales de la vivienda y municipalidades de la región, y nacionales como la universidad, e institutos de tecnología e investigación.

En este contexto el trabajo presentado muestra las experiencias obtenidas a partir del diseño y construcción de cuatro viviendas bioclimáticas orientadas a un sector social de escasos recursos, denominado comúnmente “de interés social”; y los resultados alcanzados en sus diferentes aspectos. La propuesta piloto se localiza en el municipio de Tapalqué, provincia de Buenos Aires, Argentina, dado que su administración y comunidad han demostrado sensibilidad a las temáticas ambientales, paisajísticas, así como a la generación de emprendimientos de estas características. Este marco posibilitó el desarrollo técnico-administrativo y la implementación de este proyecto.

1.1. La vivienda social en la provincia de Buenos Aires.

En la provincia de Buenos Aires en la actualidad existe una demanda estimada en 1.091.572 viviendas, de las cuales 663.923 corresponden al déficit cualitativo (60,8%) y 427.649 al cuantitativo (39,2%) (IVBA, 2011) (Figura 1). Para atender esta demanda, se encuentran en desarrollo una serie de programas ejecutados a partir de la acción del Estado, como operatorias lanzadas por la nación, así como también desde la provincia (Nacionales: i. Programa Federal de Construcción de Viviendas T.F., T.P.U.; ii. Programa Federal de Construcción de Viviendas con Municipios; iii. Subprograma Federal de Urbanización de Villas y Asentamientos Precarios; iv. Programa Federal de Mejoramiento de Viviendas “Mejor Vivir” de Soluciones Habitacionales; v. Programa Federal de Emergencia Habitacional “Techo y Trabajo”. Provinciales: Bonaerense II – “Solidaridad” con Municipios/Entidades; Bonaerense XI, “Compartir”, Nuestra Casa. Las mismas son ejecutadas por el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires – IVBA-, perteneciente al Ministerio de Obras y Servicios Públicos -MOP).

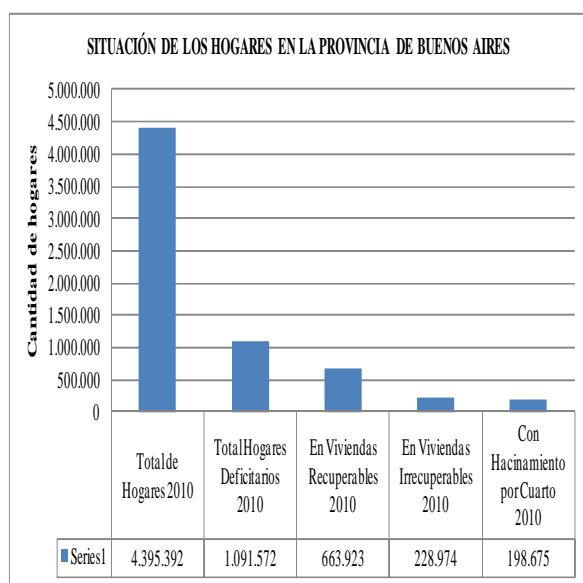


Fig. 1: Total de hogares deficitarios en la provincia de Buenos Aires, estimados al año 2010. (Fuente: Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires, 2011)

La mayor parte de la demanda es atendida en forma cuantitativa, orientándose hacia la construcción de vivienda destinada a la población con necesidades básicas o de alta precariedad, generalmente situadas en enclaves sub-urbanos.

Paralelamente a la demanda cuantitativa, crece la demanda cualitativa. En esta provincia se plantea la necesidad de mejorar la calidad de la producción del hábitat actual. Esta situación se profundiza ya que en el año 2010 se aprueba el Decreto Reglamentario N°1030/10, de la Ley Provincial N° 13059/03, sobre “*Condiciones de acondicionamiento térmico exigibles en la construcción de edificios*”, la cual establece las condiciones de acondicionamiento térmico exigibles en la construcción de edificios para una mejor calidad de vida y una disminución del impacto ambiental a través del uso racional de la energía. Las exigencias de niveles de confort en las viviendas y la reducción de las emisiones se obtendrán aplicando las normas IRAM que hasta el momento eran de carácter optativo (IRAM n° 11.549, 11.601, 11.603, 11.605 en sus niveles “A” y “B”, 11.604, 11.625, 11.630 y complementarias: 11.507-1, 11.507-4, 11.559 y 11.564).

En este marco el IVBA se propone trabajar sobre la vivienda social y la calidad ambiental a partir de casos piloto. Por un lado desde el diseño y construcción de viviendas pensadas íntegramente como bioclimáticas, y por el otro programando la construcción de 350 viviendas de interés social bajo las exigencias de la Ley 13.059, incorporando orientación solar y mejora de la capacidad térmica de su envolvente (piso, muros, cubierta y ventanas). Paralelamente se comienza a trabajar en la organización de un Comité de estudio y aplicación de la norma y el decreto reglamentario mencionados, integrado por diferentes actores institucionales, y coordinado por el IVBA.

Específicamente el diseño y construcción de cuatro viviendas sociales incorporando “Diseño Bioclimático”, plantea el desafío de cómo ejecutar este proyecto hoy desde un organismo público. Es por ello que este emprendimiento tubo como intención principal, transferir, potenciar y multiplicar las líneas de investigación desarrolladas hasta el momento, dentro y fuera de la institución. Se pensó entonces globalmente el problema, diseñando un modelo de gestión que articuló a diferentes actores. La gestión del proyecto es llevada a cabo por el IVBA (Directora de Estudios Proyectos: Arq. Mirta Gnazo, Jefe del Dto. de Proyectos Arq. Patricio Mosqueras, Coordinadora: Arq. Andrea Lanzetti, profesionales del Instituto de la Vivienda de la Prov. de Buenos Aires (IVBA) y el Proyecto Ejecutivo y diseño de las viviendas fue desarrollado por el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

1.2. La vivienda social bioclimática en Argentina

Este proceso cuenta con antecedentes en la provincia que datan del año 1977 y en la década del '80, donde se desarrolló el programa CESAD, “*Conjunto de viviendas de alta densidad con utilización de energía solar*” llevado adelante por el Arq. Elías Rosenfeld y el Físico Jorge Luís Guerrero, pioneros en estas temáticas en la Argentina (IIPAC, 2009). Dicho proyecto fue desarrollado en el ámbito del Instituto de Arquitectura Solar, IAS/FABA. El proyecto consideraba la realización de un conjunto FONAVI (Fondo Nacional de la Vivienda) de 30 viviendas solares del que se

construyó el primer Prototipo Experimental de La Plata (1979) para climas templado-húmedos, el cual se encuentra fuera de funcionamiento en la actualidad. En ese caso se implementaron sistemas con ganancia solar directa (GAD), muros acumuladores de calor en masa de agua (MAC), invernaderos (INV), chimenea solar (CHIS), refrescamiento indirecto (RESi), aislación en la envolvente y calefón solar (CS) (GUERRERO J. et al, 1984; DISCOLI C. y ROSENFELD E., 1986; DISCOLI C., ROSENFELD E., 1986; DISCOLI C., Et Al 1985; FERREYRO C. et. al. 1985).

Posteriormente se realizaron otras viviendas particulares en las que se implementó GAD + CHIS + aislación y calefón solar. También, en la región del Gran La Plata (prov. Buenos Aires), se realizaron en estos últimos años algunas acciones demostrativas orientadas a un muestreo de tecnologías alternativas, como por ejemplo la casa ecológica difundida por la Municipalidad de La Plata. Por último, en el ámbito del Ministerio de Educación de la provincia de Buenos Aires, Área Infraestructura Escolar, se realizaron capacitaciones y aplicaciones no integrales en edificios escolares (SAN JUAN et al, 2007).

Estas temáticas habían sido abandonadas por las diferentes gestiones hasta la actualidad, demostrando hoy día una firme idea de retomarlas conjuntamente, con el IVBA, la FAU-UNLP, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y los Municipios.

En Argentina a nivel nacional, también existieron emprendimientos similares en la escala de prototipos demostrativos, así como en planes de viviendas, escuelas y hospitales. Fueron realizados por grupos de investigación consolidados y con significativa trayectoria tales como el Centro de Estudios Bioambientales (FAU- UNR de Rosario), el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV- CRICYT de Mendoza), el Instituto Nacional de Energía No Convencional (INENCO- UNSa de Salta), el Centro de Investigaciones del Hábitat y la Energía (CIHE-FADU- UBA de Buenos Aires), el Instituto de Acondicionamiento Ambiental (IAA- FAU- UNT de Tucumán), el Centro de Experimentación de Vivienda y Equipamiento Urbano (CEVEqU- U.N.C. de Neuquén) y el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA-FAUDI- UNSJ de San Juan), entre otros (ROSENFELD E., et al, 2004).

Apoyados por los importantes desarrollos nacionales y regionales, así como por la normativa vigente, y a partir de los antecedentes locales, se trabajó en el diseño de cuatro viviendas bioclimáticas en Tapalqué. Los trabajos de proyecto fueron iniciados en el 2009, en el marco de los Convenios respectivos de cooperación y asistencia mutua entre IVBA/UNLP/INTI/Municipio de Tapalqué. Actualmente se han concluido los diseños de los 4 prototipos, así como sus evaluaciones teóricas y simulaciones termodinámicas utilizando software nacional e internación, validados por la comunidad científica (SIMEDIF, INENCO-UNSa-Salta y Desing- Builder con soporte de cálculo Energy Plus-Inglaterra). Esta etapa ha permitido el armado del legajo técnico final para avanzar en la realización de certificaciones por parte del INTI (a cargo del Ing. Vicente Volantino y equipo del INTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial).

Concluidos los trabajos de diseño, en donde fueron completados los detalles técnicos y de habitabilidad de los 4 prototipos, se continuó con las tareas de campo relacionadas con la construcción. Las mismas se iniciaron en febrero del 2011, habiéndose desarrollado las etapas de movimientos de tierra, fundaciones, contratación de carpinterías y la construcción industrial de los muros acumuladores de calor (MAC) (Figuras 2ª y 2b). También se realizaron dos capacitaciones técnicas en el municipio orientadas a desarrollar capacidades específicas para la construcción de viviendas bioclimáticas.



Fig. 2a: Imágenes de la construcción de una vivienda bioclimática en Tapalqué, provincia de Buenos Aires, Argentina.



Fig. 2b: Imagen de la construcción de una vivienda bioclimática en Tapalqué, provincia de Buenos Aires, Argentina

En los puntos siguientes describiremos el proceso de gestión llevado a cabo por las entidades integrantes del programa,

entendiendo que dicho proceso ha sido fundamental para la realización del mismo. También se describen las pautas de diseño, el partido energético-ambiental asumido, la tecnología adoptada y los resultados obtenidos a través de los ensayos y simulaciones.

2. DESARROLLO

2.1. Modelo de Gestión

El proyecto se desarrolla en el marco de un Convenio entre: el Instituto de la Vivienda de la provincia de Buenos Aires (IVBA); el Municipio de Tapalqué de la prov. de Buenos Aires (MT); el Instituto de Investigación y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). El propósito del proyecto, consiste en el diseño, modelización, cálculo, construcción certificación y análisis pos- ocupación de cuatro viviendas de interés social con tecnología bioclimática, a partir de la implementación de un modelo de gestión multi-actoral, según el esquema de la Figura 3.

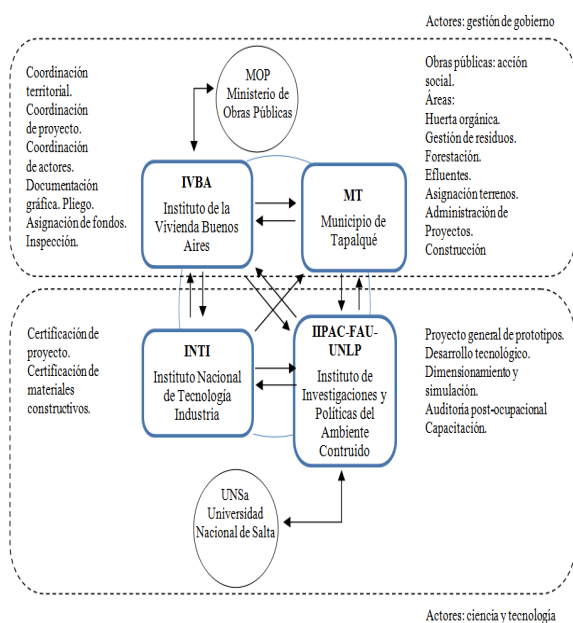


Fig. 3: Modelo relacional de gestión multi-actoral.

Las funciones de cada actor son:

- IVBA:** Gestión general del proyecto; Coordinación territorial y de actores; Documentación final del pliego de obra; Asignación económica; Inspección, Certificación de obra; Coordinación de capacitación.
- MT:** Selección de usuarios y gremios; Proyecto y ejecución de actividades complementarias: huerta orgánica, forestación, efluentes; Asignación de terrenos, Administración del proyecto, Dirección y Ejecución. Implementación de la capacitación.
- IIPAC:** Proyecto de los prototipos; Documentación técnica; Desarrollo tecnológico; Dimensionamiento y simulación. Auditoría post-ocupacional; Capacitación técnica.
- INTI:** Certificación tecnológica y de habitabilidad.

2.2. Localización

El municipio de Tapalqué, está localizado en el centro de la prov. de Buenos Aires, región caracterizada como pampa húmeda, en el límite de la Zona Bioclimática IIIb (Según Norma IRAM N°11.603), latitud: 36° 21' Sur, longitud: 60° 61' Oeste, ASNM 96m (Figura 4). De las cuatro viviendas a construir, tres se localizarán en terrenos urbanos, con lotes amplios que eviten que las sombras de cada casa incidan sobre las fachadas norte (captoras de la radiación solar) de las viviendas vecinas, y uno en terreno sub urbano.

Asimismo estos predios permitirán adicionar actividades productivas complementarias. El programa arquitectónico prevé la construcción de dos prototipos de un dormitorio, uno de dos y uno de tres dormitorios.



Fig. 4. Localización de la ciudad de Tapalqué, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Detalle de localización de los terrenos donde se construirán las viviendas.

2.3. Pautas de diseño

A partir de la región y el lugar seleccionado, se diseñaron los prototipos teniendo en cuenta concepciones que abrevan de la "arquitectura bioclimática"; y a partir de ellas se consideraron las siguientes pautas de diseño y partido energético:

- La **localización** define las características del "sitio" especificando sus variables climáticas y situación helio-energética.
- La **situación socio-cultural** (de los usuarios y de los constructores).
- La adecuación del prototipo a una **situación urbana y suburbana** con loteo sobre la cuadrícula.

- iv. **Aislación de la envolvente** (muros + piso + techo), con el objeto de disminuir la carga térmica anual; reducir las pérdidas térmicas por envolvente en el período invernal; mejorar las condiciones ambientales interiores, tanto higro-térmicas como de confort de los ocupantes; y hacer eficiente la producción y conservación del calor.
- v. **Captación de la radiación solar directa con fines de producción de calor**, aprovechando la radiación solar con lo cual poder considerarla como una fuente auxiliar de calefacción.
- vi. **Iluminación natural**, incorporando en cada uno de los locales aventanamientos que aseguren una correcta iluminación diurna.
- vii. **Calefacción por Muro Acumulador de Calor (MAC)**, tipo “**Trombe-Michel**” (Pesado, de Hormigón y/o con materializaciones mixtas). Nos referimos a un sistema de producción y acumulación de calor en material sólido y/o composición mixta (sólido + líquido), con protección nocturna, para calefaccionar los ambientes por conducción y radiación. En el primer caso la carga térmica retarda la onda térmica hacia el período nocturno; y en el segundo caso además le aumenta la capacidad de carga por la mayor capacidad calorífica (cp) que posee el agua. Este sistema se implementa sólo en los dormitorios que son los locales que requieren el retardo del calor entregado.
- viii. **Producción de aire caliente para calefacción y secado de ropa**. Se incluye en el espacio principal de la vivienda un invernadero con doble función controlada. Puede aportar calor a través de ganancia directa, o secar ropa por transferencia de calor y masa.
- ix. **Control de la radiación solar en el período estival** (pergolado, forestación, toldo). Se diseñó un sistema de pergolado sencillo de protección para el área vidriada y paramentos orientados al norte. Se complementó con sombreado vegetal (forestación caduca), y cortinas de enrollar para las superficies vidriadas de los MAC.
- x. **Ventilación cruzada** para el período estival. Preferentemente nocturna con la cual se mejora la disipación de la carga térmica interior a partir de la circulación de aire de baja entalpía por ventanillas orientadas al sur-este a nivel de zócalo, y ventanas al norte (tipo banderola). Este sistema asegura la ventilación preservando los aspectos de seguridad.
- xi. **Sistemas alternativos: colector solar plano para calentamiento de agua (CSP)**. Consta de un sistema termosifónico con 4m² de superficie de colección y un tanque de acumulación del agua caliente de 300 L, asociado al tanque de reserva de agua domiciliaria. **Sistema fotovoltaico para iluminación eléctrica**, dimensionado según cálculo, en función de la demanda a determinar (se considera en primer término luz perimetral y de emergencia).

2.4. Variables climáticas del sitio y consideraciones para la simulación térmica

Las viviendas se encuentran topográficamente con cotas cercanas al nivel del mar (96 m), por lo que se adoptó una densidad nominal del aire de 1,2kg/m³. Se consideró un albedo para el suelo de 0,3 (pasto seco). Para el **período invernal** se analizaron las localidades próximas ya que Tapalqué no cuenta con estación meteorológica, y se utilizaron datos de la más desfavorable (la localidad de Azul). Se simuló térmicamente una serie de 25 días de invierno (desde el 8 de junio al 2 de julio), para los cuales se utilizaron las temperaturas exteriores media, máxima y

mínima, siendo estas 7,7°C, 14,2°C y 2,4°C respectivamente. En cuanto a la radiación, se simularon 10 días con condiciones promedio (5,4 MJ/m²día) (GROSSI GALLEGOS Y RIGHINI, 2007) los cuales se utilizan para que el edificio entre en situación de régimen. Luego se analizaron tres días con cielo claro (heleofanía mayor al 70%) con buenos niveles de radiación (10,5MJ/m²día); y finalmente 12 días, nuevamente con radiación promedio (5,4MJ/m²día). Este protocolo de simulación nos ha permitido en primera instancia analizar la carga y descarga de los MAC. En el **período estival**, también se utilizaron datos promedio (adoptándose Las Flores como la más desfavorable) simulándose un período de 25 días de invierno (desde el 1 de diciembre al 25 de diciembre), para los cuales se supusieron temperaturas exteriores media, media-máxima y media-mínima de 21,5°C, 28,8°C y 13,6°C respectivamente. En este caso también se simularon 10 días con radiación promedio de verano de 23,4 MJ/m²día, luego 3 días con radiación alta de 32,6 MJ/m²día y finalmente 12 días nuevamente con radiación promedio. En las tablas 1 a 4, se observan las condiciones climáticas de referencia circundantes a la ciudad de Tapalqué.

Tabla 1. Datos climáticos de invierno, para localidades de referencia. (Norma IRAM 11603). (*) GD: grados día

Estación	LAT	ASNM	Tmed	Tmáx	Tmin	TDM	TDm
	°	m	°C	°C	°C	°C	°C
Azul	36.8	132	7.7	14.2	2.4	3.2	-2.1
Bolivar	36.3	93	9.5	15.1	3.8	5	-0.7
Las Flores	36	34	9.1	14.9	3.8	4.6	-0.7
Estación	Troc	Tvap	HR	Prec	GD18	GD20	GD22
	°C	°C	%	mm	°C	°C	°C
Azul	4.7	9	84	42	1598	2166	2843
Bolivar	6.8	10.4	83	41	1284	1765	2337
Las Flores	5.8	9.7	81	21	1337	1859	2480

Tabla 2. Datos climáticos de verano, para localidades de referencia. (Norma IRAM 11603).

Estación	LAT	ASNM	Tmed	Tmáx	Tmin
		m	°C	°C	°C
Azul	36.8	132	20.1	28.2	12.6
Bolivar	36.3	93	22.4	29.8	14.4
Las Flores	36	34	21.5	28.8	13.6
Estación	TDM	Troc	Tvap	HR	Prec
	°C	°C	°C	%	mm
Azul	31.7	14.3	16.8	73	94
Bolivar	33.3	16.8	19.7	74	95
Las Flores	32.3	14.4	16.9	67	79

Tabla 3 Datos de radiación solar. (Fuente: Atlas de radiación solar de la Argentina. Grossi Gallegos).

1er. semestre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Radiación Global Diaria (Kwh/m ²)	6.5	6	4.5	3	2	1.5
Heliofanía Efectiva Diaria en horas	8	8	7	6	5	4
2 do. Semestre.	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Radiación Global Diaria (Kwh/m ²)	2	2.5	3.5	5	6	6.5
Heliofanía Efectiva Diaria en horas	4	5	6	7	8	8

Tabla 4. Datos de viento. (Norma IRAM 11603).

Localidad	Invierno		Verano	
	Dirección predominante	Velocidad Media (Km/h)	Dirección predominante	Velocidad Media (Km/h)
Azul	SO	8.7	NO – N – NE	10
Las Flores	SE - SO	5	N – NO	6

3. RESULTADOS

3.1. Partido energético-ambiental

En función de las pautas bioclimáticas establecidas, se adoptó un “partido energético-ambiental”, que consideró a la fachada norte de la casa como elemento principal. En dicha fachada se concentró e integró la totalidad de los sistemas helio-energéticos pasivos (P) vinculados a la climatización y a la iluminación. En cuanto a la composición de la misma, se buscó brindar un aporte estético a la propuesta de diseño, con resoluciones técnicas localizadas.

Los sistemas solares involucrados han sido: Ganancia directa; Muros acumuladores de calor; Invernadero secadero de ropa; Ventilación cruzada nocturna/diurna con control de infiltraciones; Iluminación natural y Control solar.

El partido se complementó con criterios de conservación de energía (C), en donde se minimizan las pérdidas térmicas y eliminan los puentes térmicos a partir de una envolvente aislada integral, con distribución continua del material aislante.

En la Figura 5 se observa la “fachada solar” con todos sus sistemas y componentes, y una perspectiva. En la figura 6 la distribución de los prototipos en los lotes.

En la figura 7 se observa la planta del prototipo y en la figura 8 se muestra la fachada sur, y corte como síntesis de la documentación técnica del prototipo de 3 dormitorios.



Fig. 5: Fachada norte o “fachada solar” de la vivienda de dos dormitorios.



Fig. 6: Vista de conjunto

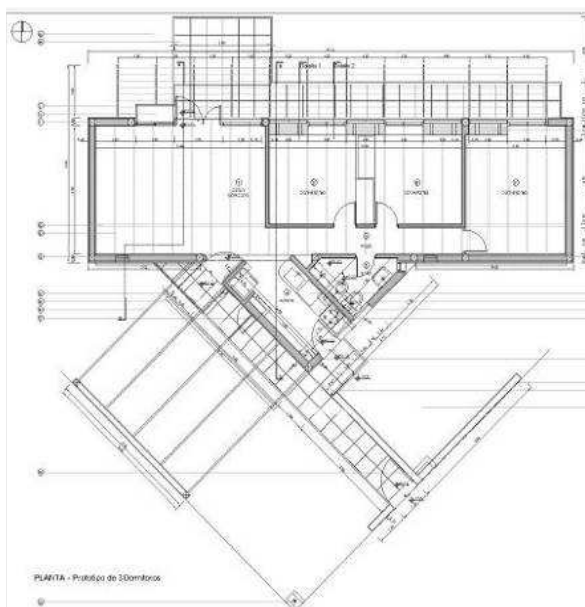


Fig. 7. Planta del prototipo de tres dormitorios.

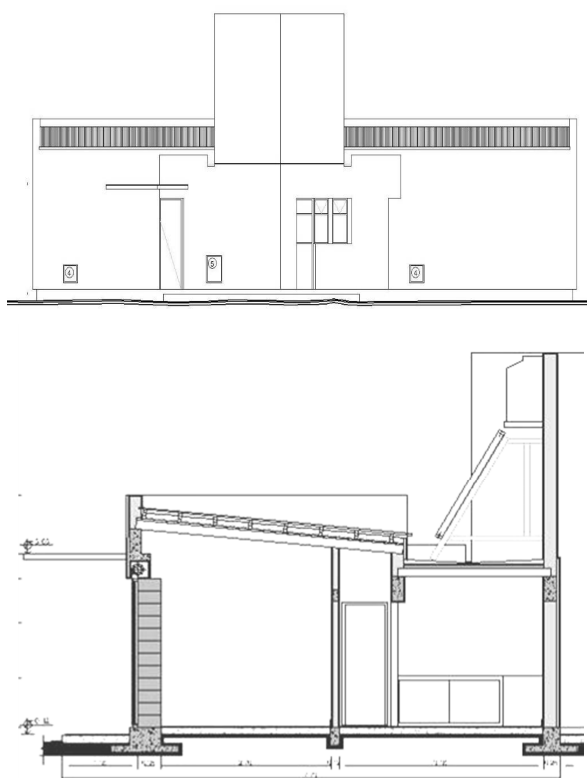


Fig. 8: Fachada sur y corte transversal de la vivienda de tres dormitorios

3.2. Descripción de la tecnología adoptada

La tecnología constructiva adoptada es tradicional, con modificaciones sencillas, cuyas modalidades constructivas y productivas se corresponden con los conocimientos ya adquiridos en las prácticas del buen construir. Apelar a la simplicidad constructiva permitió resolver aspectos relacionados con la ejecución de obras por parte del Municipio, resolviendo la misma con el personal municipal de planta. El programa arquitectónico está constituido por: dos prototipos de un dormitorio (50 m²), uno de dos dormitorios (63 m²) y uno de tres dormitorios (70 m²), con una superficie total construida total de 240 m². Se describen a continuación los principales ítems:

- i. **Mampostería perimetral:** de ladrillos cerámicos huecos de 0,18 x 0,18 x 0,33 m de 16 agujeros, revoque grueso y fino a la cal interior, y exterior bajo tecnología EIFS (*Exterior Insulation and Finish Systems*), con aislación térmica según cálculo. Desde el interior al exterior: revoque, ladrillo cerámico hueco, pegamento para cerámicos, placas de EPS (Poliestireno expandido) de 20kg/m³ de densidad, malla de fibra de vidrio de 160gr/m² y revestimiento elastomérico (grano fino, color a determinar);
- ii. **Muro Exterior Norte, tipo Trombe (MAC):** bloque prefabricado de Hormigón de 1,20m de ancho x 2,40m de alto y 0,35m de espesor (Densidad 2.200kg/m³), conformado por 10 unidades; pintura exterior negro mate, con cubierta exterior de vidrio simple con una separación de 5cm, y protección exterior con cortina de enrollar plástica, color blanco.

- iii. **Techo de chapa ondulada galvanizada N°24,** sobre estructura resistente de madera, aislación térmica según cálculo, machimbre y cabios a la vista.
- iv. **Techo de losa prefabricada,** constituido por viguetas pretensadas de hormigón y bloques de poliestireno expandido (densidad 10 kg/m³, altura del bloque 0,125 m) con capa de compresión de hormigón armado y malla del 4,2 de 0,15x0,15 m, aislación térmica según cálculo, carpeta de cemento y protección hidráulica.
- v. **Ventanas:** marcos y hojas en PVC reforzado con doble vidriado hermético DVH. En **MAC:** cortina de enrollar en PVC reforzado.
- vi. **Puertas y puertas ventana:** en cocina, estar y puerta de acceso, PVC reforzado. Puertas placas interiores de pino.
- vii. **Invernadero:** estructura y aberturas en PVC liviano, con policarbonato alveolar de 6mm.

3.3. Orientación helio-energética óptima

Por tratarse de viviendas insertadas en el ejido urbano, se analizaron diferentes alternativas, y a partir de ellas se optó definitivamente por la orientación NORTE plena de la fachada principal de la vivienda (acimut 0°); y paramentos verticales a 90°. De esta manera se buscó maximizar el aprovechamiento de la radiación solar invernal a los efectos de obtener la máxima cantidad de energía térmica útil, y un emplazamiento conveniente sobre el lote. Si bien se admiten desplazamientos máximos de 15° de azimut con respecto al norte, la orientación de la manzana y sus lotes no permiten una buena consolidación de las líneas medianeras o línea municipal. Por otro lado, la propuesta de giros mayores en el acimut aumenta la ineficiencia en los sistemas de captación solar. Para tomar la decisión definitiva se realizó la simulación de un módulo edilicio teórico (similar a una habitación) de 27 m³, al que se le proporcionó en la fachada norte 1/3 de su superficie con ventana y 2/3 con un Muro Acumulador de Calor (MAC). La incidencia de la ganancia solar (kWh) y las temperaturas alcanzadas (°C) indican las diferencias en función del Acimut considerado en cada caso con referencia al norte (se adoptaron para esta simulación las siguientes orientaciones Acimut = 0°; 15°, 30°, 45°).

La simulación dinámica fue realizada con dos programas: ENERGY-PLUS y SIMEDIF, cuyos resultados poseen consistencia. La tabla 5 y las figuras 9 y 10 muestran los resultados de las mismas.

Tabla 5: Disminución de la ganancia solar según orientación.

Período	A: 15° =	A: 30° =	A: 45° =
ENERGY-PLUS			
Mes de Junio:	- 3,6%	-13,6%	- 26,8%
Meses: Abril-Sept.	-3,1%	-9,0%	- 17,6%
SIMEDIF			
Mes de JUNIO:	-7,6	-13,8	-25,0

Se observa que, en el caso de responder con la vivienda a la línea municipal (como es habitual) o sea girada la fachada principal 45° con respecto al norte, la eficiencia del sistema de captación solar se reduce en un 25% en el mes de junio. Dicha situación se considera poco apropiada para este tipo de sistemas. A partir de los resultados obtenidos y dada la disponibilidad de terreno, se adoptó la orientación norte

como la apropiada, debiendo resolver la relación de la vivienda con la línea municipal, lo cual se realizó rotando el núcleo de servicios y espacios intermediarios exteriores (ver figuras 3, 4 y 6).

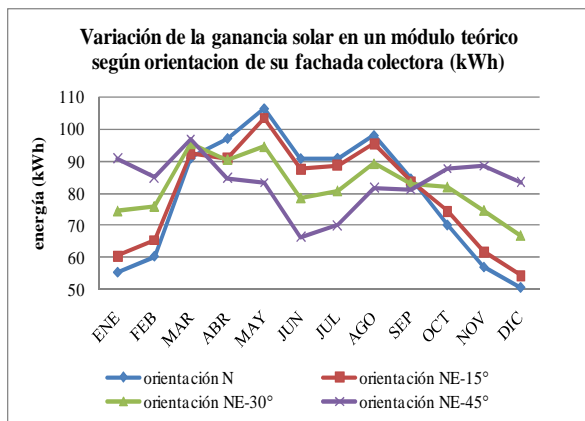


Fig. 9: Ganancia térmica mes a mes, según orientación del módulo teórico (kWh) (ENERGY-PLUS).

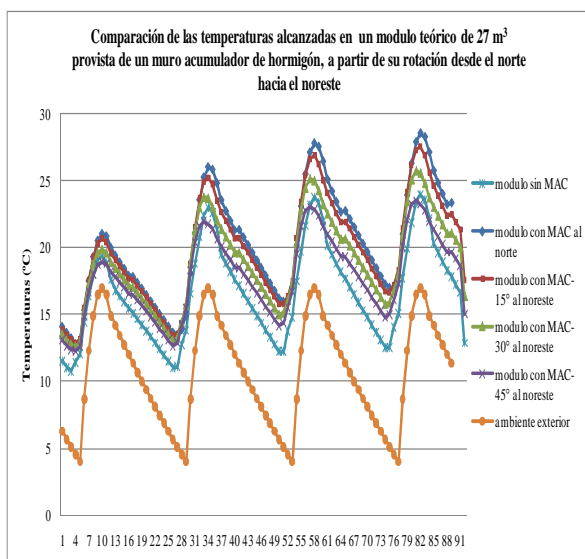


Fig. 10: Comportamiento térmico en días de junio (°C), variando la orientación de un módulo teórico (SIMEDIF)

3.4. Análisis de la envolvente edilicia.

Con el objeto de evaluar la envolvente edilicia óptima y la aislación térmica adecuada, las mismas se analizaron en función de las condiciones climáticas del sitio de emplazamiento, la tecnología propuesta, y las características dimensionales de las tipologías. A partir de las condicionantes mencionadas, se calculó la demanda de energía auxiliar necesaria para calefaccionar los locales (temperatura interior a 20°C), mediante simulación térmica con balance dinámico (SIMEDIF) y balance energético estacionario (IRAM). Se establecieron los niveles de transmitancia térmica máxima (K), para invierno y verano, según Norma IRAM 11.605 (ver Tabla 6 y 7). Se establecieron los espesores de los componentes de la envolvente y la aislación recomendada para cada propuesta: en muro perimetral 0,03m; en cubierta de chapa 0,1 m; en cubierta de losa de hormigón prefabricada 0,03 m (Recordar que, según ítem 3.2.iv, la losa prefabricada se construye con bloques de poliestireno expandido de 0,12 m de espesor. Esto implica una buena aislación térmica en la mayor

superficie, exceptuando las zonas donde se apoyan los bloques (viguetas de hormigón) donde se produce un puente térmico de hormigón) (ver Tabla 8 y 9).

Tabla 6: Valores de $K_{máx.}$ Adm. para condición de INVIERNO, según norma IRAM 1605/96. Temperatura exterior de diseño considerada (-1), según Norma IRAM. Según datos Meteorológicos TDMin= -0.7°C).

IRAM K máx.							
Nivel A		Nivel B2 (*)		Nivel B		Nivel C	
Muro	Techo	Muro	Techo	Muro	Techo	Muro	Techo
0,36	0,31	0,675	0,555	0,99	0,80	1,75	1,00

(*) Construcción propia en función de la media entre el nivel A y B.

Tabla 7: Valores de $K_{máx}$ para condición de VERANO, según norma IRAM 11605/96.

Zona Bioambiental IIb, Norma IRAM 11603/96.

IRAM K máx.							
Nivel A		Nivel B2 (*)		Nivel B		Nivel C	
Muro	Techo	Muro	Techo	Muro	Techo	Muro	Techo
0,50	0,19	0,875	0,335	1,25	0,48	2,00	0,76

(*) Construcción adoptada en función de la media entre el nivel A y B.

Tabla 8: Síntesis de transmitancia térmica (K) por componente y espesores de aislación térmica para el Prototipo Original

Unidades	Prototipo Original		
	Muro	Techo Chapa	Losa
$K = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	1,5	1,27	0,29 2,58(PT)
cm	-	2	-

Tabla 9: Síntesis de transmitancia térmica (K) por componente y espesores de aislación térmica para cada situación. Poliestireno expandido, densidad $\rho = 20kg/m^3$. Norma IRAM 11601/02.

Unidades	Prototipo con Nivel A			Prototipo con Nivel B2 (*)		
	Muro	Techo Chapa	Losa	Muro	Techo Chapa	Losa
$K =$	0,36	0,19	0,20 0,70(PT)	0,67	0,32	0,20 0,70(PT)
cm	7,5	17	3	3	10	3
Unidades	Prototipo con Nivel B			Prototipo con Nivel C		
	Muro	Techo Chapa	Losa	Muro	Techo Chapa	Losa
$K =$	0,83	0,47	0,20 0,70(PT)	1,09	0,72	0,20 0,70(PT)
cm	2	6,5	3	1	4	3

(*) Construcción propia en función de la media entre A y B. (PT) Considera el valor del K de la viga pretensada de la losa quebrando el puente térmico

Las variantes de cálculo han sido las siguientes:

- i. **Prototipo original:** Se considera con la tecnología constructiva tradicional utilizada en las viviendas que construye el IVBA, tomándose como situación de base.
- ii. **Situación mejorada, nivel "C",** según norma IRAM 11.605, con criterio de eliminar la condensación superficial.
- iii. **Situación mejorada, nivel "B",** según norma IRAM 11.605, con criterio de conservación de la energía.
- iv. **Situación mejorada, nivel "B2",** según la construcción del indicador (media aritmética entre Nivel "B" y "A"). Los antecedentes muestran los beneficios económicos, ambientales y constructivos de esta variante (MERCADO, ESTEVES Y FILLIPÍN, 2010)
- v. **Situación mejorada, nivel "A",** según norma IRAM 11.605, con criterio de conservación de la energía, nivel ecológico.

3.5. Comportamiento higo-térmico-energético.

Se analizó el comportamiento del prototipo con sus alternativas tecnológicas teniendo en cuenta las situaciones estacionales extremas con los parámetros más desfavorables para la región de Tapalqué.

3.5.1. Invierno

Para comparar las variantes propuestas, se verificó el comportamiento térmico interior de la vivienda y la demanda de energía auxiliar necesaria para calefaccionar los locales (20°C en el estar, dormitorio y paso, y 16°C en cocina y baño) a partir de simulación térmica en SIMEDIF (las simulaciones dinámicas se resolvieron simultáneamente con la colaboración de la Dra. Silvana Flores Larsen y el Dr. Alejandro Hernández, del INENCO-UNSa. De las mismas surgieron recomendaciones fundamentales de diseño).

En la Figura 11, a modo de ejemplo, se observan las temperaturas alcanzadas en el dormitorio principal (lindante con el ambiente exterior), sin incorporar energía auxiliar. Se ha adoptado una serie de días con radiación media y alta para el mes de junio, verificando el comportamiento edilicio en función de las medidas adoptadas según los niveles de la norma IRAM, ya enunciados. Se observa que para el día uno (1) de baja radiación solar (5,4MJ/m² día), en la situación "original", la diferencia de la temperatura interior máx= 13°C y mín= 10,5°C, con un $\Delta T=2,5^{\circ}C$, con niveles térmicos por debajo de la situación de confort. Para un día de radiación alta (ver día 3, 10,5MJ/m² día), la respuesta es más favorable con valores máx= 18°C y mín= 12,5°C, con un $\Delta T=5,5^{\circ}$. Para las demás situaciones (C, B, B2 y A) se observa que la diferencia entre ambas temperatura (máx y mín) es sensiblemente menor, así como se manifiesta el aprovechamiento de la masa interior a partir de su inercia térmica.

Las necesidades de energía auxiliar son lógicamente menores, al ir incrementándose la capacidad aislante de la envolvente edilicia y hacer más eficiente la radiación solar incidente. Para el cuarto día, la vivienda está en régimen y se encuentra dentro de los valores de confort de invierno (18°C a 20°C), en fase solar.

En la Figura 12, se observan los resultados obtenidos al calcular la energía auxiliar para todas las variantes de aislación térmica o nivel de norma, en un día con radiación media, en los locales de dormitorio y estar.

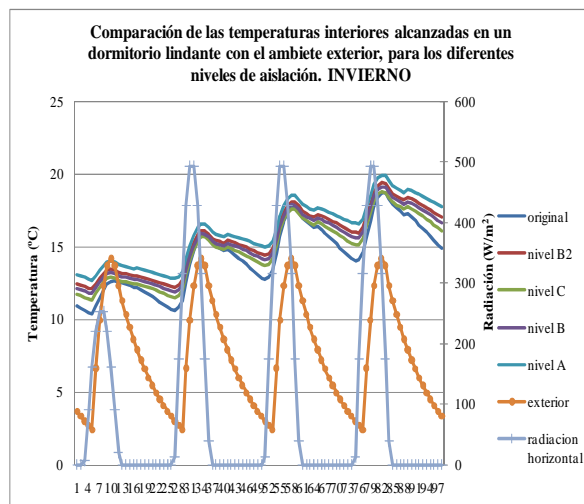


Fig. 11: Temperaturas obtenidas en el dormitorio lindante con el exterior para los diferentes niveles de aislación. INVIERNO, sin incorporar energía auxiliar.

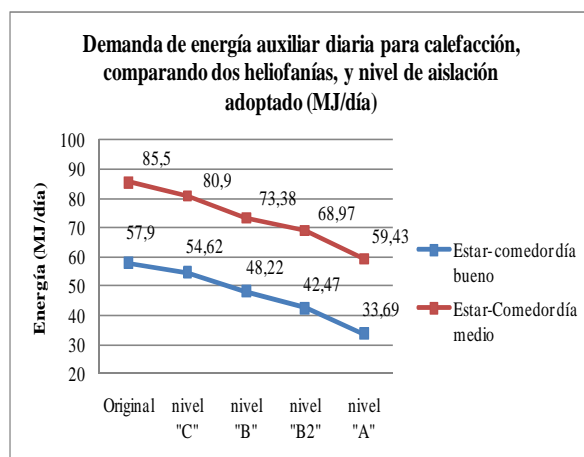


Fig. 12. Demanda de energía auxiliar diaria necesaria para acondicionar a 20°C el estar en un día de radiación media (5,4 MJ/m² día) y en uno de buena radiación (10,5 MJ/m² día). Comparación de los cuatro niveles de aislación analizados.

En la Tabla 10, se sintetiza la carga térmica demandada en MJ/día (CT) para un día de radiación intermedia, y el ahorro de energía logrado para cada nivel de aislamiento térmica (prototipo original, C, B, B2 y A); considerando en todos los casos una temperatura de local de 20°C. Para la situación B2 los ahorros para un día del mes de junio con radiación intermedia (5,4MJ/m² día), son de: dormitorio principal= 26% y Estar – Comedor= 19%. Además de los ahorros de energía logrados, se debe considerar una mejora sustantiva en las condiciones de confort térmico para el usuario, minimizando la amplitud térmica interior a partir de una estabilización en las ondas térmicas y un mayor desfase hacia el período nocturno.

3.5.2. Verano.

En la Figura 13 se observan los niveles térmicos alcanzados en el prototipo para condiciones exteriores medias, en un día de diciembre para cada una de las variantes de aislación o niveles de norma. Para la situación original la temperatura interior máx.= 25,5°C y mín = 21°C, con un $\Delta T = 4,5^{\circ}C$. Para los niveles B2 y A la temperatura interior máx.=

24,2°C y mín = 22,2°C, con un $\Delta T = 2^\circ\text{C}$; y no se encuentra incluido el refrescamiento nocturno por ventilación cruzada.

Tabla 10: Estimación de la carga térmica media y el ahorro medio diario para un día tipo de junio. Condición de INVIERNO con radiación media de 5.4MJ/ m²día

	Original	Nivel C	Nivel B	Nivel B2	Nivel A
DORMITORIO					
CT(MJ/día)	41,04	35,6	32,17	30,42	24,79
% reducción de consumo	0	13%	22%	26%	40%
ESTAR - COMEDOR					
CT(MJ/día)	85,5	80,9	73,38	68,97	59,43
% reducción de consumo	0	5.50%	14%	19%	31%

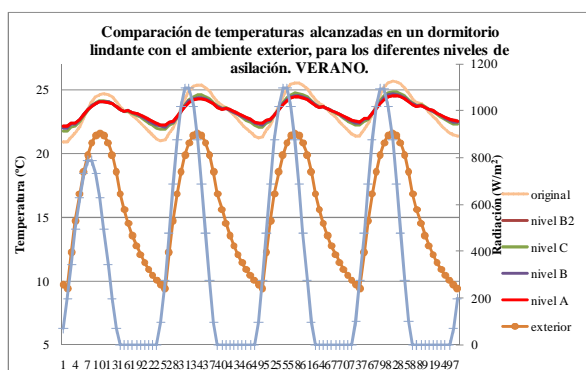


Fig. 13: Temperaturas obtenidas en el dormitorio externo para los diferentes niveles de aislación. VERANO, sin incorporar energía auxiliar.

3.5.3. Comportamiento energético anual:

Se realizó el cálculo sobre el prototipo de 2 dormitorios en las diferentes opciones de optimización de la envolvente edilicia (Niveles: C, B, B2, A) en función de los parámetros establecidos. Se realizó una simulación estacionaria mes a mes, en función de valores de transmitancia según norma IRAM N°11.601, verificando las necesidades energéticas para climatización. Para el cálculo se adoptaron los parámetros de la Tabla 8 y 9; y los resultados se muestran en la Tabla 11.

En la Figura 14 se observa la evolución del consumo de energía mensual y el total para climatización de invierno (temperatura de confort 20°C), para los niveles adoptados (tradicional, C, B, B2, A). Las gráficas muestran diferencias de consumo energético muy significativas al aplicar la medida "C" y la "B". Con respecto al nivel "B2" adoptado, se observa que el gradiente de ahorro comienza a modificar su pendiente minimizando el ahorro de invierno. Esto implica que a partir de los valores adoptados, una mayor inversión en aislación no modificaría sustantivamente el resultado final. El análisis de costo beneficio confirma dicha situación haciendo injustificable la implementación del nivel "A". Por otro lado, desde lo constructivo, los espesores de aislación necesarios para dicho nivel dificultan su

aplicabilidad. La Tabla 12 expone los diferentes porcentajes de ahorro de energía para calefacción anual en función de los niveles mencionados.

Tabla 11: Consumo estimado de gas natural por red-GN (m³) y gas envasado-GE (kg). ^(*) CTAño: carga térmica anual. ^(**) G: coeficiente volumétrico de pérdidas. ^(***) UA

Mes	ORIG.		Nivel C		Nivel B		Nivel B2		Nivel A	
	GN m ³	GE kg	GN m ³	GE kg	GN m ³	GE kg	GN m ³	GE kg	GN m ³	GE kg
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FEB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAR	69	54	50	38	34	26	30	23	24	19
ABR	157	121	112	87	76	59	68	53	55	42
MAY	244	188	175	135	119	92	106	82	86	66
JUN	311	240	223	172	152	117	135	104	109	84
JUL	326	252	234	181	159	123	142	109	114	88
AGO	303	234	218	168	148	114	132	102	106	82
SEP	234	180	168	129	114	88	102	78	82	63
OCT	175	135	125	97	85	66	76	59	61	47
NOV	75	58	54	41	36	28	32	25	26	20
DIC	13	10	9	7	6	5	6	4	5	3
Total	1907	1472	1368	1055	930	718	829	640	669	516
	No cumple con el G Adm: 1,99 W/m ² C		No cumple con el G Adm: 1,99 W/m ² C		CTaño= 10108kWh UA= 183,12W/C UA/m ² = 3,46W/m ² C G= 1,36W/m ³ C		CTaño= 9009kWh UA= 163,21W/C UA/m ² = 3,08W/m ² C G= 1,21W/m ³ C		CTaño= 7270kWh UA= 131,70W/C UA/m ² = 2,48W/m ² C G= 0,98W/m ³ C	

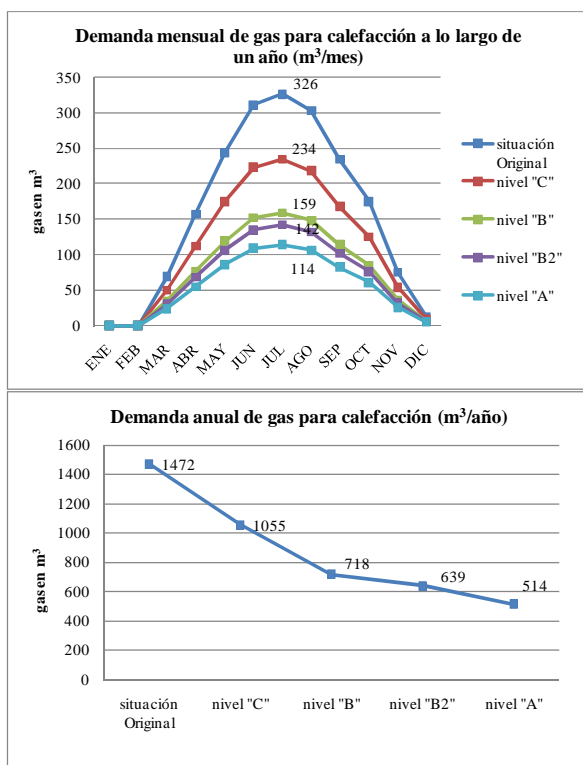


Fig. 14. Demanda mensual y anual de gas para calefacción de un prototipo de vivienda de dos dormitorios (63 m²).

Tabla 12: Porcentajes de ahorro de energía para calefacción según niveles adoptados

	Original	Nivel "C"	Nivel "B"	Nivel "B2"	Nivel "A"
Ahorro energía	0%	28%	51%	56%	65%

4. CONCLUSIONES

El proyecto ha permitido profundizar aspectos teóricos y prácticos relacionados con la gestión, diseño y construcción de la vivienda social y la implementación de pautas bioclimáticas posibles, en un marco inter-institucional estatal singular. Esta experiencia ha permitido canalizar acciones y establecer roles definidos entre instituciones, permitiendo elaborar un programa integral de gestión-acción-certificación.

El diseño y construcción de los cuatro prototipos, permitieron generar pautas bioclimáticas y helio-energéticas que servirán como modelos para las producciones futuras.

Por otro lado este tipo de emprendimientos se encuentra en consonancia con la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 13.059, que alude a la aplicación obligatoria de la normativa vigente IRAM, sobre condiciones de acondicionamiento térmico en la construcción de edificios. De hecho el diseño y construcción de dichos prototipos permiten ser utilizados como edificios demostrativos avalando la viabilidad técnica y tecnológica, así como orientativos en cuanto a la capacitación de técnicos, operarios y usuarios.

En cuanto a los aspectos específicos, y a partir de las características climáticas del sitio se han determinado valores de transmitancia térmica para condiciones de invierno y verano en función de la construcción de un nivel intermedio (según norma IRAM 11.601) entre el "B" y "A". Esta solución se basó en la correlación entre: la disminución de la carga térmica de invierno y verano, y las condiciones de confort interior alcanzadas en estos dos períodos. Por otro lado la estimación del ahorro de energía anual para calefacción fue del 56% con respecto a la vivienda base, con aprovechamiento de la radiación solar incidente y una mejora sustantiva en el nivel de confort interior.

Otros beneficios que no han sido detallados en este trabajo pero han sido verificados en el diseño corresponden a: i. eliminación de puentes térmicos en la totalidad de la envolvente; ii. control de la condensación superficial e intersticial; iii. reducción de las infiltraciones de aire; iv. control de la ventilación natural nocturna-diurna; v. la incorporación de muros MAC pesados; y vi. la incorporación del invernadero secadero de ropa.

La etapa de construcción a la fecha se encuentra completando las bases y muros, lo que posibilitará incorporar mayor conocimiento y experiencia a los efectos de ajustar desarrollos y procedimientos como por ejemplo, la incorporación de la tecnología EIFS (*Exterior Insulation and Finish System*), o la inclusión de los MAC a partir de un sistema industrializado de piezas premoldeadas. Cabe aclarar que el diseño propuesto para las viviendas se enmarca en el "Programa Solidaridad", con fondos de la provincia de Buenos Aires.

5. REFERENCIAS

- Balance energético nacional. *Serie 1960-2007*. Versión preliminar del año 2007. Argentina, 2007.
- Discoli, C., Rosenfeld, E. Muro colector acumulador en agua: módulos industrializables de bajo costo. *Actas 11ª Reunión de Trabajo de ASADES*, San Luis, Argentina, pp. 77-84. 1986.
- Discoli, C., Rosenfeld, E. Prototipo Experimental de la Plata: Ensayo del invernadero-secadero de ropa de bajo costo. *Actas 11ª Reunión de Trabajo de ASADES*, San Luis, Argentina, pp.85-89. 1986.
- Discoli C., Guerrero, Rosenfeld E., Ravella O. Muro colector acumulador en agua: su comportamiento en la zona templada-húmeda. *Actas 10ª Reunión de Trabajo de ASADES*, Neuquén, Argentina, pp. 15-22. 1985.
- Ferreiro C., Rosenfeld E., Ravella O., Discoli C., Guerrero. Sistemas de enfriamiento pasivo para zonas templadas húmedas. *Actas 10ª Reunión de Trabajo de ASADES*. Neuquén, Argentina, pp. 23-30. 1985.
- Guerrero, Discoli C., Rosenfeld E., Ravella O., Ferreiro C.. Prototipo Experimental de La Plata: Primera campaña de ensayos de habitabilidad y comportamiento energético. *Actas de la 9ª Reunión de Trabajo de ASADES*, San Juan, Argentina, pp. 121-128. 1984.
- Grossi Gallegos H., Righini R. *Atlas de energía solar de la República Argentina*. Argentina: SECYT y UNL. 2007.
- IAS-FABA- IIPAC-FAU-UNLP. *La casa solar de La Plata*. Argentina. Paideia. 2009.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. *IRAM 11601: Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Buenos Aires, 2002.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. *IRAM 11603: Clasificación bioambiental de la república Argentina*. Buenos Aires, 1996.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. *IRAM 11605: Condiciones de habitabilidad de edificios. Valores de "K" en cerramientos opacos*. Buenos Aires, 1996.
- Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires – IVBA-. Dirección de Política Habitacional, Departamento de programación. Déficit habitacional, proyección 2010. 2011.
- Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires – IVBA-. <http://www.vivienda.mosp.gba.gov.ar/institucional/g2009.pdf>. Visto 20/3/2015
- Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires – IVBA-. <http://www.vivienda.mosp.gba.gov.ar/institucional/topicas.php>. Visto 20/3/2015
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *Estadísticas de la Construcción*. 2010. Disponible en: <<http://www.indec.gov.ar.html>>. Argentina, 2010. Acceso: 1 nov. 2010.
- Municipalidad de La Plata. <http://www.facebook.com/CasaEcologicaLaPlata>. Visto 25/3/2015
- Mercado V., Estevez A., Filippín C. Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. *Revista Ambiente Construido*. Brasil, 2010. p. 87 a 100.
- Rosenfeld E., et al. Voz Bioclimática/bioambiental / solar pasiva / sustentable / ambientalmente consciente. En

Diccionario de Arquitectura en la Argentina. Argentina: Clarín. 2004.

San Juan, et al. Viviendas bioclimáticas de interés social. *Arquitectura Bioclimática.* Editor: Beatriz Garzón. Argentina: Nobuko. 2007.

San Juan G., Discoli C., Alvarez. Curso de actualización profesional “diseño bioclimático para el espacio físico educativo”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 23-30, 2007. Salta, Argentina.