

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROTOTIPOS DE VIVIENDA DEL IPVYDU EN TUCUMÁN.**

**S.L. Ledesma, V.M. Nota, G. E. Gonzalo.**

Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente - Instituto de Acondicionamiento Ambiental  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán  
Av. Roca 1900 - 4000 Tucumán – Argentina - Tel.+ .54.381.4364093 int. 7914  
Email: sledesma@arnet.com.ar – vnota01@yahoo.com.ar

**RESUMEN:** El trabajo presenta el análisis comparativo del comportamiento energético-ambiental de prototipos de vivienda de interés social desarrollados por Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano (IPVyDU) para la provincia de Tucumán. El trabajo enmarcado en un convenio suscripto con el mencionado organismo, tiene como objetivo la definición de modelos prototípicos de viviendas adecuadas a la condición climática del sitio de emplazamiento. A partir de cálculos computacionales y ecuaciones simplificadas, se definió el comportamiento térmico de los prototipos presentados por el IPVYDU, evaluándose además, con métodos gráficos, sus condiciones de asoleamiento y ventilación natural. A partir de los resultados obtenidos, se plantearon y evaluaron, alternativas superadoras para el diseño. Los resultados alcanzados permitieron cuantificar la incidencia sobre el comportamiento energético final del edificio de diferentes variables de diseño y también transferir al IPVYDU, pautas y recomendaciones para el diseño bioclimático.

**Palabras clave:** clima, energía, habitabilidad, viviendas.

### **INTRODUCCIÓN**

El siguiente trabajo se encuentra enmarcado en el convenio firmado entre el IPVYDU, a través de su Departamento de Estudios y Proyectos, y la FAU-UNT a través del Equipo de Investigación del Proyecto CIUNT 26/B405 y responde a los objetivos del convenio de “evaluar en forma comparativa el comportamiento energético de los prototipos de viviendas desarrollados por el IPVYDU en sus 2 variantes: diseño convencional y diseño propuesto con criterios de adecuación al clima”, y “proponer soluciones de diseño tendientes a mejorar el comportamiento del prototipo propuesto por el IPVYDU en relación a las condiciones climáticas de Tucumán”.

El convenio firmado entre las instituciones mencionadas, promueve la realización conjunta y coordinada de actividades que permitan el diseño y construcción de viviendas de interés social con criterios bioclimáticos, aplicando tecnologías y materiales que incrementen la eficiencia energética e incorporando la utilización de recursos renovables para el ahorro de energía. Este trabajo conjunto busca emprender mejoras en las prácticas de ejecución de viviendas sociales, introduciendo conceptos de eficiencia energética y uso de energías renovables en el diseño, construcción y mantenimiento de viviendas sociales, dada la crisis energética por la que atraviesa nuestro país.

Este trabajo se basa en metodologías y resultados de estudios anteriores (Ledesma et al, 2011) en los que demostró, a través de la aplicación de métodos de simulación térmica comparativa para diferentes situaciones de diseño, que es posible mejorar el comportamiento térmico y las condiciones de habitabilidad en las viviendas del interés social manteniendo su costo dentro de los valores de mercado aceptados para este tipo de edificios.

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### *Situación climática:*

Se trabajó sobre un conjunto de 20 unidades de viviendas, del Conjunto Habitacional “Lomas de Taff”, ubicado en el Departamento Tafí Viejo en Tucumán. La localidad de Tafí Viejo, se encuentra ubicada en la zona climática IIB: Cálida con amplitudes térmicas menores 14 °C. Según lo establecido por la Normas IRAM (IRAM, Norma 11603, 2012) “en esta zona, es el verano la estación crítica, con valores de temperatura media mayores que 24 °C y temperatura máxima mayor que 30 °C. El invierno es más seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias comprendidas entre 8 °C y 12 °C”.

En esta localidad, en el verano las temperaturas son muy elevadas, con registros de temperatura media máxima de 32°C y media mínima promedio de 19°C y registros de temperatura máxima absoluta de hasta 42°C. El invierno presenta temperaturas medias máximas promedio de 21 °C y medias mínimas de 7 °C, se registraron valores mínimos absolutos de hasta -2,2°C. En general durante la mayor parte del año las amplitudes térmicas no superan los 14°C, registrándose los mayores valores en el período invernal.

Los valores de humedad relativa se mantienen elevados durante el año, con valores que oscilan entre 60 y 80 %. El valor medio supera el 70%. Las precipitaciones son abundantes durante los meses de verano, alcanzando valores de 200 mm al mes, registrándose entre Diciembre a Marzo valores superiores a 700 mm. El invierno es la estación seca, entre los meses de Mayo a Septiembre no se supera los 15 mm de lluvia caída por mes. Los valores totales anuales son de 930 mm.

Los vientos presentan un comportamiento similar en ambas estaciones. En el verano, las direcciones predominantes son la Sur y Suroeste, con frecuencias de 158 y 153 (escala de 1000), entre ambos alcanzan más de 300 registros. La orientación Norte también presenta registros considerables. Se observa un importante período de calma (322) y bajas velocidades, con valores máximos promedio de 10 Km/h. En invierno, se mantienen las direcciones de los vientos predominantes, adquiriendo relevancia también la orientación Norte. El período de calma es de 396 con una velocidad de 15 Km/h.

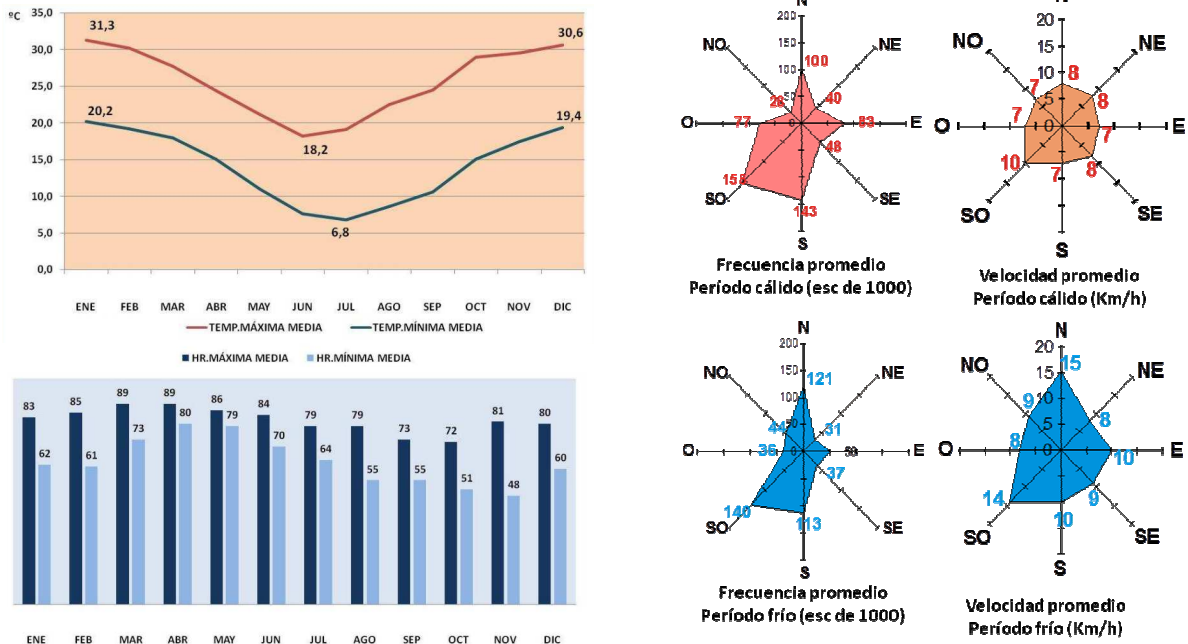


Figura 1: Datos climáticos de la localidad de análisis: temperatura promedio mensual, humedad promedio mensual, frecuencia y velocidad de vientos promedio estacionales.

Las principales estrategias bioclimáticas de diseño recomendables de aplicar, se determinaron con el programa CEEMAESTBIO1000 (Gonzalo, 2003). Para la situación de verano resulta necesario: minimizar las ganancias de calor a través de la envolvente, plantear protecciones solares y aprovechar la ventilación natural para el refrescamiento natural, la que se debe complementar con ventilación mecánica. Para la condición de invierno, estación que no debe dejar de considerarse, se recomienda: aprovechar la radiación solar para la calefacción pasiva de los ambientes y fundamentalmente reducir las pérdidas de calor. En el diagrama de solicitudes térmicas se puede apreciar, un porcentaje similar de necesidades de enfriamiento, como de calefacción (31%), para aproximar los edificios a la situación de confort.

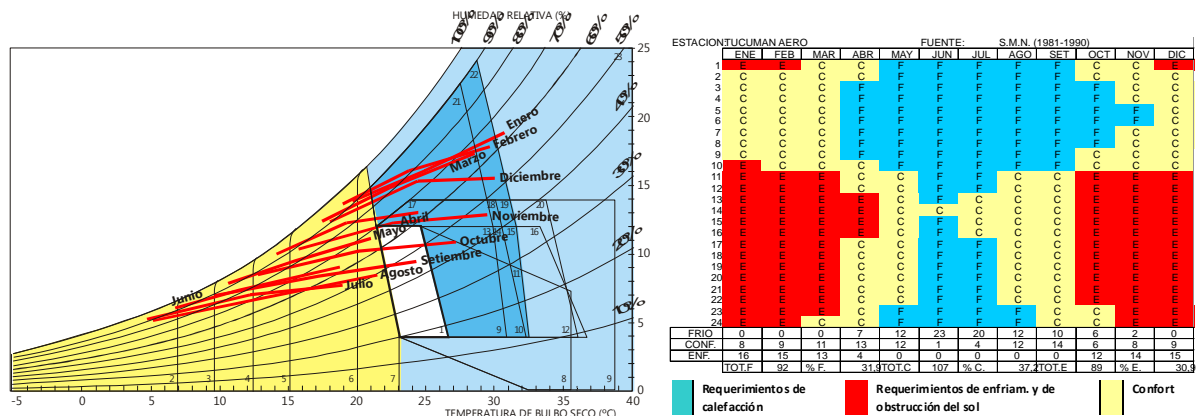


Figura 2: Diagrama psicrométrico con los segmentos mensuales de temperatura y humedad y diagrama de solicitudes térmicas anuales de la localidad de análisis.

El proyecto, plantea la construcción 20 unidades, en un predio ubicado en el Barrio Lomas de Tafi, Departamento Tafi Viejo, Provincia de Tucumán. La manzana presenta lotes de aproximadamente 15 m de frente por 25 m de fondo, ubicados con sus accesos hacia orientaciones intermedias: NO, SE, NE y SO.

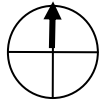


Figura 3: Ubicación del terreno en el Conjunto Habitacional Lomas de Tafí.

*Antecedentes:*

Esta es una primera etapa se realizó la evaluación térmica del prototipo de referencia, el cual corresponde a un diseño convencional de vivienda (Prototipo VP23) proyectado y construido por el IPVyDU en otros sectores del barrio Lomas de Tafí (figura 4).

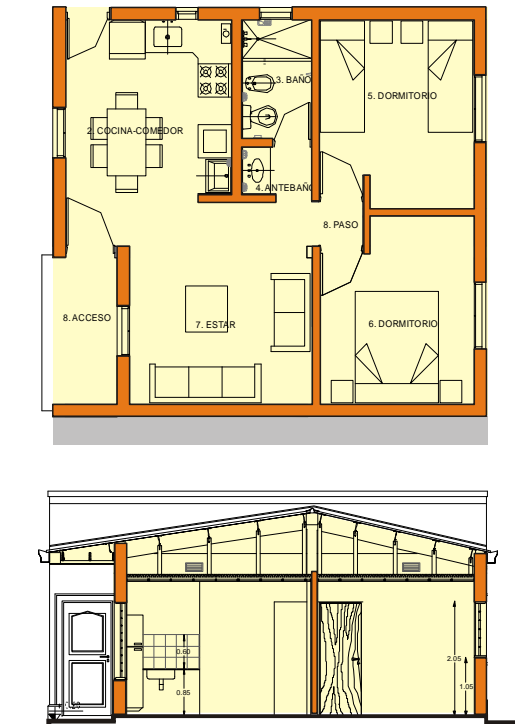


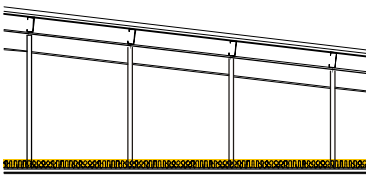
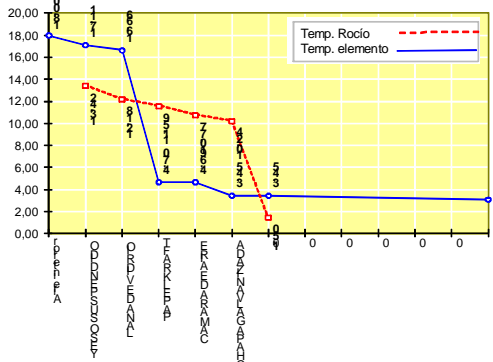
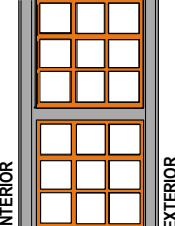
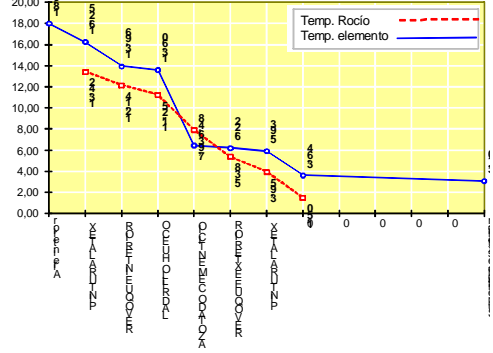
Figura 4: Prototipo de vivienda VP23 del IPVyDU (Prototipo de referencia)

Se analizaron los elementos constructivos de la envolvente de ambos prototipos a partir de los cálculos de transmitancia térmica (K) y la verificación de los valores establecidos por Normas IRAM (IRAM, 1996) para la situación de verano para los niveles de confort mínimo (nivel C) y recomendado (nivel B) con el programa CEEMAKMP.xls (Gonzalo, 2008). Asimismo se llevó a cabo la verificación de riesgo de condensación superficial e intersticial con el programa CEEMACOND.xls. En las tablas 1 y 2 se registran las características de los elementos de la envolvente y los resultados obtenidos para el prototipo de referencia.

Tabla 1: Valores de transmitancia térmica y verificación de valores de Normas del prototipo de referencia.

Elementos constructivos		K calculado		Verificación K - Nivel C			Verificación K - Nivel B		
		Verano	Invierno	Verano 1,80	Invier. 1,85	V.color 2,16	Verano 1,10	Invier. 1,00	V.color 1,32
<b>Cubierta</b>	chapa galv., cámara aire, lana vidrio 2", yeso susp.	<b>0,53</b>	<b>0,57</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Muros</b>	ladrillo cerámico hueco 0,18, revoque int. y ext.	<b>1,52</b>	<b>1,52</b>	SI	SI	SI	NO	NO	NO

Tabla 2: Verificación de riesgo de condensación de cubierta y muros del prototipo de referencia.

Elemento	Cálculos Condensación
<b>Cubierta</b> 	
<b>Presenta riesgo de Condensación</b>	
Superf.	Intersticial
NO	SI
<b>Muros</b> 	
<b>Presenta riesgo de Condensación</b>	
Superf.	Intersticial
NO	SI

A partir de este análisis se pudo observar que si bien muros y cubierta, verifican el cumplimiento de los valores de transmisión térmica normados por IRAM para el nivel C (muros) y niveles B y C (cubierta), ambos presentan riesgo de condensación intersticial.

*Propuesta para el mejoramiento de la envolvente del prototipo convencional:*

En esta etapa del trabajo, se realizó la evaluación térmica del prototipo de referencia (VP23) planteando mejoras en la envolvente, con el objetivo de alcanzar la verificación del Nivel B establecido por Normas IRAM. A fin de definir las soluciones de envolvente más convenientes a adoptar, se calcularon los valores de transmitancia térmica y se verificó el riesgo de condensación superficial e intersticial para dos soluciones constructivas de cubiertas y cuatro de muros. Los resultados se muestran en las tablas 3.

Tabla 3: Valores de transmitancia térmica, verificación de valores de Normas y de riesgo de condensación del prototipo de referencia

Elementos constructivos		K calculado		Verif. K - Nivel C			Verif. K - Nivel B			Presenta riesgo de Condensac.	
		Ver.	Inv.	Ver. 1,80	Inv. 1,85	V.color 2,16	Ver. 1,10	Inv. 1,00	V.color 1,32	Sup.	Inter.
Cubiertas	<b>Alternativa 1</b> chapa galv., lana vidrio 2", cámara aire, lana vidrio 2", yeso susp.	<b>0,3</b>	<b>0,31</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	<b>Alternativa 2</b> chapa galv., lana vidrio 2" c/foil alum., cámara aire, entablonado.	<b>0,42</b>	<b>0,51</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Muros	<b>Alternativa 1</b> ladrillo cerám. hueco 0,18, pol. exp. 2", cámara aire, placa de yeso, tipo durlock	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	<b>Alternativa 2</b> ladrillo cerám. hueco 0,18, pol. exp. 2", lad. ceram. común 0,05, rev. ext.	<b>0,47</b>	<b>0,47</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
	<b>Alternativa 3</b> ladrillo cerám. hueco 0,18, pol. exp. 2", cámara aire, madera.	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
	<b>Alternativa 4</b> ladrillo cerám. hueco 0,18, pol. exp. 2", lad. ceram. hueco 0,08, rev. ext.	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO

Al analizar el coeficiente de transmisión térmica (K) y el riesgo de condensación de las soluciones constructivas, se observa que, si bien todas las cubiertas presentan valores bajos de K, la alternativa de cubierta resuelta con chapa, 2" de lana de vidrio con foil de aluminio y entablonado, resulta la más conveniente, ya que no presenta riesgo de condensación (Alternativa 2).

De las alternativas de muros propuestos, la única no recomendable es la número 1 (con placa de yeso en su cara interna) dado que presenta riesgo de condensación.

A efectos de cuantificar las mejoras en el comportamiento térmico producidas por la modificación de la envolvente, se evaluó el prototipo girado a 90° en todas las direcciones y en diferentes condiciones de cerramiento: a) Cuyos muros verifican el Nivel C y la cubierta el nivel B de IRAM (situación de referencia) y b) Con muros y cubierta que verifican Nivel B: cubierta resuelta con chapa galvanizada, 2" lana vidrio y cámara aire con baja emisividad y muros de ladrillo de cerámico hueco (0,18m), 2" poliestireno expandido, y ladrillo común 0,05, con ambas caras revocadas; los resultados se observan en la tabla 4.

Tabla 4: Cargas térmicas del prototipo de referencia para los niveles C y B de confort y para distintas orientaciones.

		Posición 1		Posición 2		Posición 3		Posición 4	
Elemento	Estación	Nivel C	Nivel B	Nivel C	Nivel B	Nivel C	Nivel B	Nivel C	Nivel B
cubierta	invierno	-2122	-2086	-2122	-2086	-2122	-2086	-2122	-2086
	verano	5299	4199	5299	4199	5299	4199	5299	4199
muros	invierno	-7729	-3327	-8248	-3504	-8219	-3485	-7722	-3490
	verano	11929	5068	11883	5048	11882	4992	11930	5068
ventanas	invierno	2902	2902	1911	1911	2053	2053	2761	2761
	verano	11244	11244	11149	11149	11162	11162	11230	11230
<b>TOTAL INVIERNO</b>		<b>-6949</b>	<b>-2511</b>	<b>-8459</b>	<b>-3679</b>	<b>-8288</b>	<b>-3518</b>	<b>-7083</b>	<b>-2815</b>
<b>TOTAL VERANO</b>		<b>28472</b>	<b>20511</b>	<b>28331</b>	<b>20396</b>	<b>28343</b>	<b>20353</b>	<b>28459</b>	<b>20497</b>

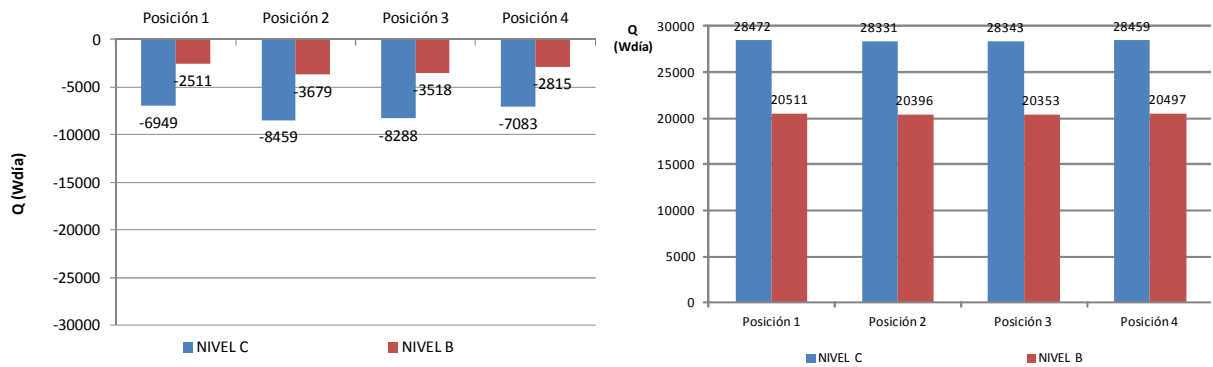


Figura 5: Cargas térmica comparativa de invierno y verano del prototipo de referencia, nivel C y B de confort.

Al analizar los resultados alcanzados se pudo observar una notable mejoría en el comportamiento térmico del prototipo con la envolvente mejorada (Nivel B), con respecto al prototipo con envolvente Nivel C, con una reducción en el orden del 65% en las cargas de calefacción y una reducción del 28% en las cargas de enfriamiento, para la situación mas favorable (posición 1, frente Noroeste). Se entiende que una mayor reducción en las cargas de enfriamiento se lograría al plantear protecciones en las ventanas, ya que el prototipo nivel B presenta también, una elevada ganancia de calor a través de los aventanamientos.

*Propuesta de diseño del prototipo:*

Teniendo en cuenta las condiciones de emplazamiento, se realizó una propuesta de vivienda en la que se aplicaron pautas de adecuación climática. Las viviendas fueron resueltas de manera que en todos los casos los locales principales se enfrenten hacia la orientación NO, favoreciendo las condiciones de asoleamiento y se planteó, además, ventilación cruzada en la mayoría de los ambientes (figuras 6 y 7).

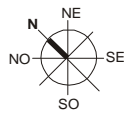
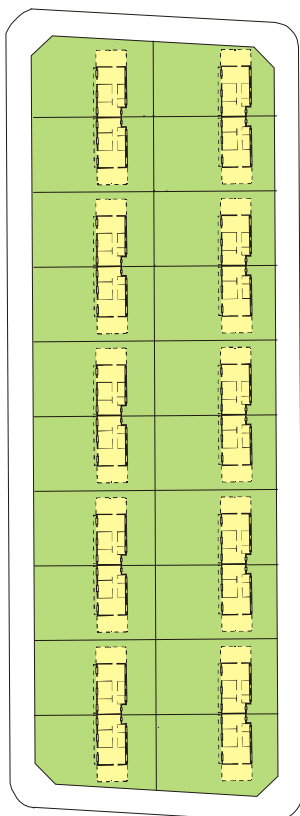


Figura 6: Loteo con la ubicación de la propuesta de vivienda.

Figura 7: Propuesta de vivienda

A fin de definir la resolución más adecuada desde el punto de vista térmico se evaluó el prototipo diseñado para 4 diferentes situaciones:

- Situación 1: Propuesta de vivienda con galería al frente (orientación NO).
- Situación 2: Propuesta de vivienda con galería lateral (orientación SE o NE)

- Situación 3: Propuesta de vivienda con galería lateral y alero al frente (proyección del techo).
- Situación 4: Propuesta de vivienda con galería lateral, alero al frente y postigos en las ventanas.

Para establecer la obstrucción solar de las galerías (al frente y lateral) y del alero se determinó, con los métodos gráficos de los diagramas de visión de bóveda y de trayectoria solar, el período de obstrucción solar tanto en los muros como en los aventanamientos.

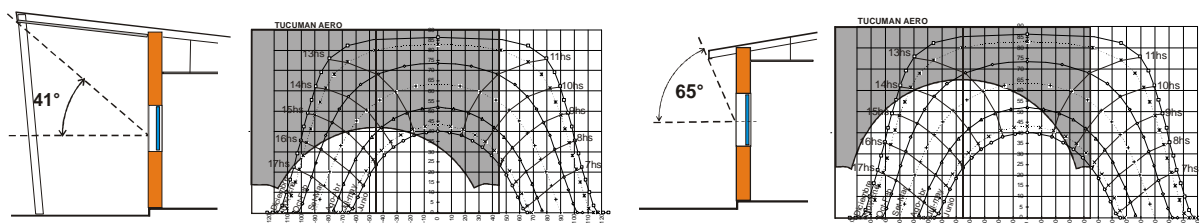

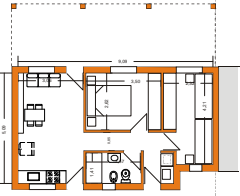


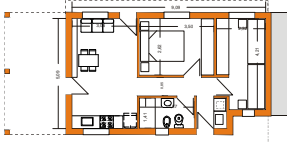


Figura 8: Determinación del período de obstrucción sobre muros considerando galería y alero.

A efectos de valorar las soluciones de diseño más convenientes, se determinaron las cargas térmicas estacionales para las distintas situaciones de análisis. Los resultados se observan en tabla 5 y figura 9.

Tabla 5: Cargas térmicas estacionales para cada situación de análisis.

Situaciones de análisis		Cargas térmicas (Wdía)							
		CUBIERTA		MUROS		VENTANAS		TOTALES	
		Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.
<b>Propuesta vivienda c/ galería al frente</b>		-1228	2802	-2845	3838	540	4713	<b>-3533</b>	<b>11353</b>
<b>Propuesta vivienda c/ galería lateral</b>		-1024	2822	-2763	3856	5295	8840	<b>1508</b>	<b>15518</b>
<b>Propuesta vivienda c/ galería lateral y alero al frente</b>		-1024	2822	-2715	3820	4717	6978	<b>978</b>	<b>13620</b>
<b>Propuesta vivienda c/ galería lateral, alero al frente y postigos</b>		-1024	2822	-2715	3820	5758	1612	<b>2019</b>	<b>8254</b>

Los resultados alcanzados permitieron observar, en la comparación entre el prototipo en referencia (con envolvente mejorada) y las propuestas de vivienda (el cual posee idéntica solución constructiva de su envolvente, un notable mejoramiento en el comportamiento térmico tanto para el verano como para el invierno. (Figura 9).

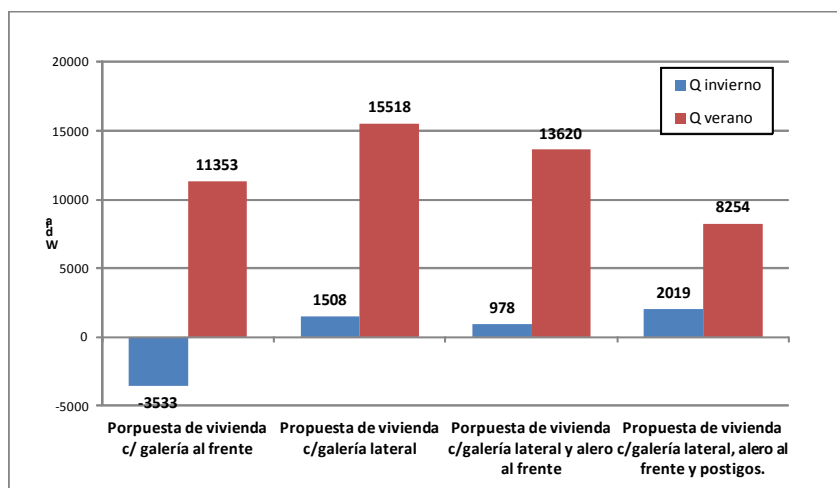


Figura 9: Carga térmica comparativa de las distintas situaciones analizadas de la propuesta de vivienda.

A partir de análisis de las cargas térmicas para calefacción y enfriamiento de las diferentes situaciones analizadas, se pudo observar que, para la situación de aventanamientos sin protección solar, la alternativa que presenta mejor comportamiento térmico global (invierno y verano), es el que posee galería lateral y alero al frente, situación que se mejora aún mas si se colocan postigos en las ventanas.

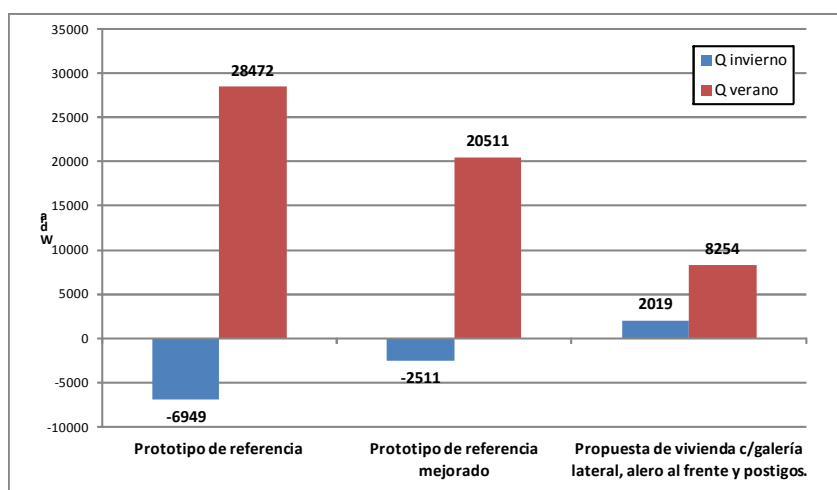


Figura 10: Carga térmica comparativa del prototipo de referencia y de la propuesta de vivienda.

En la figura 10 se puede apreciar las considerables reducciones alcanzadas tanto en las cargas de calefacción como de enfriamiento, al implementar sucesivas mejoras, desde solo modificar la envolvente del prototipo de referencia hasta la implementación de soluciones de diseño bioclimáticos.

Para la situación de invierno se observa que de una pérdida de -6949 Wdía, que presenta el prototipo en referencia, se puede modificar a una ganancia de 2019 Wdía, que presenta la propuesta de vivienda con galería, alero y protección en ventanas, las que favorecerán la calefacción solar pasiva, estrategia básica a implementar para invierno en la localidad en análisis.

De comparar los casos antes mencionados para la situación verano, se observa que se alcanza una reducción de la ganancia de calor de 28.472 Wdía a 8254 Wdía, situación que responde a la estrategia fundamental de “minimizar las ganancias de calor en verano”.

En síntesis puede decirse que la solución mas favorable presenta una notable reducción de los requerimientos energéticos para la calefacción y enfriamiento convencional, acercando la vivienda a mejores condiciones de confort ambiental.

Así también, cabe destacar, que la vivienda propuesta presenta la posibilidad de adaptarse (con algunas modificaciones) a los loteos convencionales que realiza, en algunos casos el IPVyDU, los cuales presentan medidas de 10 m de frente por 30 de fondo, y posibilita el crecimiento de la misma, como puede observarse en las figuras 11 y 12. Las modificaciones consistirían en, manteniendo el doble acceso (según la orientación), ubicar la galería al frente, la que podrá servir de futuro crecimiento del sector social de la vivienda. En caso de tener los lotes orientaciones Norte y Sur (situación más frecuente), las mejoras alcanzadas, en relación al prototipo de referencia, serían aún más notables.



Es importante tener en cuenta que, si bien no es aconsejable, la vivienda propuesta presenta la posibilidad de plantear la galería lateral (o frontal), para una incorporación posterior del usuario, en caso de no estar dentro de los costos iniciales previstos por el IPVyDU.

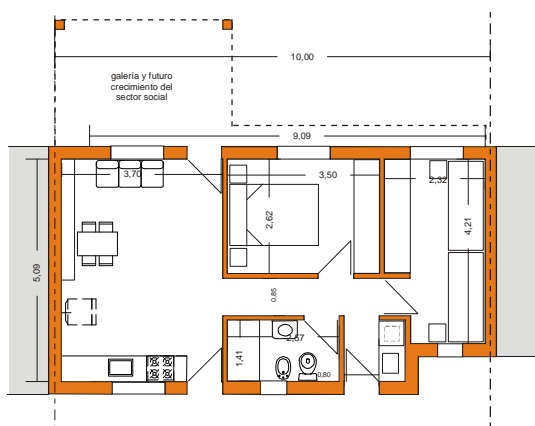


Figura 11: Vivienda propuesta ubicada en lotes convencionales (10m de frente y 30 m de fondo).

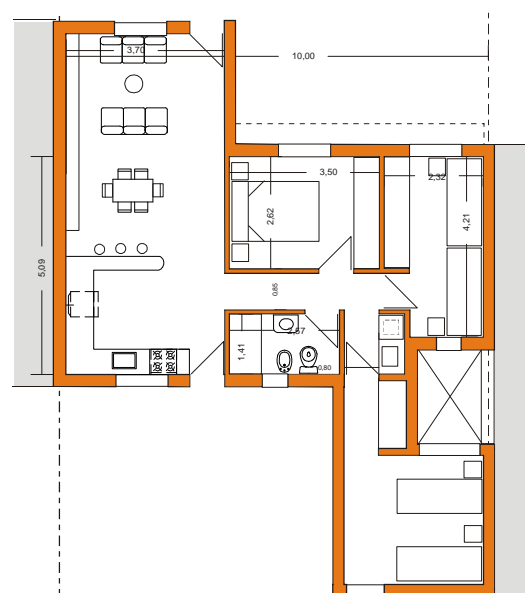


Figura 12: Posible crecimiento de la vivienda ubicada en lotes convencionales.

## CONCLUSIONES

El trabajo conjunto e interdisciplinario en la definición de propuestas de diseño superadoras a las existentes, permite generar modelos y prototipos de viviendas de interés social que, teniendo en cuenta las condiciones de emplazamiento, permiten una adecuación a las características climáticas de la localidad de emplazamiento, de modo tal de lograr una sustentabilidad ambiental para el hábitat social, posible de replicar en diferentes proyectos estatales de viviendas.

Los estudios realizados permitieron verificar que con la aplicación de pautas de diseño bioclimático, es posible alcanzar notables mejorías en el comportamiento energético final de una vivienda de interés social, y que si bien algunas medidas de mejoramiento introducidas en el prototipo pueden implicar un incremento en el costo final de la vivienda, éstos incrementos debieran considerarse, dados que redundarán en la mejora en la calidad de vida de los usuarios y en la disminución del costo energético durante la vida útil de la vivienda.

## REFERENCIAS

- Gonzalo G.E. (2003). "Manual de Arquitectura Bioclimática". 2ª Edición. Ed. CP 67. Buenos Aires.
- Ledesma S.L., Nota V.M., Martínez C.F., Gonzalo G. E., "Diseño sustentable para viviendas de interés social en zona rural de Tucumán". 3er Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra. Pag. 240 a 253. Junio de 2011. Tucumán. Argentina.
- Normas IRAM 11603 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Condiciones de habitabilidad en edificios.
- Normas IRAM 11625 (1991). Acondicionamiento térmico en edificios. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en muros y techos de edificios.

**ABSTRACT:** We present a comparative analysis of energy-environmental behavior of social housing prototypes developed by the Provincial Institute of Housing and Urban Development (IPVyDU) for the province of Tucumán. The work set in an agreement signed with the said agency, is to the definition of prototypical models of houses to suit the climatic condition of the proposed site. From computations and simplified equations, we defined the thermal behavior of the prototypes presented by IPVyDU, also were tested with graphical methods, conditions of sunlight and natural ventilation. From the results, were raised and assessed, excellent design alternatives. The results obtained allow us to quantify the impact on overall building energy performance of different design variables and also transfer to IPVyDU guidelines and recommendations for bioclimatic design.

Keywords: climate - energy - habitability – housing.