

RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS BIOCLIMATICAS EN LA PAMPA. RESULTADOS DE SU COMPORTAMIENTO TERMICO Y ENERGETICO

Filippín, C.¹, Beascochea, A.² y Gorozurreta, J.³

Spinetto 785, 6300 Santa Rosa, La Pampa, Argentina TelFax : 54 2954 434222 E-mail: cvigli@ssdnet.com.ar

RESUMEN En el presente trabajo se describe el diseño y la tecnología de las residencias universitarias bioclimáticas construidas en Santa Rosa, provincia de La Pampa a 36.60°, 64.27° y 189m de latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar, respectivamente. Muestra los resultados del monitoreo térmico y energético para mayo y junio. Se evalúan pérdidas y ganancias energéticas para un día determinado. Se valida la metodología de cálculo empleada para predecir la energía auxiliar requerida para calefaccionar los espacios. Se verifica el bienestar de los usuarios a través del comportamiento higrótérmico de los departamentos.

INTRODUCCION

Valores anuales	Temperatura media máx.	22.6°C
	Temperatura media mín.	9.1°C
	Temperatura media	15.8°C
	Humedad relativa	68%
Temperatura mínima media de Junio		2.6°C
Amplitud térmica de invierno		11.9°C
Temperatura máxima media de Diciembre		30.1°C
Amplitud térmica de verano		14.9°C
Radiación solar media anual sobre superficie horizontal		16.3 MJ/m ²
Grados-día de calefacción base 18°C		1545
Grados-día de enfriamiento base 23°C		128

Las residencias universitarias bioclimáticas están localizadas en la ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa, ubicada en la región Este a 36.60°, 64.27° y 189m de latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar, respectivamente. La Tabla 1 muestra algunos datos climáticos que caracterizan el lugar (Servicio Meteorológico Nacional, 1990). Los valores medios mensuales de temperatura y humedad estarían indicando para Olgay (1963) que sólo diciembre-enero-febrero se encuentran en situación de bienestar. El resto del año los valores se encuentran fuera del área de confort, y por debajo de ella. Volcando los registros de temperatura y humedad (mínima, media y máxima) de marzo, junio, septiembre y diciembre en el bioclimograma de Givoni (1969) se observa que el mayor porcentaje de los registros requieren de correcciones

en el diseño para ingresar a la zona de bienestar. Los valores mínimos de temperatura y máximos de humedad para junio y septiembre necesitan de calentamiento convencional en el edificio para alcanzar el bienestar. Es objetivo general del presente trabajo, evaluar el comportamiento térmico y energético de uno de los bloques de departamentos. Son objetivos específicos, medir el consumo real de gas para calefaccionar los espacios con el fin de ratificar o rectificar las metodologías de cálculo, y evaluar el grado de bienestar de los usuarios.

Diseño ambiental y tecnología

Luego de un estudio de necesidades y antecedentes en el tema y en medios similares al de la UNLPam, se concluyó que era conveniente proyectar departamentos para cuatro estudiantes con el fin de facilitar la convivencia y el control. Para reducir los costos de construcción y mantenimiento, los módulos se agrupan en dos edificios de dos plantas y seis departamentos cada uno, disminuyendo al mínimo indispensable las superficies comunes. La pauta inicial fue diseñar un edificio energéticamente eficiente cuyo costo no debería superar al que correspondería a una obra convencional. Las estrategias de diseño fueron: ganancia directa, masa térmica y buena aislación en la envolvente, iluminación y ventilación natural, y control solar. La disposición interior de los locales permitió que todos ellos, excepto los sanitarios, posean ganancia solar directa al Norte (Fig. 1 y 2). Las áreas transparentes se resolvieron con carpintería de aluminio y doble vidriado hermético, sin protecciones solares exteriores. Se colocaron cortinas interiores de tela tipo black-out. Los aleros permiten el control solar en épocas de mayor radiación que será optimizado con las coberturas vegetales de las pérgolas. El costo de la obra por m², sin adicionales, fue de \$ 372 (u\$s1 = \$1), valor inferior a los costos que maneja el Instituto Provincial Autárquico de la Vivienda de la Provincia de La Pampa para las licitaciones de sus viviendas. La masa térmica está conformada por muros interiores de ladrillo de 0,18m de espesor. La aislación térmica de poliestireno expandido de 0,05m de espesor se protege con ladrillo cerámico en el exterior. La envolvente horizontal está constituida por losa cerámica, barrera de vapor y poliestireno expandido de 0.05m de espesor. Un hormigón de perlita de 0.10m de espesor mejora la resistencia térmica de la cubierta sirviendo de base sólida para la colocación de la membrana hidrófuga. La tabla 2 muestra los indicadores térmicos de la envolvente diseñada.

Tabla 2: Resistencia térmica de la envolvente (m²K/W)

Pared exterior	Cubierta	Fundaciones	Ventanas de aluminio con doble vidriado
1.98	2.19	1.05	0.22

¹ Investigadora de CONICET

² Directora de Arquitectura de la UNLPam

³ Técnico

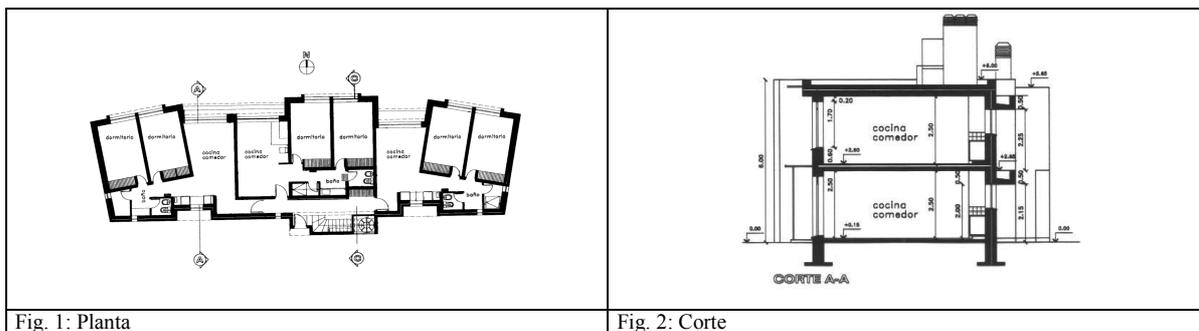


Fig. 1: Planta

Fig. 2: Corte

Diseño térmico

En función de la tecnología adoptada se calculan las pérdidas energéticas del edificio (Tabla 3 y 4). Se calcula la energía auxiliar (Q_h) para satisfacer los requerimientos de una temperatura base de diseño de 18°C en función de una ecuación de balance:

$$Q_h + Q_s + Q_i = (\Sigma AU + 0.33nV) (T_i - T_o), \quad (1)$$

donde: Q_i =ganancias internas, Q_s =aporte solar, ΣAU = pérdidas de calor por transmisión ($W/^\circ C$), $0.33nV$ = pérdida de calor por ventilación ($W/^\circ C$), T_i =temperatura base de diseño ($^\circ C$), T_o =temperatura mínima exterior de diseño ($^\circ C$).

r

Se adopta para el cálculo, un valor promedio mensual de radiación solar para el período invernal, y sobre superficie horizontal, de 8.1 MJ/m², valor que corresponde según Liu y Jordan a 11.87 MJ/m² de radiación solar sobre superficie vertical al Norte. Se adopta una temperatura mínima de diseño de -0.90°C. Se considera para las ganancias internas un valor de 44.5 MJ/persona, valor que involucra, en W y para N=número de personas, la dispersión metabólica (62), calentamiento de agua (16N+25), cocción de alimentos (136), preservación de alimentos (30 [19.47*18-(-0.9)]) = 12.72*11.87+44.5*4+ Q_h a transparente colectora de 12.72 m², la energía auxiliar requerida es de 1.211 de gas natural por día, en función de (1):

Tabla 3: Carga térmica unitaria de los departamentos centrales

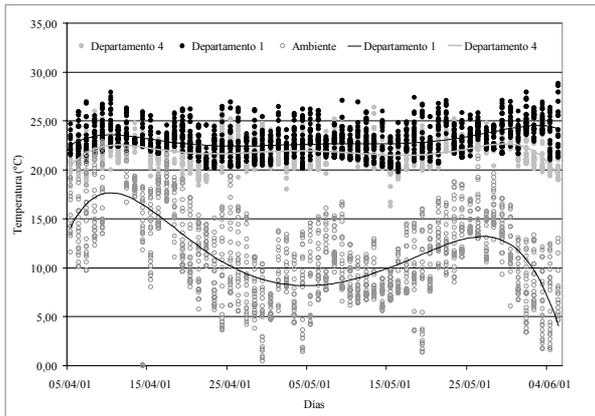
Planta Baja (número 2)					Planta Alta (número 5)				
Componentes de la envolvente	K	Superficie (m ²)	CTU		K	Superficie (m ²)	CTU		
			W/°C	MJ/día/°C			W/°C	MJ/día/°C	
Pared exterior	Con aislación	0.506	6	3.04	0.26	0.506	6	3.04	0.26
	Sin aislación	1.19	13.34	15.87	1.37	1.19	1.19	15.87	1.37
Pared lindera	A espacio calefaccionado	1.69	28.75*0.50	24.30	2.10	1.69	28.75*0.50	24.30	2.10
	A espacio no calef con aislac	0.79	9.5	7.50	0.65	0.79	9.5	7.50	0.65
	A espacio no calef sin aislac	1.69	8.15	13.77	1.19	1.69	8.15	13.77	1.19
Entrepiso	A espacio calef	1.52	54*0.50	41.04	3.54	1.52	54*0.50	41.04	3.54
Cubierta					0.457	54	24.68	2.13	
Ventana	4.6	12.72	58.5	5.05	4.6	11.22	51.6	4.46	
Puerta	6.65	1.60	10.64	0.92	6.65	1.60	10.64	0.92	
Perímetro	0.952*11.8/1+0.952		5.7	0.49					
Infiltración				3.9				3.9	
TOTAL				19.47				20.52	

Tabla 4: Carga térmica unitaria de los departamentos extremos

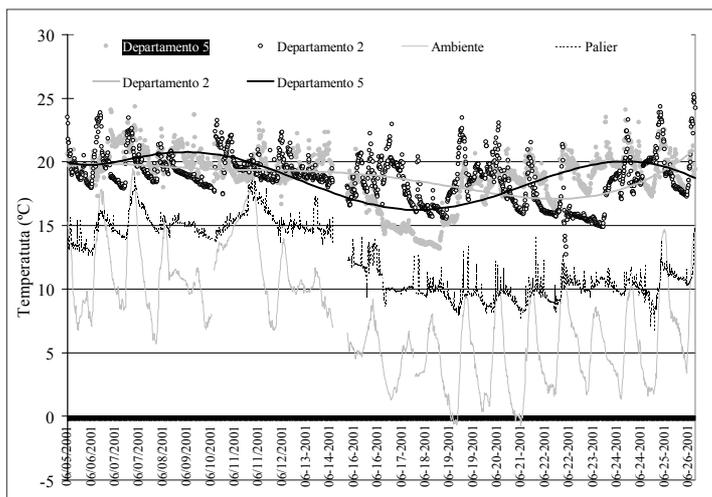
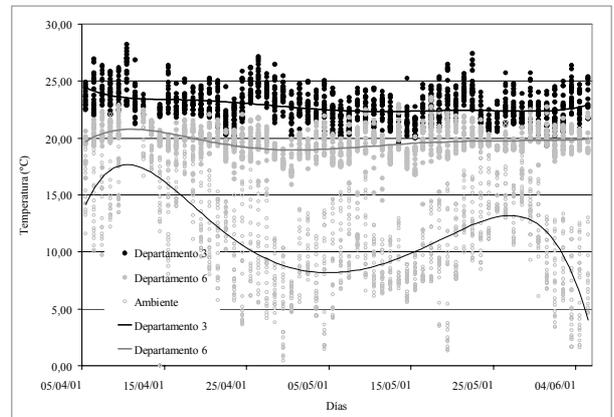
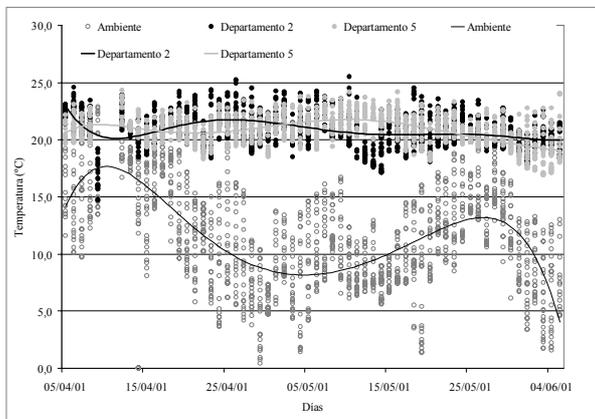
Planta Baja (número 1, Este y 3 Oeste)					Planta Alta (número 4, Este y 6, Oeste)				
Componentes de la envolvente	K	Superficie (m ²)	CTU		K	Superficie (m ²)	CTU		
			W/°C	MJ/día/°C			W/°C	MJ/día/°C	
Pared exterior	Con aislación	0.506	38.75	19.6	1.69	0.506	38.75	19.6	1.69
	Sin aislación	1.19	13.09	15.6	1.35	1.19	1.19	15.6	1.35
Pared lindera	A espacio calefaccionado	1.69	11.25*0.50	9.51	0.82	1.69	11.25*0.50	9.51	0.82
	A espacio no calef sin aisl	1.69	2.9	4.9	0.42	1.69	2.9	4.9	0.42
Entrepiso	A espacio calef	1.52	54*0.50	41.04	3.54	1.52	54*0.50	41.04	3.54
Cubierta					0.457	54	24.68	2.13	
Ventana	4.6	12.72	58.5	5.05	4.6	11.22	51.6	4.46	
Puerta	6.65	1.60	10.64	0.92	6.65	1.60	10.64	0.92	
Perímetro	0.952*25.65+0.952		12.51	1.08					
Infiltración				3.9				3.9	
TOTAL				18.8				19.2	

MONITOREO HIGROTÉRMICO Y ENERGÉTICO

Comportamiento térmico



El 13 de diciembre de 2000 se inicia el monitoreo de uno de los bloques. El equipo de medición consistió en una PC a la cual se conectaron 5 módulos NUDAM, 4 para la conexión de termocuplas tipo T de 8 canales cada uno y uno para señales de tensión. Se midió la radiación solar mediante un sensor Licor ubicado sobre superficie horizontal en la cubierta. Las termocuplas se ubicaron en los comedores de los departamentos, en algunos dormitorios y en superficies interiores y exteriores de muros. Se instalaron Hobos para medir humedad en dos departamentos. Los departamentos se numeran de 1 a 6. Los departamentos 1 a 3 en planta baja, el 1 hacia el Este, el 2 en el centro y el 3 al Oeste. Los departamentos 4 a 6 en planta alta, el 4 hacia el Este, el 5 en el centro y el 6 hacia el Oeste.

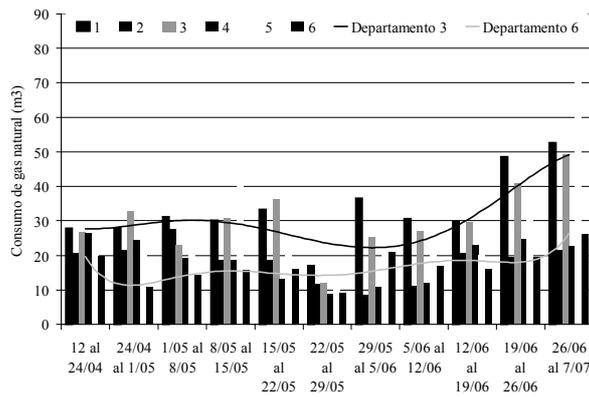
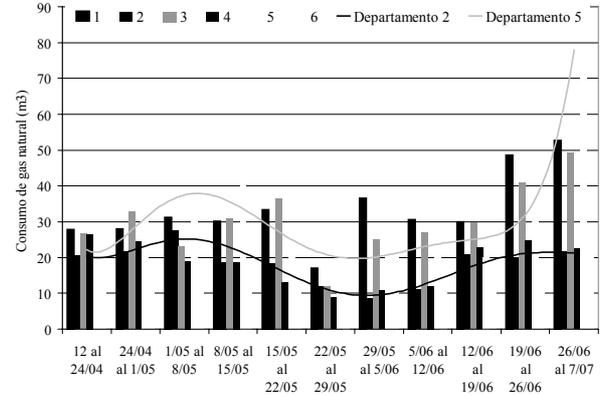
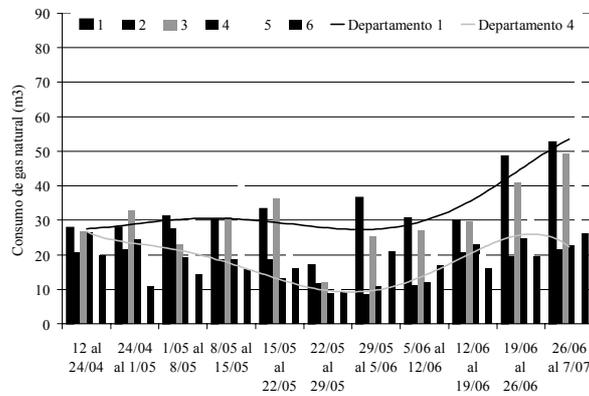


Consumo de gas natural

Con el fin de evaluar el grado de correspondencia entre la evolución de la temperatura interior de cada departamento y el consumo de gas, a partir del 12 de abril de 2001 se realiza la lectura semanal del gas natural consumido por cada departamento. Para realizar un análisis diario del comportamiento térmico y energético se hace una lectura cada dos horas del consumo de gas y se observa la evolución de la temperatura durante el 25 de mayo.

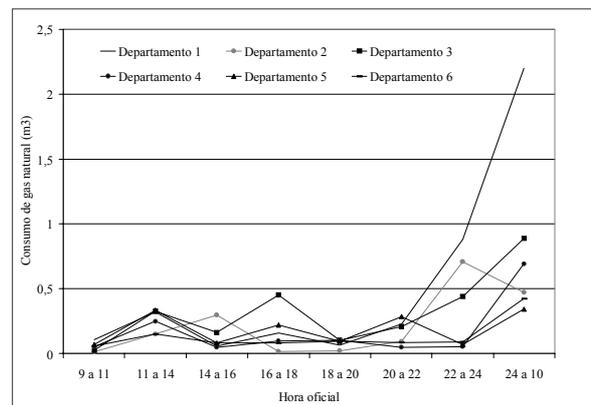
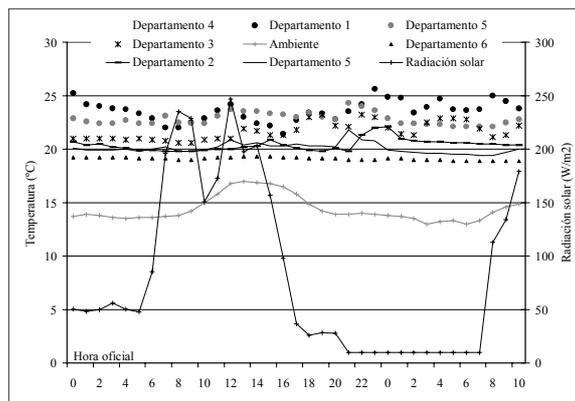
Tabla 4: Consumo semanal de gas natural (m³) para satisfacer la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y la calefacción de los espacios

Dto	12 al 24/04	24/04 al 1/05	1/05 al 8/05	8/05 al 15/05	15/05 al 22/05	22/05 al 29/05	29/05 al 5/06	5/06 al 12/06	12/06 al 18/06	18/06 al 26/06	26/06 al 5/07
1	27.8	27.9	31.1	30.2	33.3	17.1	36.6	30.6	29.5	48.6	52.7
2	20.5	21.6	27.5	18.7	18.4	11.9	8.5	11.1	20.8	19.7	21.6
3	26.8	32.9	23.2	30.8	36.3	12.0	25.2	27.8	29.7	40.8	49.4
4	26.4	24.4	19.1	18.7	13.1	8.8	10.7	11.9	22.9	24.6	22.5
5	22.1	29.9	33.0	41.3	25.7	13.9	26.3	27.7	20.1	34.8	77.5
6	19.7	10.7	14.4	15.7	16.1	8.9	20.9	17.0	16.2	19.6	26.1



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las condiciones del ambiente entre el 5 de abril y 5 de julio fueron muy variables. La temperatura media mensual de abril estuvo por debajo de los valores históricos, con la tercera década caracterizada por la presencia de masas de aire frío. Para el mes de mayo la temperatura del aire mostró que las dos primeras décadas fueron más frías que lo esperado y la tercera década mucho más caliente. El sol se asoció a esta variabilidad que alternó su presencia con la de varios días neblinosos. La tercera década de mayo se caracterizó por la entrada de una importante masa de aire caliente.



La evolución de la temperatura en los seis departamentos muestra que los valores horarios fluctúan casi en su totalidad entre 20 y 25°C (Fig. 3, 4 y 5). En el departamento 1 se observa que la temperatura alcanza los 27°C. El departamento 6 se caracteriza por mantener una temperatura casi estable de alrededor de 20°C. Para el período comprendido entre el 5 de junio y el 5 de julio se observa el acoplamiento térmico entre el departamento 2 en planta baja y el departamento 5 en planta alta,

ambos en el centro del edificio. Los registros muestran además la zonificación térmica entre los departamentos, solarizados y aislados, y el palier, sin ganancia solar directa al Norte y con una envolvente sin aislación térmica (Fig. 6). Respecto a la evolución de la temperatura y el consumo de gas natural para satisfacer las necesidades básicas se observa una importante correspondencia determinada por la necesidad de calentar los espacios con un aumento del fluido consumido en el periodo más riguroso (Tabla 4). Se observa en la tendencia del gas natural consumido en todo el período que a un aumento en el consumo del fluido en los departamentos de planta baja corresponde una disminución en el volumen de fluido usado por los departamentos de planta alta, y viceversa (Fig. 7, 8 y 9). Medida la humedad en los departamentos 3, de planta baja al Oeste y en el departamento 4, de planta alta al Este, el comportamiento higrotérmico indica para el período que el 90% del tiempo los usuarios se encuentran en situación de bienestar.

Tabla 5 : Consumo horario de gas natural (m³) para satisfacer la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y la calefacción de los espacios el día 25 de mayo de 2001

Dto	9 a 11	11 a 14	14 a 16	16 a 18	18 a 20	20 a 22	22 a 24	24 a 10	dia
1	0.104	0.321	0.055	0.159	0.064	0.228	0.879	2.20	4.01
2	0.011	0.152	0.298	0.017	0.019	0.095	0.71	0.473	1.775
3	0.026	0.326	0.161	0.452	0.101	0.206	0.44	0.888	2.6
4	0.051	0.247	0.05	0.096	0.101	0.05	0.052	0.692	1.339
5	0.068	0.332	0.083	0.218	0.092	0.284	0.069	0.342	1.488
6	0.055	0.15	0.083	0.08	0.092	0.086	0.091	0.422	1.059

El día 25 de mayo en particular fue analizado para evaluar las pérdidas y ganancias diarias y cuantificar el consumo de energía auxiliar. El ambiente exterior se caracterizó por una amplitud térmica de 3°C con una temperatura máxima y mínima de 17 y 14°C, respectivamente. La radiación solar diaria sobre superficie horizontal fue de 5,5 MJ/m² con una alta variabilidad. El departamento 6 estuvo desocupado, el departamento 5 ocupado por dos estudiantes y los otros cuatro ocupados por un solo estudiante. La Figura 10 muestra la evolución de la temperatura en los seis departamentos. Las temperaturas interiores varían entre 19 y 25 °C. La temperatura del departamento 6 se mantiene constante en 19°C y la del departamento 1 alcanza los valores más altos llegando hasta 25 °C. En cuanto al consumo de gas natural el departamento 1 y el 6 registran el mayor y el menor volumen de fluido consumido, 4,01 m³ y 1,059 m³, respectivamente. En todos los departamentos el mayor volumen de gas consumido se registra entre las 11 y 14 horas, entre las 16 y 18 horas y entre las 20 y 10 horas (Tabla 5). A partir de las 22 horas el consumo varía para cada departamento. El mayor consumo corresponde, a partir de esta hora, al departamento 1 con 2,20 m³ de fluido consumido por el calefactor encendido al máximo. El departamento 2, 5, y 6 han mantenido en piloto el calefactor durante la noche. El departamento 3 y 4 también mantienen el calefactor en piloto durante la noche y sólo entre las 8 y las 10 horas han encendido el calefactor al máximo (Fig.11). Sintetizando la evolución de la temperatura y el consumo de gas, se observa una correspondencia, a mayor consumo corresponde una mayor temperatura y viceversa. Se analizan para el mismo día las pérdidas y las ganancias a través de los resultados térmicos y energéticos. Según la CTU se calculan las pérdidas reales de energía. De todos los departamentos se presentan en este trabajo sólo los departamentos 1 y 6, ambos en planta alta, al Este y al Oeste, respectivamente. El valor medio de la temperatura ambiente fue de 14.7°C, la radiación global diaria sobre superficie horizontal fue de 5,5 MJ/m² y la temperatura media del palier de ingreso de 16.6 °C.

Tabla 6: Pérdidas del día 25 de mayo de 2001

Componentes de la envolvente		Departamento 4 (Temperatura media: 22.2°C)			Departamento 6 (Temperatura media: 19.1°C)		
		Departamentos lindantes			Departamentos lindantes		
		Departamento 5		Departamento 1	Departamento 5		Departamento 3
		Tem. media: 20.3°C		Tem. media: 23.3°C	Tem. media: 20.3°C		Tem. media: 21.5°C
		CTU	ΔT	Pérdidas (MJ)	CTU	ΔT	
Pared exterior	Con aislación	1.69	22.2-14.7	12.675	1.69	19.1-14.7	7.436
	Sin aislación	1.35	22.2-14.7	10.125	1.35	19.1-14.7	5.94
Pared lindera	A espacio calefaccionado	1.6	22.2-20.3	3.04	No consigna		
	A espacio no calef sin aisl (Palier)	0.42	22.2-16.6	2.352	0.42	19.1-16.6	1.05
Entrepiso	A espacio calef	No consigna			No consigna		
Cubierta		2.13	22.2-14.7	15.975	2.13	19.1-14.7	9.372
Ventana		4.36	22.2-14.7	32.7	4.36	19.1-14.7	19.184
Puerta		0.92	22.2-16.6	5.152	0.92	19.1-14.7	4.048
Infiltración				3.9			3.9
TOTAL				85.9			50.93

La Tabla 6 muestra las pérdidas energéticas para los departamentos analizados según la carga térmica unitaria (CTU), (Tabla 3 y 4). En la Tabla 7 se observan las ganancias energéticas en ambos departamentos. Los departamentos en estudio reciben el aporte energético de planta baja, y el departamento 6 recibe además, el aporte energético del departamento lindero de planta alta. Para calcular el aporte desde planta baja, se considera en MJ la transmitancia térmica a través del entrepiso y a través del muro divisorio entre departamentos. Para el entrepiso de 54 m² y un valor K=1.52 W/m²°C, corresponde un valor de 7.09 MJ de CTU. Para la pared lindera de 11.25 m² y un valor de K=1.69 W/m²°C la CTU alcanza un valor de 1.64 MJ. Las ganancias internas son nulas en el departamento 6 porque estuvo desocupado y al departamento 4 corresponde el aporte de una sola persona con un valor de 25.43 MJ, valor que corresponde, en MJ, a: 4.68 (agua caliente), 11.70 (cocción de alimentos), 3.70 (aplicaciones) y 5.35 (disipación metabólica). En función de los aportes energéticos la energía auxiliar

requerida es de 0.93 y 0.15 m³ para el departamento 4 y 6, respectivamente (Tabla 8). Un consumo diario de 1.339 m³ del departamento 4, discriminado según su uso final, corresponde a: 0.489 m³ para calentar agua (15' encendido el calefón), 0.20 m³ para el encendido de dos hornallas y 0.784 m³ para satisfacer el consumo de 1 hora de calefactor al máximo y 9 horas de piloto. Para el departamento 6, desocupado, el consumo de 1.059 m³ para el día 25 de mayo corresponde al consumo del piloto del calefón y del calefactor durante las 24 horas. Los resultados se observan en la Tabla 9. El análisis permite ratificar la metodología de cálculo de las pérdidas energéticas con el fin de estimar la energía auxiliar, método que predecía para el período invernal un consumo promedio diario de 1.2 m³. Para la misma situación climática una vivienda calidad FONAVI con 4 usuarios consume diariamente, y en promedio, 5.8m³ (Empresa Distribuidora de Gas Pampeña, 2000). Todos los datos fueron corroborados con un cuestionario realizado a los usuarios.

Tabla 7 : Ganancias del día 25 de mayo de 2001

Departamento 4					Departamento 6								
Aporte desde dtos. linderos CTU*ΔT	Aporte solar				Aporte desde dtos. linderos CTU*ΔT	Aporte solar							
	Radiación solar s/sup. vertical	Area efectiva	K	Total		Radiación solar s/sup. vertical	Area efectiva	K	Total				
	Angulo	MJ/m ²	(m2)			Angulo	MJ/m ²	(m2)					
Desde dto1	170	4.63	4.47	0.7	14.49	Desde dto. 3	170	4.63	4.47	0.7	14.49		
7.09*1.1	7.8	180	4.65	3.11	0.7	10.12	7.09*2.4	17.016	180	4.65	3.11	0.7	10.12
						Desde dto. 5							
						1.06*1.2	1.97						
Total	7.8	Total		24.6		Total	18.986	Total		24.6			

Tabla 8: Energía auxiliar requerida en m³

Departamento evaluado	Pérdida diaria (MJ)	Aporte diario (MJ)				energía auxiliar	
		solar	desde departamento lindero	interno	MJ	m ³	
Departamento 4	85.9	24.6	7.8	25.43	28.07	0.75	
Departamento 6	50.93	24.6	18.986	0	7.34	0.20	

Tabla 9 : Consumo real de gas y participación del consumo del equipamiento

Departamento evaluado	Energía auxiliar estimada según pérdidas	Consumo real de gas (m ³)		Consumo de gas natural por artefacto (m3)			
		Total registrado en medidor	Total (cocina+calefón +calefactor)	Cocina	Calefón	Calefactor	
							Total
Departamento 4	0.75	1.339	1.3438	0.098 (1 hora de hornalla)	0.326 (10 minutos de calefón)	0.0211*8=0.1688 (piloto) 0.27*2=0.54 (máximo)	0.71
Departamento 6	0.20	1.059	1.012	0	0.2211*24=0.506 (piloto)	0.2211*24=0.506 (piloto)	0.506

CONCLUSIONES

El trabajo ha permitido : *conocer la respuesta térmica de cada departamento frente a diferentes condiciones ambientales, * evaluar el consumo de energía de cada departamento en forma semanal y diaria, *realizar un balance energético con datos reales , *observar los hábitos de cada usuario respecto al uso de los calefactores, * ratificar los beneficios del sistema solar para atenuar las condiciones ambientales adversas,* validar la metodología de cálculo de pérdidas a través de la carga térmica unitaria.

REFERENCIAS

- Anderson, B., Clark,A., Baldwin, R, and Milbank, O.,, 1985, BREDEM-BRE Donestic Energy Model, Building Research Establishment,Garston
 Empresa Distribuidora de Gas Pampeana. (Estadísticas sin publicar)
 Fuerza Aérea Argentina, Comando de Regiones Aéreas, Servicio Meteorológico Nacional, 1992, Estadísticas climatológicas 1981-1990,Buenos Aiores, Argentina.
 Givoni, B., 1969, Man, Climate an Architecture, Elsevier Publishing Company Limited, England
 Olgyay,V., 1963, Design with climate, Pricenton University Press, New Jersey.

A BIOCLIMATIC UNIVERSITY BUILDING IN THE CENTRAL PAMPAS OF ARGENTINA: THERMAL AND ENERGY BEHAVIOUR

We describe the behaviour of a bioclimatic university building in response to its passive-design technology. Dwellings are located in Santa Rosa (36.60°, 64.27° of latitude and longitude, respectively; and 189 m on the sea level), capital city of La Pampa province, in central Argentina. Through a thermal and energy monitoring process during the critical cold months of May and June, energy gains and losses for a particular day were assessed. The method to estimate and predict the necessary auxiliary energy to heat the building was validated. The thermal comfort of dwellers was verified by means of the hightothermal behaviour of individual apartements.