

# EVALUACION DEL AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN FUNCION DE LA AISLACION DE LA ENVOLVENTE

Vicente Leonardo Volantino, Edgar Jorge Cornejo

División Habitabilidad Higrotérmica, Depto. de Construcciones, INTI

Av. Gral. Paz e/ Constituyentes y Albarellos, Casilla de correo 157 (1650) San Martín

Tel.: 754-4141 al 44 int. 500, Directo y fax: 753-5784

## RESUMEN

Este trabajo consistió en evaluar el ahorro del consumo de energía en función de la variación de la aislación de la envolvente, para lo cual fueron medidas las temperaturas superficiales y del aire, los flujos de calor y la energía consumida para mantener la temperatura del aire interior constante en 20°C. La aislación total se dividió en 6 etapas para tener distintos valores de G y corresponderlos con la energía consumida y la temperatura exterior. Mediante regresiones lineales se pudo confeccionar una tabla donde se estipula la relación costo-beneficio.

## INTRODUCCION:

Ha surgido como inquietud de una empresa distribuidora de energía eléctrica, la necesidad de optimizar los consumos domiciliarios haciendo uso racional de la misma, debido a que están obligados a sobredimensionar los cables de distribución, con la consiguiente salida de servicio por sobrecargas en la instalación. Es por ello que se planteó la necesidad de evaluar y cuantificar el ahorro en el consumo de energía, cuando se aumenta la aislación térmica y por ende, se disminuye la transmitancia térmica de la envolvente. Para tal fin, se efectuaron determinaciones en un prototipo de vivienda existente en el Parque Tecnológico Miguelete, que se halla instrumentado para medir variables ambientales.

## DESCRIPCION DEL LOCAL BAJO MEDICION:

El prototipo de vivienda utilizado como elemento de ensayo, está compuesto por dos módulos tridimensionales y posee una superficie total de 40,62 m<sup>2</sup>. Los módulos se dividen en estar-comedor y núcleo húmedo (cocina baño) uno de ellos, y en dos dormitorios el otro. El cerramiento exterior del sistema constructivo está constituido por grandes paneles de dimensiones variables de hormigón premoldeados en fábrica, vibrados y curados a vapor. El espesor total del panel es de,10 m y se compone de un capa exterior de 0,01 m de espesor de mortero de cemento y otra de 0,09 m de hormigón de piedra partida, con su respectiva armadura. Los paneles exteriores tienen un espesor de 0,07 m y su composición es homogénea de hormigón de piedra partida igual al anterior, con una terminación alisada en ambas caras. Las losas que conforman el techo son de 0,13 m de espesor. Están compuestas por tres capas: dos externas de hormigón armado de 0,04 m de espesor y el núcleo de poliestireno expandido de 0,05 m de espesor. Sobre la

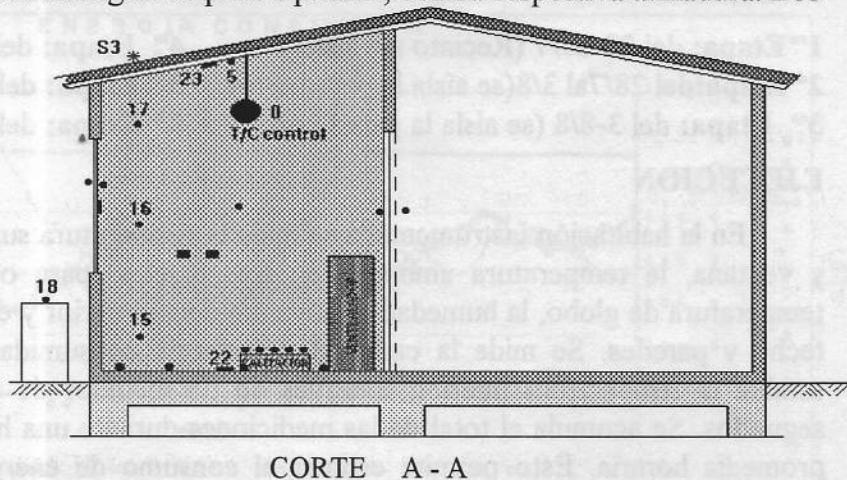


Figura 1a. Corte A-A del prototipo de vivienda y ubicación de los sensores.

## Nota Técnica.

cara superior de la losa se encuentra un alisado de mortero de cemento con agregado hidrófugo, cubierta con tejas de tipo colonial. El piso es una losa de hormigón de piedra de 0,10 m, con terminación de baldosa plástica y se halla apoyado sobre losetas de hormigón prefabricado de alta resistencia, distribuidas de tres en tres sobre el terreno natural. El recinto bajo medición (dormitorio) se encuentra con paredes externas orientadas al Este y al Norte. Esta última tiene una ventana de abrir común compuesta por carpintería de madera, vidrio común incoloro y postigos externos de abrir tipo veneciano de madera. El marco se halla moldeado con el mismo material del panel.

La superficie de aventanamiento es de 0,90 m<sup>2</sup>. Sobre el tabique interior opuesto a la pared externa norte se halla el acceso al dormitorio en puerta placa de madera. Teniendo este prototipo de vivienda como modelo, se lo instrumentó de manera tal de poder medir las variables necesarias para determinar el balance energético y el coeficiente volumétrico de pérdida de calor G. En las Figuras 1a y 1b, se muestra la distribución de los sensores de medición según una vista en corte y una vista en planta respectivamente.

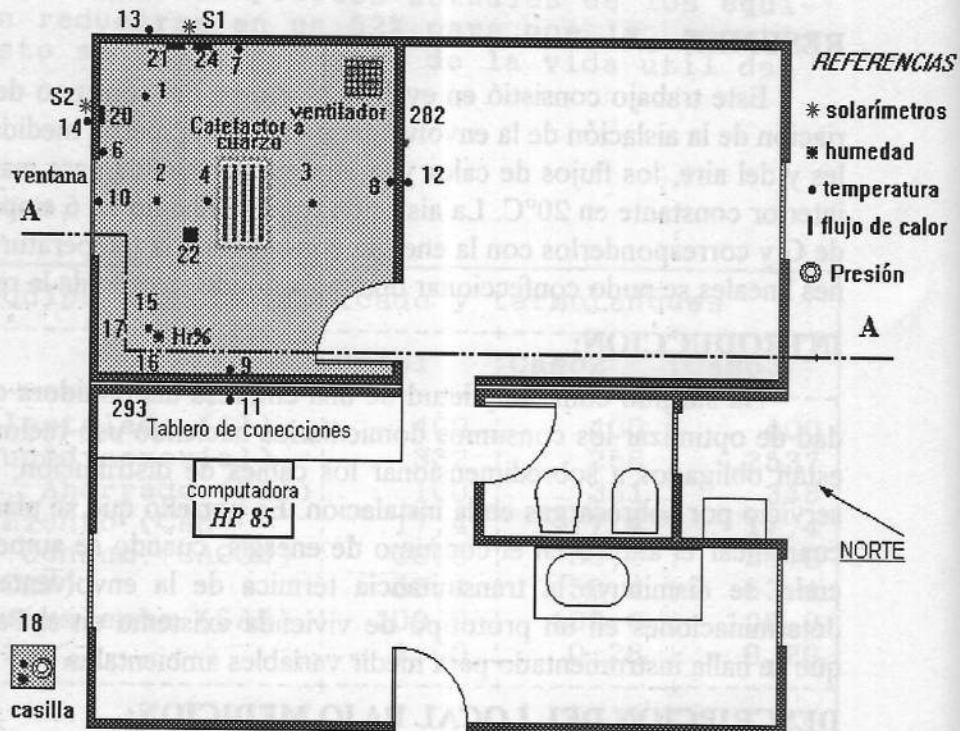


Figura 1b - Vista en planta del prototipo de vivienda y ubicación de los sensores.

## PREPARACION

Se estableció un plan de mediciones con distintas configuraciones en la envolvente, con el objeto de tener distintos valores de G [1]. Tal como se puede observar en el siguiente detalle; donde se establecieron dos formas de convección natural y forzada, para cada etapa:

- |   |  |
|---|--|
| 1 <sup>ra</sup> Etapa: del 22-27/7 (Recinto sin aislar).        | 4 <sup>ta</sup> Etapa: del 9-14/8 (se aísla la ventana). |
| 2 <sup>da</sup> Etapa: del 28/7 al 3/8 (se aísla la pared este) | 5 <sup>ta</sup> Etapa: del 16-18/8 (se aísla el techo).  |
| 3 <sup>ra</sup> Etapa: del 3-8/8 (se aísla la pared norte).     | 6 <sup>ta</sup> Etapa: del 25-29/8 (se aísla el piso).   |

## EJECUCION

En la habitación instrumentada se mide la temperatura superficial de paredes, techo, piso y ventana, la temperatura ambiente en tres niveles (para observar la estratificación) y la temperatura de globo, la humedad relativa ambiente interior y el flujo de calor a través de piso, techo y paredes. Se mide la cantidad de energía consumida en calefacción para mantener estable la temperatura interior, a través de un medidor de energía que muestrea cada 20 segundos. Se acumula el total de las mediciones durante una hora determinándose la potencia promedio horaria. Esto permite estimar el consumo de energía respecto de la temperatura ambiente exterior y el coeficiente volumétrico de pérdida. La cantidad de aire a tratar está determinada por el volumen del recinto que es de 20 m<sup>3</sup>. Se utilizaron dos métodos de transmisión de calor, por convección natural y por convección forzada. Se midió la velocidad del aire interior con anemómetro digital sobre las superficies interiores del local, hallándose comprendida entre 0.09 m/s (piso) y 0.52 m/s (cielorraso). La toma de adquisición de datos fueron hechas a

través de un programa implementado con un sistema Hewlet-Packard que permite muestrear todas la señales cada 20 segundos, luego se efectuó el promedio en la hora, de las temperaturas ambientales y superficiales, los flujos de calor en las paredes a estudiar, las humedades relativas interior y exterior, la radiación solar en los distintos planos de la envolvente y la energía consumida en la hora. Cada ciclo de medición se efectuó en forma independiente consignándose los valores de manera tal de poder ser analizados por separado, aún para los distintos casos de convección empleados. En las figuras siguientes, se pueden observar los datos obtenidos en la primera etapa (prototipo de vivienda sin aislar). En la Figura 2 se presenta la evolución de la radiación solar incidente en el plano horizontal y la velocidad de viento promedio diurna y nocturna durante el período que transcurrió la etapa. En la Figura 3 se puede observar la evolución de las temperaturas superficiales y el flujo de calor que permitieron determinar la conductancia térmica de la pared analizada.

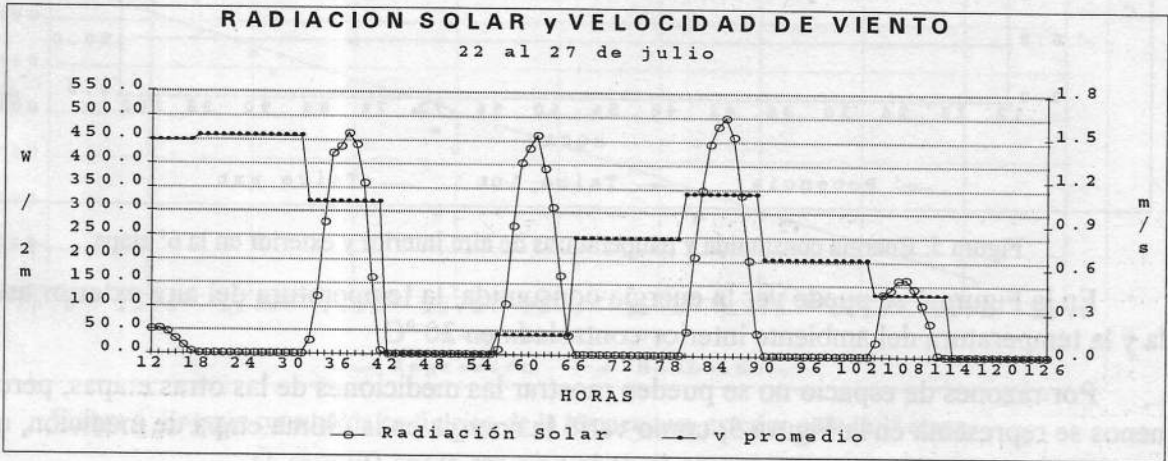


Figura 2. Radiación solar y velocidad de viento en la 1º etapa

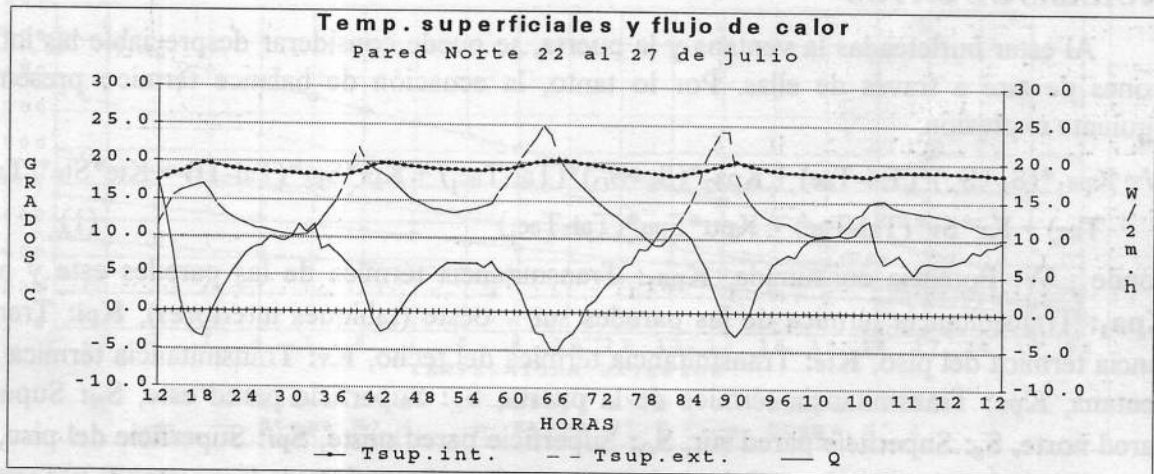


Figura 3. Temperatura superficial exterior e interior y flujo de calor en la 1º etapa

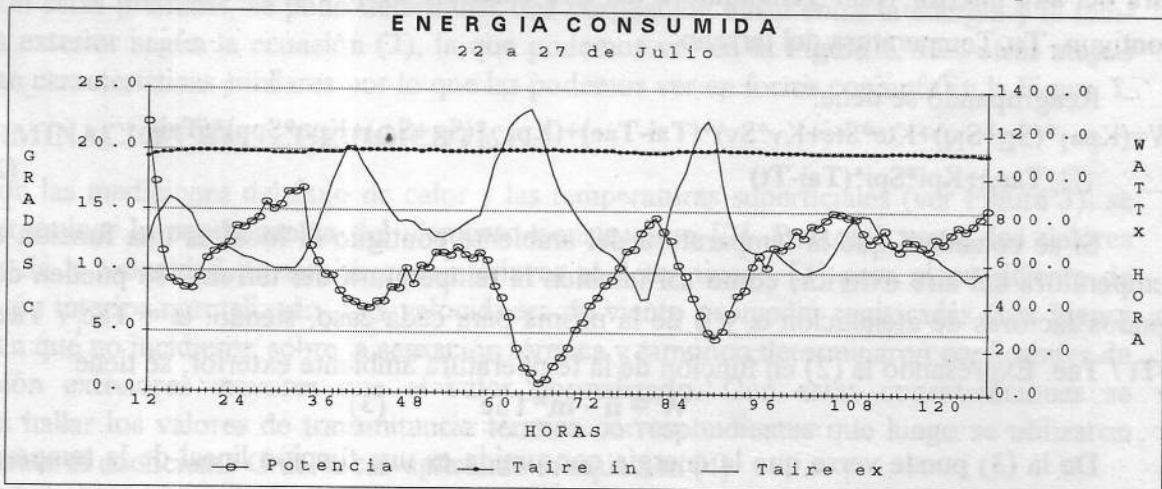


Figura 4 Energía consumida y temperaturas de aire interior y exterior en la 1º etapa

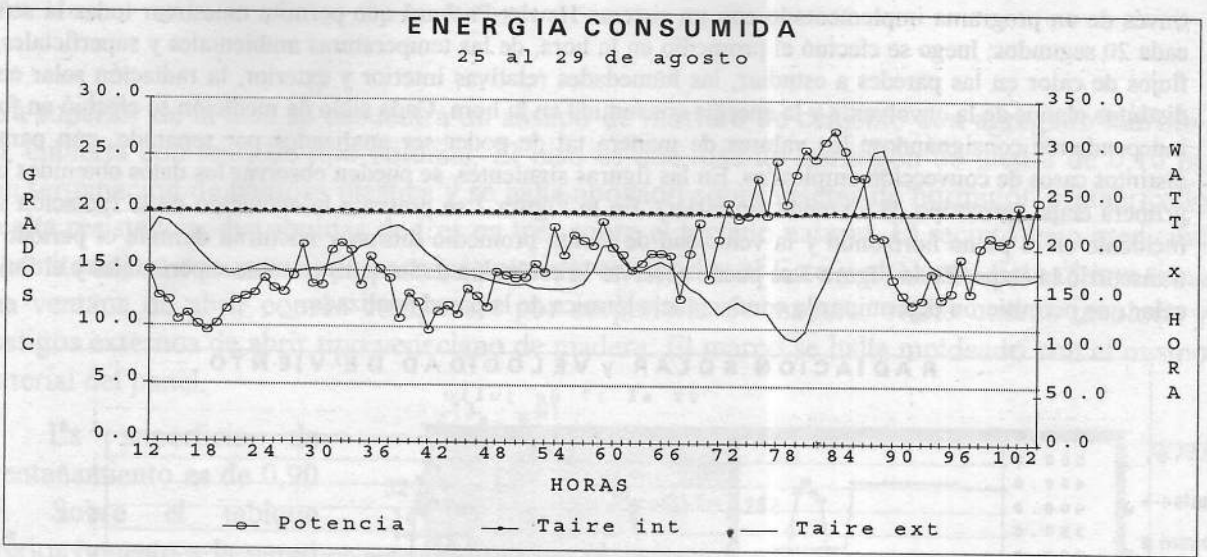


Figura 5. Energía consumida y temperaturas de aire interior y exterior en la 6ª etapa

En la Figura 4 se puede ver la energía consumida, la temperatura del aire exterior asociada y la temperatura del ambiente interior controlada en 20 °C.

Por razones de espacio no se pueden mostrar las mediciones de las otras etapas, pero al menos se representa en la Figura 5, como varió la energía en la última etapa de medición, que permite efectuar una comparación con la de la primera etapa (Figura 4).

### ANÁLISIS DE DATOS

Al estar burleteadas la ventana y la puerta, se puede considerar despreciable las infiltraciones de aire a través de ellas. Por lo tanto, la ecuación de balance térmico presenta la siguiente expresión:

$$W = Kpa_1 \cdot (S_E + S_N) \cdot (T_{ai} - T_{ae}) + Kpa_2 \cdot (S_S + S_O) \cdot (T_{ai} - T_{ae_i}) + Kpi \cdot Spi \cdot (T_{ai} - T_t) + Kte \cdot Ste \cdot (T_{ai} - T_{ae}) + Kv \cdot Sv \cdot (T_{ai} - T_{ae}) + Kpu \cdot Spu \cdot (T_{ai} - T_{ae_i}) \quad (1)$$

donde : **W**: Potencia consumida, **Kpa<sub>1</sub>**: Transmitancia térmica de las paredes este y norte, **Kpa<sub>2</sub>**: Transmitancia térmica de las paredes sur y oeste (tabiques interiores), **Kpi**: Transmitancia térmica del piso, **Kte**: Transmitancia térmica del techo, **Kv**: Transmitancia térmica de la ventana, **Kpu**: Transmitancia térmica de la puerta, **S<sub>E</sub>**: Superficie pared este, **S<sub>N</sub>**: Superficie pared norte, **S<sub>S</sub>**: Superficie pared sur, **S<sub>O</sub>**: Superficie pared oeste, **Sp<sub>i</sub>**: Superficie del piso, **St<sub>e</sub>**: Superficie del techo, **Sv**: Superficie de la ventana, **Spu**: Superficie de la puerta, **T<sub>ai</sub>**: Temperatura del aire interior, **T<sub>ae</sub>**: Temperatura del aire exterior, **T<sub>ae<sub>i</sub></sub>**: Temperatura del aire en local contiguo, **T<sub>t</sub>**: Temperatura del terreno.

Reagrupando se tiene:

$$W = (Kpa_1 \cdot (S_E + S_N) + Kte \cdot Ste + Kv \cdot Sv) \cdot (T_{ai} - T_{ae}) + (Kpa_2 \cdot (S_S + S_O) + Kpu \cdot Spu) \cdot (T_{ai} - T_{ae_i}) + Kpi \cdot Spi \cdot (T_{ai} - T_t) \quad (2)$$

Si se considera que la temperatura del ambiente contiguo al local es una función de la temperatura del aire exterior, como así también la temperatura del terreno, se pueden definir sendos factores de atenuación  $\alpha$  y  $\beta$  de la misma para cada caso, siendo:  $\alpha = T_{ae_i} / T_{ae}$  y  $\beta = T_t / T_{ae}$ . Expresando la (2) en función de la temperatura ambiente exterior, se tiene:

$$W = n - m \cdot T_{ae} \quad (3)$$

De la (3) puede verse que la energía consumida es una función lineal de la temperatura ambiente exterior. Como se observa en la Figura 4, existe un cierto desfasaje entre la temperatura ambiente exterior y la energía consumida; esto es perfectamente explicable dada la inercia térmica del sistema, la que se podría obviar si ponemos en fase a ambas señales. Además fue

determinada en un trabajo anterior presentado en ASADES [2], donde el desfase era aproximadamente de 3 horas. Otra consideración importante a tomar en cuenta es la utilización para nuestro análisis de sólo las horas nocturnas, para no considerar los efectos de la radiación solar incidente. Tampoco se utilizaron los ciclos de convección natural, debido a que había mucha dispersión de temperatura en todo el volumen de la habitación, para lo cual era necesario la utilización de una cantidad mayor de sensores, los que para esta oportunidad no se contaban.

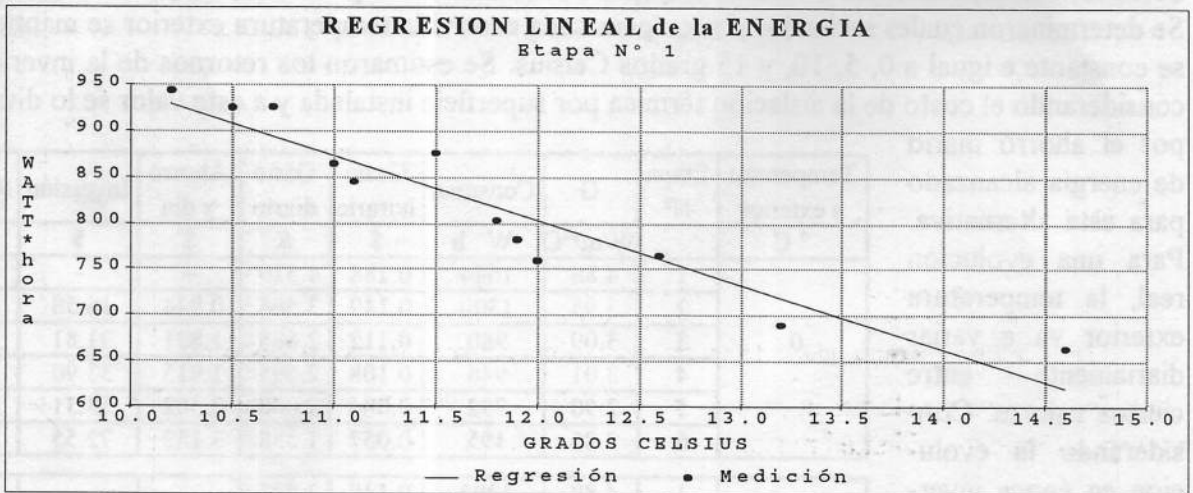


Figura 6. Energía consumida en función de la temperatura exterior para la 1° etapa.

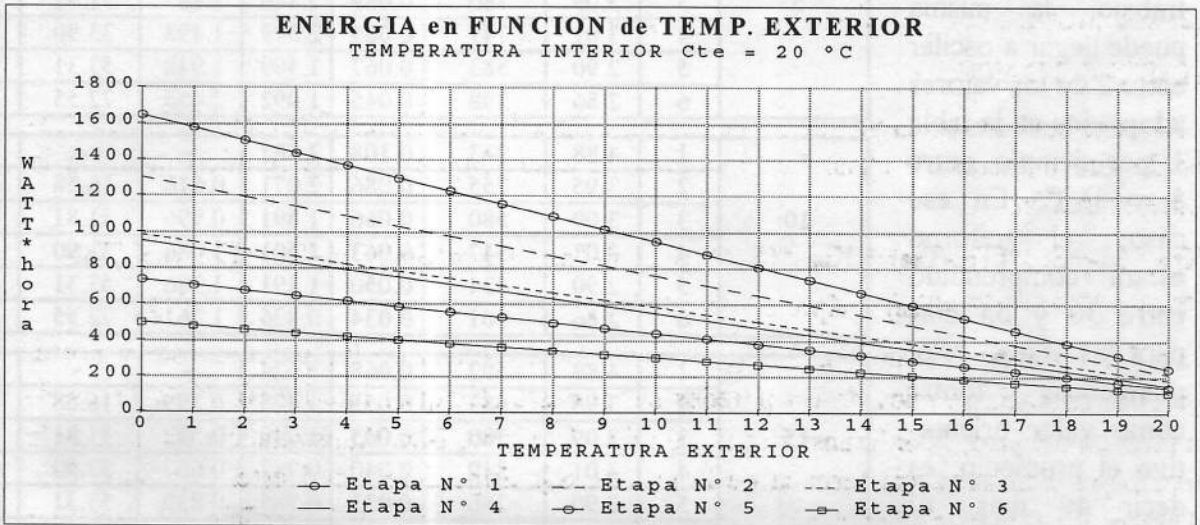


Figura 7. Energía consumida en función de la temperatura exterior para la 1° etapa.

Con estas premisas, se pudo determinar una correlación lineal entre la energía y la temperatura exterior según la ecuación (3), la que podemos ver en la Figura 6. Las otras etapas presentan características similares por lo que las podemos ver en forma conjunta en la Figura 7.

### DETERMINACION DEL COEFICIENTE G.

Con las mediciones del flujo de calor y las temperaturas superficiales (ver Figura 3), se pudo determinar la conductancia del elemento constructivo [2]. Por otra parte, los valores medidos de la velocidad de aire fueron inferiores al determinado [3] para el coeficiente de convección interior normalizado. Las velocidades de viento promedio registradas (ver Figura 2) indican que no incidieron sobre la sensación térmica y tampoco determinaron coeficientes de convección exteriores mayores que el valor normalizado. Con estas consideraciones se pudieron hallar los valores de transmitancia térmica correspondientes que luego se utilizaron para obtener el coeficiente G del local. aplicando la ecuación (4)

$$G = \frac{\sum K_i * S_i}{V} \quad (4)$$

## CONCLUSIONES

A partir de las mediciones efectuadas, se obtuvieron los valores de G para cada etapa, como así también el consumo de energía correspondiente. Esto permitió confeccionar la tabla final donde se hace una correlación entre costo y beneficio de la aislación térmica utilizada. El costo del metro cuadrado del aislante utilizado fue de \$2,33 y se consideró el precio del kW.h en \$0,1143, correspondientes a valores tomados de la facturación para el conurbano bonaerense. Se determinaron cuales serían los costos para cada caso si la temperatura exterior se mantuviese constante e igual a 0, 5, 10, y 15 grados Celsius. Se estimaron los retornos de la inversión, considerando el costo de la aislación térmica por superficie instalada y a este valor se lo dividió por el ahorro diario de energía alcanzado para esta alternativa. Para una evolución real, la temperatura exterior va a variar diariamente entre ciertos valores. Considerando la evolución en época invernal, como en este trabajo, la misma puede llegar a oscilar entre 2 de los valores adoptados en la tabla 1, por ejemplo, entre 5 y 15°C. En ese caso, el retorno estará comprendido entre 30 y 68 días para las etapas N°6, pudiéndose tomar como valor orientativo el promedio, es decir 49 días. El retorno de la inversión calculado en días que aparece en la Tabla 1 se obtuvo considerando una calefacción ininterrumpida de 24 horas. Para una situación diferente a esta habrá que afectar a los valores de la mencionada columna por un coeficiente que resulta de dividir la cantidad de horas de calefacción por 24 horas

Temperatura exterior	Etapas N°	G	Consumo	Gasto horario	Gasto diario	Ahorro x día	Inversión	Retorno
° C		W/m <sup>3</sup> °C	W . h	\$	\$	\$	\$	días
0	1	4.88	1644	0.188	4.510	-	-	-
	2	3.95	1300	0.149	3.566	0.944	16.58	18
	3	3.09	980	0.112	2.688	1.821	31.81	17
	4	3.01	946	0.108	2.595	1.915	33.90	18
	5	2.90	732	0.084	2.008	2.502	53.31	21
	6	2.86	495	0.057	1.358	3.152	72.55	23
5	1	4.88	1293	0.148	3.547	-	-	-
	2	3.95	1028	0.118	2.820	0.727	16.58	23
	3	3.09	780	0.089	2.140	1.407	31.81	23
	4	3.01	747	0.085	2.049	1.498	33.90	23
	5	2.90	583	0.067	1.599	1.948	53.31	27
	6	2.86	398	0.045	1.092	2.455	72.55	30
10	1	4.88	943	0.108	2.587	-	-	-
	2	3.95	755	0.086	2.071	0.516	16.58	32
	3	3.09	580	0.066	1.591	0.996	31.81	32
	4	3.01	547	0.063	1.501	1.086	33.90	31
	5	2.90	434	0.050	1.191	1.396	53.31	38
	6	2.86	301	0.034	0.826	1.761	72.55	41
15	1	4.88	592	0.068	1.624	-	-	-
	2	3.95	483	0.055	1.325	0.299	16.58	55
	3	3.09	380	0.043	1.042	0.582	31.81	55
	4	3.01	349	0.040	0.957	0.667	33.90	51
	5	2.90	286	0.033	0.785	0.839	53.31	64
	6	2.86	204	0.023	0.560	1.064	72.55	68

Tabla 1. Retorno de la inversión según la temperatura exterior y para cada etapa.

## REFERENCIAS

- [1] IRAM 11604. Acondicionamiento térmico de edificios. Ahorro de energía en calefacción. Coeficientes volumétricos G máximos admisibles de pérdida de calor.
- [2] Determinación "in situ" de la transmitancia térmica . A. Quintana, V. Volantino 11ª.R.T.ASADES, San Luis 1986
- [3] ASHRAE. Handbook of Fundamentals.