

METODOLOGIA PARA UN ESTUDIO COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO ENERGÉTICO DE PROTOTIPOS EDIFICIOS EDUCACIONALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

HOSES, Santiago (1); MARTINI, Irene (1); SAN JUAN, Gustavo (2).

(1) Becario CONICET, IDEHAB, Instituto de Estudio del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. Calle 47 N°162, C.C. 478, La Plata (1900).

Telefax + 54 (021) 214705. E-mail santhoses@yahoo.com

(2) Investigador CONICET

RESUMEN

El trabajo expone la metodología desarrollada para el análisis del comportamiento energético de prototipos edilicios para la educación primaria, representativos de la producción oficial de la provincia de Buenos Aires. Este método simplificado permitirá comprender la participación energética (en un balance estacionario) de los distintos módulos en la totalidad del establecimiento. Las variables intervinientes se desagregan en energías perdidas (características constructivas y factor de exposición de la envolvente) y energías aportadas (ganancia por radiación, ocupación e iluminación). La continuidad de esta línea de trabajo aportará estrategias de uso y soluciones de mejoramiento de la envolvente edilicia que se amorticen con la reducción del costo operativo.

ABSTRACT

The work presents the methodology developed for the edilic prototypes energy behaviour analysis for primary education, representative of the official production of the Buenos Aires county. This simplified method will allow to understand the energy participation (in a stationary balance) of the different modules in the entirety of the establishment. The variables considered are: lost energy (constructive characteristics and envelope exhibition factor) and contributed energy (radiation gain, occupation and daylighting). The continuity of this work will contribute to develop usage strategies and edilic envelope improvement solutions that will be recovered from the reduction of the operative cost.

INTRODUCCION

Este trabajo consiste en el desarrollo de una metodología de análisis del comportamiento térmico de edificios escolares prototípicos de producción oficial en la provincia de Buenos Aires, considerando el funcionamiento diferencial de cada uno de sus sectores o módulos constitutivos, mediante la sistematizados en un método de cálculo. Este trabajo constituye la continuidad y ajuste de dos líneas de trabajo convergentes que se ocupan de la habitabilidad y la eficiencia energética en cuanto a la definición de Módulos Edilicios Energéticos Productivos (MEEP) y a la evaluación del comportamiento ambiental en referencia a sus aspectos tipológicos y de diseño. (MARTINI, 1998 y HOSES, 1999).

Se tomó como caso piloto una tipología escolar del nivel Educación General Básica (6 a 14 años) lineal en doble crujía en planta baja, ejecutada en tecnología tradicional (ladrillos huecos esp 0.18 y cubierta de chapa. Este caso particular se compone de 7 aulas, atendiendo a una matrícula de 420 alumnos, con una representatividad en el universo superior al 16 %. (Gráfico 1). (DIRECCIÓN GENERAL DE CULTURA Y EDUCACIÓN DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, sin publicar, 1998).

Se adoptaron las siguientes condiciones de cálculo:

- El análisis se llevó a cabo en la localidad de La Plata, ubicada en la zona bioclimática III-b (INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES, 1992) y se consideraron sus grados día de base 18°C.

Tabla 1. Datos climáticos para la localidad de La Plata. (ISABA, 1985)

Localidad: LA PLATA	Latitud: -34.9	Longitud: 57.9 W	Altura: 15 m.
Temperatura Media anual.: 16° C		Temperatura Media Periodo Calefacción: 12° C	
Temperatura Máxima Media anual: 21.4 °C		Temperatura Mínima Media anual: 11.9 °C	
Grados Día anuales de calefacción (base 18°C) : 994 °C			

- Se consideró al edificio exento, para no alterar los resultados con casos particulares de implantación.
- Se considera al edificio compuesto por “módulos” calefaccionados en base 18°C y “espacios” calefaccionados base 16°C. Los primeros comprenden los espacios de enseñanza y administración, los restantes se refieren a circulaciones, cocina, sanitarios y SUM. Ambos representan condiciones de uso y características espaciales diferenciadas.
- De acuerdo a otros trabajos en desarrollo se han tomado 9 renovaciones de aire por hora que se encuentra dentro del rango exigido por la normativa rectora del la Arquitectura escolar. (MINISTERIO DE CULTURA Y EDUCACIÓN DE LA NACIÓN, 1997)
- El período con necesidad de calefacción se extiende desde Abril a Octubre, descontando el receso invernal y los días no laborales, los días de uso efectivo son 130.

Las necesidades de climatización se determinan en base a los aportes y las pérdidas de energía, por lo tanto el cálculo se realiza a partir de las siguientes variables: ocupación, iluminación, ganancia directa por ventanas, renovaciones de aire y envolvente.

Pérdidas de calor por envolvente y por renovaciones de aire

Las pérdidas energéticas por envolvente dependen fundamentalmente de las características del sistema constructivo y el grado de exposición que tenga el módulo con respecto al exterior. Se calculan las pérdidas para todos los tipos de materiales que conforman la envolvente.

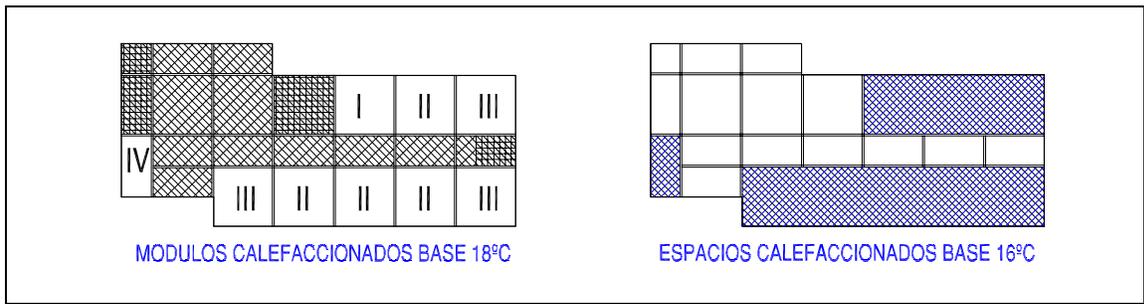


Gráfico 2. Desagregación de “módulos aula” y “espacios comunes” compositivos para el caso 4.

Se ha empleado para el cálculo un balance estacionario. Este método simplificado permite obtener la carga térmica con una aproximación *relativa* que sirve para confrontar las tipologías entre sí, superando el cálculo de la escuela como totalidad, incorporando las condiciones y dinámicas particulares de cada uno de los sectores involucrados.

Posteriormente se realizó en forma particular otro balance específico para el conjunto de los locales calefaccionados en base 16°C. Luego se integraron estos resultados para obtener el calor auxiliar necesario para calefaccionar el edificio. A manera de ejemplo, se presenta el caso 1 (tipología lineal con SUM):

A manera de ejemplo,

- Se desagregó en sus módulos constitutivos y se calculó mediante un balance para cada uno de ellos. (Gráfico 2).
- Se analizaron las características particulares de cada módulo aula, según su grado de exposición y condiciones de su envolvente. (Gráfico 3 y 4)

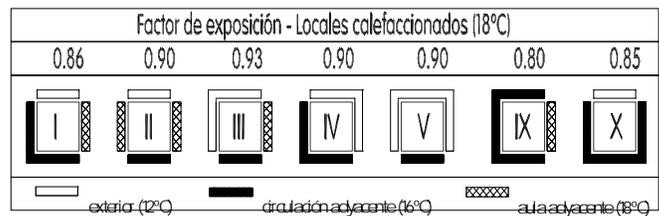


Gráfico 3. Factor de exposición para módulos calefaccionados

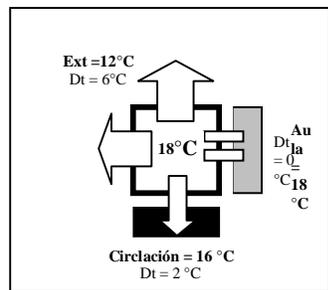


Gráfico 4: Esquema del flujo de calor, caso aula tipo III.

- Se aplicaron a cada módulo los siguientes coeficientes de transmitancia térmica: cubierta de chapa (1.63(W/m² °C), mampostería de ladrillo hueco revocada de ambas caras (1.84 W/m² °C) y carpinterías de chapa doblada sin protección y con vidrio simple (5.80 W/m² °C).

Ejemplo: aula tipo III

$$S\%K = m^2 \% (W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}) = [W / \text{ } ^\circ\text{C}]$$

$$\Sigma (S_n\% K_n) = 48,59 + 52,28 + 70,66 + 66,83 = \mathbf{238,37 \text{ W}/^\circ\text{C}}$$

- d) Se obtiene el coeficiente volumétrico de pérdida de calor (Σ :perdidas de energía por transmisión, renovaciones de aire).

$$G = (K_m\%S_m + K_v\%S_v + K_p\%Perim + K_t\%S_t) / Vol. + (0,35 \% N^\circ R/h) =$$

$$G = 238,37 \text{ W}/^\circ\text{C} / 136,80 \text{ m}^3 + 0,35 \% 9 \text{ Vol/h} = \mathbf{4,89 \text{ W}/m^3^\circ\text{C}}$$

Rh= Renovaciones horarias

- e) Posteriormente se obtiene la carga térmica del local calefaccionado.

$$Q = (N\%GD18\%G\%V) / 1000 = [\text{Kwh/año}]$$

$$Q = (10 \text{ h}\%994^\circ\text{C}\%4,89 \text{ W}/m^3^\circ\text{C}\%136,80 \text{ m}^3) / 1000 = \mathbf{6652,70 \text{ Kwh} / \text{año}}$$

N = Factor de uso diario

GD = grados día 18°C

G = Coeficiente global de perdidas

V = Volumen

- f) La variación de temperatura existente entre los distintos locales y el exterior, genera pérdidas diferenciales de calor por transmisión a través de la envolvente.

Entre aulas 18°C y exterior 12°C ($\delta T = 6^\circ\text{C}$)

Entre aulas 18°C y espacio común 16°C ($\delta T = 2^\circ\text{C}$)

Las aulas contiguas se consideran en equilibrio ($\delta T = 0^\circ\text{C}$)

Se aplica un factor de exposición (que reduce las pérdidas calculadas) en función de la diferencia de temperatura (δT) entre el módulo analizado y el espacio adyacente y el número de caras expuestas (porcentaje) (Gráfico 3).

Q . factor de exposición = Kwh/año

$$6652,70 \text{ Kwh} / \text{año} \% 0,93 = \mathbf{6187,01 \text{ Kwh/año}}$$

- g) Se multiplica la carga térmica obtenida para cada tipo de módulo por la cantidad que posea la tipología. Se suman los valores obtenidos para obtener la carga térmica total de las aulas:

“Q” módulos aula calefacc. = (QI x 1u) + (QII x 4 u) + (QIII x 3 u) + (QIV x 0.5 u) = [Kwh / año]

$$= 5721,32 + 22078,79 + 18561,03 + 3227,58 = \mathbf{49588,72 \text{ Kwh} / \text{año}}$$

- h) Una vez obtenido el calor auxiliar necesario para las aulas, aún resta analizar el espacio común (circulación, servicios y SUM) calefaccionado en base 16°C. Se realiza el procedimiento anteriormente detallado aplicando los mismos coeficientes de transmitancia térmica a las superficies de la envolvente. En esta etapa se deberá tener en cuenta que dicho espacio perderá calor por las superficie envolvente en contacto con el exterior (12°C), pero recibirá aporte de calor por las que estén en contacto con las aulas calefaccionados a 18 °C.

$$G = (K_m \cdot S_m + K_v \cdot S_v + K_p \cdot \text{Perim} + K_t \cdot S_t) - (K_m \cdot S_m + K_v \cdot S_v + K_p \cdot \text{Perim}) / \text{Vol} + (0,35 \cdot N \cdot R_h)$$

$$= 3,78 \text{ W} / 3^\circ\text{C}$$

- i) Obtenemos entonces la carga térmica anual en Kwh/año de los espacios calefaccionados en base 16 °C.

$$Q = (N \cdot G_{D16} \cdot G \cdot \text{Vol}) / 1000 = [\text{Kwh/año}]$$

$$Q = (10 \text{ h} \cdot 994^\circ\text{C} \cdot 3,78 \text{ W/m}^3\text{C} \cdot 136,80 \text{ m}^3) / 1000 = 35675,89 \text{ Kwh} / \text{año}$$

- j) Sumamos los resultados parciales de los puntos g + i y obtenemos las perdidas de energía por transmisión y por renovaciones de aire, para la totalidad del edificio.

$$\text{“Q” tipología} = \text{“Q” módulos calefacc. base } 18^\circ + \text{“Q” espacios comunes calefacc. base } 16^\circ =$$

$$= 49588,72 \text{ Kwh} / \text{año} + 35675,89 \text{ Kwh} / \text{año} =$$

Total Eperd edificio= 85264,62 Kwh / año

Aportes de calor por ocupación

Se considera aquí el calor aportado por las personas que ocupan el módulo. Las variables analizadas son: aporte por persona [W/pers], tiempo de ocupación por día [hs/día], cantidad de personas [pers] y factor de ocupación (FO) según, el tipo de uso del servicio analizado.

Para este caso se consideran 30 alumnos (entre 6 y 14 años) con un aporte de 70 w/alumno sentado y 100 W por cada maestro.

$$E_{\text{ocup}} = 70 \text{ w} \% (1\text{Kw}/1000\text{W}) \% \text{hs-ocup} \% \text{cant.pers} \% \text{FO} + 100 \text{ W} \forall (1\text{Kw}/1000\text{W}) \forall \text{hs-ocup} \forall \text{cant.pers} \forall \text{FO} \% \text{cant. días hab.} \% N^\circ \text{módulos}$$

$$E_{\text{ocupaula}} = 70/1000 \% 10 \% 30 \% 0.7 + 100/1000 \% 10 \% 1 \% 0.7 \% 130 = 2002 \text{ kwh/año}$$

Se verificó un gran número de casos en los que se comparte un edificio entre dos o más establecimientos pertenecientes a distintos niveles educativos de enseñanza. Sumado a esto se observa también una disparidad significativa en los patrones de uso, que actualmente se ve potenciada por la Ley Federal de Educación que propugna la creación de Proyectos Educativos Institucionales (PEI) específicos para cada comunidad. Se tomó un factor de uso diario de 10 horas considerando un hipotético doble turno de EGB. y un factor de ocupación de 0,7. Se consideran 30 (treinta) alumnos por aula y por turno.

Para el caso de espacios comunes se plantea las mismas variables, considerando 2 horas de uso efectivo por turno de Actividades Físicas y una de recreos, con una ocupación de la totalidad de la matrícula. El aporte considerado es de 230 W alumno (40 kg) en actividades ligeras recreo.(RAMON, 1980)

$$E_{\text{ocup esp.com}} = 230/1000 \% 2 \% 210 \% 0.7 = 11302,20 \text{ kwh/año}$$

Total EOcup. Edificio = 28319 kwh/año

Aportes de calor por iluminación

El cálculo se realiza solamente para iluminación general, considerando dos turnos (mañana y tarde) de cuatro horas cada uno. El nivel lumínico necesario en el plano de trabajo se obtuvo de bibliografía que presenta los valores mínimos para cada módulo (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES). Al valor obtenido, se le suma un Factor de Corrección que

depende de las características de absorción de la envolvente y de la distancia del artefacto de iluminación al plano de trabajo. Se tomó para el aula un nivel lumínico de 500 lux sobre el plano de trabajo (situado a una altura de 0,80 m del piso), y para los espacios comunes 250 lux. Se considera un Factor de Corrección de 0,4 (40%) correspondiente al promedio de todos los paramentos (cielorraso y paredes de color claros). Al consumo generado por la iluminación de lámpara fluorescentes tiene una relación con el aporte calórico de 0,2 afectando la ecuación anterior.

$$E_{il} = \frac{\text{int.lum.gral} \% (1/\text{conv.lumen-watt}) \% (1\text{Kw}/1000\text{w}) \% \text{hs-uso} + \text{FC} \% 130\% \text{N}^\circ \text{módulo} \% \text{rend cal}}{\text{cal}}$$

$$\text{Aulas} = (500/80/1000 \% 10 + 0.4 \% 500/80/1000 \% 10) \% 0.2 \% 130 \% 0,2 = 2,28 \text{ kwh/año}$$

$$\text{Esp.comunes} = (250/80/1000 \% 2 + 0.4 \% 250/80/1000 \% 2) \% 0.2 \% 130 \% 0,2 = 0,68 \text{ kwh/año}$$

Total Eil edificio= 20,02 kwh/año

APORTES DE CALOR POR GANANCIA DIRECTA POR RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE VENTANAS (GAD)

El cálculo de las aulas y de los espacios comunes se realiza en base a una superficie vidriada del módulo en correspondencia con la zona climática, la orientación, el tipo de aventanamiento, el tipo de protección, y el grado de apertura. Los valores se obtuvieron de la tabla de ganancia directa por aventanamiento para nuestra zona climática.

Para el cálculo de Ganancia solar directa se obtuvieron valores de tabla. (GUERRERO et al., 1986) N= 1.9 MJ/m² ; S= 1.8 MJ/m², E= 4.9 MJ/m², O= 3.9 MJ/m². Además se consideraron los edificios con la orientación óptima, es decir la mayor cantidad de aulas al Norte, evitando reflejos molestos desde el Este y el Oeste.

$$E_{GAD} = \text{GAD} \% 1000 \text{ J/MJ} \% \text{sup. Transp} \% 1/3600$$

$$\text{Aulas Norte} = 9.1 \% 1000 \% 2.08/3600 \% 130 = 683,51 \text{ kwh/año}$$

$$\text{Aulas Sur} = 1.8 \% 1000 \% 2.08/3600 \% 130 = 135,20 \text{ kwh/año}$$

$$E \text{ comunes N} = 9.1 \% 1000 \% 31.3 \% 0.7/3600 \% 130 = 7200 \text{ kwh/año}$$

$$E \text{ comunes S} = 1.8 \% 1000 \% 15 \% 0.7/3600 \% 130 = 682,5 \text{ kwh/año}$$

Total E GAD edificio= 10675 kwh/año

TOTAL EDIFICIO= E perdidas + E aportadas

TOTAL EDIFICIO= 46248,89 kwh/año

La metodología propuesta nos permite construir indicadores e índices con la posibilidad de compararlos con otras tipologías edilicias.

Como primera aproximación y a modo de ejemplo se podría decir que la incidencia de la carga térmica en aulas en relación al edificio estudiado es del 64%. Paralelamente se verifica que las ganancias en aulas se compone de un 85 % por ocupación, 14% Ganancia Directa y siendo los aportes por iluminación despreciables.

Podemos conocer de esta manera la relación o incidencia de cada variable analizada para las distintas aulas de un mismo establecimiento; para conocer el funcionamiento de una misma aula tipo en distintas tipologías y para conocer la participación de cada módulo en la totalidad del establecimiento con el objetivo de comparar las distintas tipologías.

La metodología desarrollada surge de la necesidad de dar respuesta al uso discontinuo y a la relación existente entre superficie, cantidad de personas y horas de uso. Para este caso (un aula común de una escuela primaria), el estudio se realizó para el período lectivo, fijando para el período de receso un valor mínimo. Este subsector se caracteriza por tener una importante concentración en la relación espacio-usuario.

REFERENCIAS.

Commission of the European Communities. Directorate-General XII for Science, Research and Development. "Daylighting in architecture. A European Reference Book

Datos sin publicar extraídos de la Dirección Provincial de Infraestructura de la Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. Agosto 1998.

Guerrero, J. Rosenfeld, E et al. **Plan piloto de evaluación energética de la zona de Capital Federal y Gran Buenos Aires.** Tabla 5, pg. 63, IAS/FIPE, CIC. Informe final, La Plata, 1986.

Hoses, S., San Juan, G., Rosenfeld, E. Estudio comparativo del funcionamiento energético de prototipos edificios educacionales de la provincia de Buenos Aires.

Instituto Solar **Arquitectura** Buenos Aires (I.S.A.B.A). "**Tablas del cociente carga colector para 60 localidades de la Argentina**". Noviembre 1985.

Luminotecnia. Luz natural. Colección Manuales, Vol. n° 1. Ed. SUMMA, Buenos Aires, 1977.

Martini, I. Et al. "**Incorporación de los módulos edificios energo-productivos (MEEP) de Educación a la biblioteca informatizada existente**". Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, N° 1. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Noviembre 1997.

Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. "**Criterios y Normativa básica de Arquitectura Escolar. Anteproyecto. Versión 1.**" 1997.

Norma IRAM 11603. "**Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina**". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, 1992.

Ramón F. Ropa, Sudor y Arquitectura, Ediciones Blume, España, 1980.