

# METODO RELACIONAL DE BALANCE TERMO-LUMINICO APLICADO A AULAS DE LA RED ESCOLAR DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. ARGENTINA

Elías Rosenfeld – Arquitecto, Investigador CONICET.

Carlos Discoli – Arquitecto, Investigador CONICET.

Gustavo San Juan – Arquitecto, Investigador CONICET.

Irene Martini - Arquitecto, Becario UNLP.

Yael Rosenfeld - Arquitecto, Becario UNLP.

Santiago Hoses – Arquitecto, Becario UNLP.

Mónica Bogatto – Arquitecto, Investigador FAU-UNLP.

IDEHAB, Instituto de Estudios del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.  
Calle 47 N.162 c.c.478 La Plata (1900), Argentina.

Tel-fax 054-21-214705. EMail eronsenfe@isis.unlp.edu.ar.

## RESUMEN

El trabajo expone una metodología de análisis (técnicas y herramientas) que relaciona el balance termo-lumínico y el consumo energético aplicado a espacios escolares. Se expone el ejemplo de aulas, considerándolas como módulos edilicios energéticos-productivos (MEEP) de la red de edificios escolares de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

## ABSTRACT

This paper presents a methodology (tools and techniques) that relates the thermo-luminic balance and the energy consumption applied to educational buildings. We expose a classroom example, considering them as Energetic-Productive Building Modules (MEEP), from the Argentine's Educacional Buildings Net.

## INTRODUCCION

Los procesos de gestión de redes edilicias –en lo que denomina “Planeamiento Continuo”-, en este caso del sector educación, se fundan sobre la determinación de sus variables críticas y estructurales, sus interacciones y su dinámica; en diferentes niveles de organización: red; nodo o edificio; módulo edilicio; componente arquitectónico. Al nivel de red se ha desarrollado una herramienta informática, EDUBA 1.0 (<sup>1</sup>), sistema que permite el manejo e interacción de múltiples variables alfanuméricas. La incorporación del sistema de información geográfica (GIS) permite la interacción con información gráfica territorial y edilicia. Estas técnicas se basan en primera instancia en la generación de indicadores e índices standard (situación actual de la red o nodo). A nivel del nodo se trabaja sobre el desarrollo de una biblioteca de Módulos Edilicios Energéticos-Productivos (MEEP) informatizada. Esto implica modular los diferenciales de prestación a través de la evaluación de la interacción entre los espacios físicos, la envolvente edilicia, la infraestructura, el uso y el consumo de energía. La evaluación de las variables intervinientes en cada diferencial de prestación a nivel red y a nivel nodo, nos permite comprender la participación de cada sector particularizado en la globalidad de los sistemas de educación, y de dicho sistema en la totalidad de las redes edilicias del sector terciario.

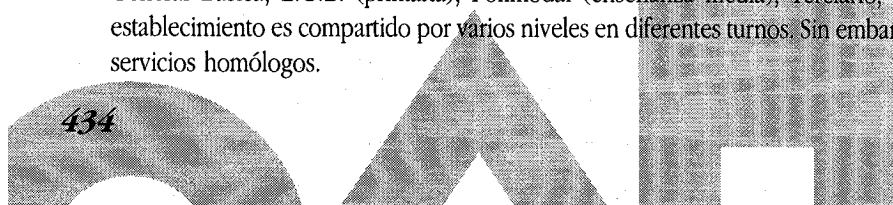
La generación de escenarios prospectivos impulsa la necesidad de definir indicadores teóricos y teóricos óptimos, que representan las necesidades mínimas de cada prestación; reales, obtenidos a partir de la verificación Ain-situ@ mediante el relevamiento de establecimientos representativos de la red, y reales optimizados que surgen del desarrollo de técnicas, métodos y herramientas probadas para su mejoramiento sobre la base de la contrastación entre teóricos y reales.

Los objetivos de nuestro trabajo son:

- diseñar metodologías de “control temprano” de redes edilicias;
- determinar métodos, técnicas y herramientas para la cuanti-cualificación de nodos de la red.

## METODOLOGIA

La Red de Educación de la República Argentina cuenta con establecimientos de distintos niveles educativos: Inicial; Educación General Básica, E.G.B. (primaria); Polimodal (enseñanza media); Terciario; Universitario y Especial. En muchos casos, un establecimiento es compartido por varios niveles en diferentes turnos. Sin embargo se observa cierta similitud entre los locales de servicios homólogos.



Los distintos sectores de los establecimientos se agrupan, teniendo en cuenta las particularidades de cada caso, determinándose áreas diferenciadas según el tipo de prestación. Dentro de cada una se consideran los distintos servicios que la conforman. Se definieron las siguientes áreas:

AU Aulas: Comunes, Taller, etc.

DM Sectores administrativos: Dirección, Secretaría, Administración, Tesorería, Cooperadora, etc.

SM Salones de usos múltiples: Salón de usos múltiples, Salón de actos, etc.

DE Areas deportivas y de esparcimiento: Patio cubierto, Patio, etc.

GE Gabinetes específicos: Sala de computación, Laboratorio, Gabinete Psicológico, etc.

AX Servicios Auxiliares y de apoyo: Cocina, Comedor, Sala de maestros, Portería, etc.

Las etapas en las que se desarrolla la investigación son las siguientes:

- I- Cálculo de MEEP teóricos como valor de referencia y proposición MEEP teóricos óptimos a partir de la evaluación del comportamiento lumínico y térmico de las diferentes tipologías;
- II- Calibración y elaboración de métodos de análisis para la generación de indicadores, los cuales, integran variables que involucran el confort ambiental en edificios escolares;
- III - Validación de los indicadores teóricos mediante relevamientos *Ain situ* (MEEP reales);
- IV- Construcción de MEEP optimizados a partir de la contrastación entre valores teóricos óptimos y reales;
- V- Diseño de pautas para la generación de modelos del sector educación que consideren todas las variables en juego desde el momento de la planificación.

La construcción de indicadores teóricos, reales y optimizados se apoya en el conocimiento, aplicación y calibración (2) de diversas técnicas de trabajo:

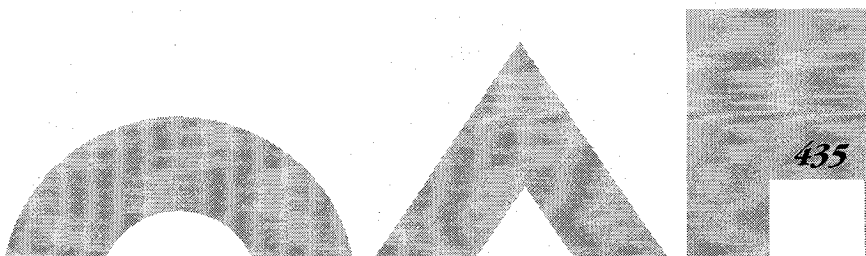
- I- Clasificación tipológica de edificios representativos de la red escolar;
- II- Auditorías en redes; audit-diagnóstico de la situación real de edificios o módulos edilicios tipificables;
- III - Audit-diagnóstico de trabajos de reciclado con técnicas de trabajo *Ain situ* (3) para verificar la situación final;
- IV- Utilización de modelos analógicos a escala, para la verificación lumínica en cielo real y artificial, sobre espacios representativos: Aulas;
- V- Verificación de alternativas de respuesta *Aex situ* utilizando simulación numérica;
- VI- Sinergia entre las variables de confort.

En el presente trabajo, las variables independientes corresponden a la conformación del espacio analizado, involucrando: tecnología, forma, disposición de aberturas y la región bioclimática de localización del estudio. Las variables dependientes, se refieren al confort térmico y lumínico. Se considera como unidad de análisis (UA) el aula y como universo (U) la cantidad de ellas en el edificio o estudio sectorial involucrado. Según el grado de interacción donde se encuentre el estudio estaremos hablando de UA como el módulo aula o UA como confort térmico, lumínico, consumo de energía o ganancia solar.

## VARIABLES DE DISEÑO

En estudios sistemáticos de análisis tipológico y comportamiento energético de edificios escolares, representativos de la producción en la Provincia de Buenos Aires, se han analizado diversos Asectores edilicios, definidos como Módulos Edilicios Energético-Productivos (MEEP), en los cuales el módulo aula resulta el de mayor influencia en el conjunto escolar. Analizando la edilicia de la Micro Región del Gran La Plata, éstas, que constituyen el ámbito que requiere mejores condiciones de confort, representan el 25% de la superficie total del establecimiento para nivel Inicial y el 35% en el caso del nivel EGB.

Se adoptaron módulos-aula tipo, de forma cuadrada ( $A = B$ ) y rectangular ( $B = 1.5 A$ ), con los siguientes valores:  $A = 6m$  y  $B = 9m$ , medidas que se pueden considerar como standard en la edilicia pública (4). Estas dos variantes son analizadas con distintos tipos de aventanamiento, correspondientes a diferentes porcentajes de superficie transparente sobre la fachada expuesta: 30 (ventana alta), 50 (ventana corrida) y 100% (ventana pared); y dos soluciones: simple y doble orientación. En el caso del doble aventanamiento, corresponde un 25% de superficie transparente en la fachada opuesta a la principal. Se adopta una posición Norte correspondiente a la fachada principal. Para este caso la tipología edilicia considerada es de un sólo piso, utilizada para nivel Inicial y EGB (5) analizándose Amódulos-aula con dos de sus lados expuestos. Se han utilizado en este desarrollo, estándares nacionales e internacionales de niveles de confort que determinan los valores de habitabilidad y consumo energético.



## VARIABLES DE CÁLCULO

Una de las características de esta red edilicia, es su ocupación discontinua, anual, mensual o diaria. Se concentra en un espacio físico reducido un número importante de personas, en un tiempo diario acotado y en un período lectivo de nueve meses, afectando así al resto de las variables analizadas. Las variables que definen los modelos son:

### a. Evaluación del confort lumínico.

- Iluminación natural: el cálculo del Factor Medio de Iluminación Natural (FIN en %) se efectúa utilizando el programa RAFIS<sup>(6)</sup>, elaborado para condiciones de cielo cubierto; los valores de confort lumínico adoptados son los propuestos por la normativa internacional (Factor Medio de Iluminación Natural del 2% para natural complementada con artificial y del 5% para solo iluminación natural).
- Iluminación artificial [E il]: el nivel lumínico necesario en el plano de trabajo se obtuvo de bibliografía que presenta los valores mínimos para cada módulo<sup>(7)</sup> Para este caso el cálculo se realiza solamente para iluminación general, considerando dos turnos (mañana y tarde) de cuatro horas cada uno y un valor de iluminancia de 500 lux. En los MEEP óptimos las necesidades de iluminación artificial se calculan en base al valor de FIN medio obtenido, en el caso de no satisfacer los requerimientos de confort lumínico en las peores condiciones de cielo (solsticio de invierno) y en la franja horaria más desfavorable (8 y 16 horas) a lo largo del día lectivo. El número de horas de funcionamiento de la iluminación artificial es limitado al número de horas en las que la luz natural resulta insuficiente.

b. Evaluación del confort térmico: las necesidades de climatización se determinan en base a los aportes y las pérdidas de energía sin considerar el equipamiento electromecánico ya que para este caso se considera irrelevante. Por lo tanto el cálculo se realiza a partir de las siguientes variables: ocupación, iluminación, ganancia directa por ventana (GAD), renovaciones de aire y envolvente. Resultando la ecuación de la siguiente manera:

$$[E_{ct} = E_{il} + E_{oc} + E_{GAD} + E_{ren} + E_{env}]$$

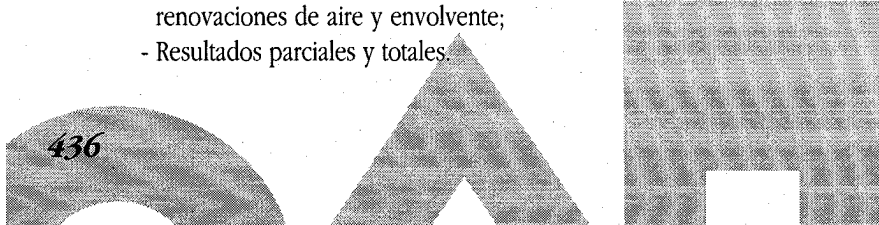
- Aportes de calor por ocupación [E oc] : para este caso se consideran 25 alumnos (entre 6 y 12 años) con un aporte de 70 w por persona y un maestro con un aporte de 100 w. Con respecto al tiempo de ocupación diaria (hs/día) se adoptaron dos turnos de cuatro horas cada uno siendo el factor de ocupación de 0,34.
- Aportes de calor por iluminación [E il]: nos remitimos al valor calculado en el punto a, tomando en este caso un rendimiento calórico de 0,2 para las lámparas de bajo consumo.
- Aportes de calor por Ganancia Directa por Radiación Solar a través de ventanas [E GAD]: el cálculo se realiza en base a las distintas superficies vidriadas sin y con protección (100% en el caso ventana pared y 60% en los otros dos casos), orientadas al Norte y con vidrios simples.
- Pérdidas de calor por renovaciones de aire [E ren]: para la zona en estudio, el Gran La Plata, se consideraron:  $6^{\circ}\text{C}$  Grados día/día (GDD), una densidad del aire de 1,3 kg/m<sup>3</sup>, una entalpía del aire de 0,99kj/kg $^{\circ}\text{C}$  y renovaciones horarias de 9 vol/h. <sup>(8)</sup>.
- Pérdidas y aportes de calor por envolvente opaca y transparente [E env]: 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. Los aportes de calor por superficies transparentes dependen de las características de transmisión del vidrio empleado, de la superficie total vidriada, de la exposición y de la existencia o no de elementos de protección.

## OPERACIONALIDAD DE LAS VARIABLES

Se ha desarrollado una herramienta informática con la cual solucionar la operacionalidad de las variables involucradas y la conformación sistematizada de una biblioteca de MEEP<sup>(9)</sup>. El sistema ha sido programado en lenguaje Clarion para Windows, operando en forma autónoma y/o compatible al resto de las herramientas y sistemas informáticos desarrollados por el grupo de investigación.

La base de datos principal sintetiza la información de cada MEEP referente a:

- Tipo de análisis: teórico, real, optimizado, análisis comparativo;
- Identificación del MEEP y Subsector de pertenencia (salud, educación, etc.);
- Características generales: localización, dimensiones, tipo de envolvente, temperatura, orientación, etc.;
- Sistema de iluminación natural y artificial (tipo y cantidad de artefactos, horas de uso);
- Consumo para climatización, desagregado en aportes y pérdidas por ocupación, ganancia directa por ventana, iluminación, renovaciones de aire y envolvente;
- Resultados parciales y totales.



Los resultados de iluminación, equipamiento y climatización del análisis se resumen en una pantalla final los cuales permiten ser comparados con cualquier módulo que contenga la base de datos ya sea de una misma red o de distintas redes. La base principal (variables de cálculo) se complementa con una serie de bases auxiliares que contienen diversos valores de: características climáticas, sistemas de iluminación, valores mínimos de iluminación según tipo de local, valores de ganancia por ventanas, características de materiales, sistemas constructivos, etc.

La biblioteca de MEEP informatizada contiene, para este sector, una primera serie de datos correspondientes a MEEP teóricos óptimos de módulos-aula para Nivel Inicial y EGB. Se prevé su ampliación con la incorporación de las otras áreas significativas individualizadas anteriormente en los diferentes niveles escolares.

## EJEMPLO DE APLICACIÓN

Como ejemplo de aplicación se considera un aula cuadrada con sistema constructivo tradicional y mejorado.

En el caso del sistema constructivo tradicional los muros son de ladrillo cerámico de 0.20m ( $K=2,21 \text{ W/m}^2\text{C}$ ) y el techo de chapa con tirantería y cielorraso de madera a la vista.

En el caso de la solución constructiva mejorada se incorpora aislación higratérmica en la envolvente expuesta al exterior, obteniéndose los siguientes valores:  $K=0,70 \text{ W/m}^2\text{C}$  en los muros y  $K=0,61 \text{ W/m}^2\text{C}$  en el techo.

En ambos casos para los aventanamientos se emplea vidrio simple con  $K=5,80 \text{ W/m}^2\text{C}$  y se considera, a los fines del cálculo de la ganancia térmica, una protección solar del 100% para la ventana pared, y del 60% para las soluciones con ventana corrida y alta.

Los valores obtenidos del cálculo del "peso energético" son los siguientes:

- A. MEEP teórico = 1,225
- B. MEEP teórico óptimo (solución ventana 100%) = 1,026
- C. MEEP teórico óptimo (solución ventana 50%) = 0,985
- D. MEEP teórico óptimo (solución ventana 30%) = 1,074
- E. MEEP teórico óptimo (solución ventana 100%+25%) = 1,029
- F. MEEP teórico óptimo (solución ventana 50%+25%) = 0,946
- G. MEEP teórico óptimo (solución ventana 30%+25%) = 1,076

Los valores de MEEP indican una mejora del "peso energético" y de la "calidad ambiental" acercándose a cero, de lo cual se extrae que la mejor solución adoptable para un módulo aula cuadrado con fachada principal orientada al norte, en las condiciones de clima en análisis (Zona del Gran La Plata) es la solución "E".

## CONCLUSIONES

En esta técnica de diagnóstico temprano, la generación de indicadores teóricos óptimos se asienta sobre la calibración de valores estándar, asociado a la definición y adopción de variables críticas, adoptando métodos experimentales y modelos de validación (simulación). En este proceso se utilizan indicadores cuantitativos y cualitativos, asentándose sobre la sinergia entre el confort ambiental, lumínico y térmico.

La incorporación de los MEEP teóricos óptimos a la biblioteca informatizada nos permite aplicar pautas de mejoramiento a los MEEP reales (obteniéndose MEEP optimizados de los reales relevados "in situ") y proponer alternativas de diseño con las cuales pueda operar el proyectista.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. G. San Juan. "Sistema de Diagnóstico de la gestión educativa de la pro. de Buenos Aires. Variables energo-productivas y de habitabilidad". Beca Posdoctoral CONICET. 1996.
2. G. San Juan, M. Bogatto, A. Toigo, E. Rosenfeld. "Desarrollo metodológico para la evaluación del comportamiento lumínico de la red tipológica de edificios de educación de la provincia de Buenos Aires". ASADES, Mar del Plata, 1996.
3. G. San Juan, E. Rosenfeld, C. Discoli, J. Czajkowski, C. Ferreyro. "Reciclado de dos edificios escolares en el Gran La Plata. Mejoramiento de La eficiencia energéticas y habitabilidad bigrotérmica". ASADES, San Luis, 1995.
4. L.R. De Mascaró. "Luminotécnica. Luz natural". Manual SUMMA1, Ed. Summa, Buenos Aires, 1977.
5. G. San Juan, E. Rosenfeld, S. Hoses. "Evaluación del funcionamiento energético y habitabilidad bigrotérmica de la red tipológica". ASADES, Mar del Plata, 1996.
6. R. Serra, R. Lladser, J. Parera, H. Coch, X. Solsona. "RAFIS. Rough Analysis For Illuminating Spaces". UPC, ETSAB, Barcelona, 1992.
7. Commission of the European Communities. Directorate-General XII for Science, Research and Development. "Daylighting in Architecture. A European Reference Book", Brussels y Luxembourg, 1993.
8. E. Rosenfeld et al. "Mejoramiento de la eficiencia energética y habitabilidad de dos edificios escolares". I Encuentro Latinoamericano. Gramado, 1995.
9. Y. Rosenfeld; I. Martini; C. Discoli; E. Rosenfeld. "Incorporación de los modulos edilicios energéticos productivos (MEEP) de educación a la biblioteca informatizada". ASADES, Rio Cuarto, 1997.