

MODELO ENERGETICO PARA EL PROGRAMA CESAD

J.L.Guerrero, E.Rosenfeld, O.Ravella°, N.Giménez°
IAS / FABA, Instituto de Arquitectura Solar, Av. 1 n° 698, 1900 La Plata.

Resumen

Se presenta un Modelo Energético válido para la zona de localización del Programa CESAD 1. Su diseño partió de la necesidad de contar con una herramienta que permitiera determinar en una etapa de predimensionamiento los principales parámetros de comportamiento energético de un edificio. A partir de una evaluación de los parámetros climáticos que tienen influencia en el bienestar higrotérmico interior y de los recursos energéticos climáticos disponibles se han formulado Días Tipo de Diseño. El Modelo se basa en estos días tipo y otras particularidades climáticas, conjugándolas con las características de balances energéticos. Se obtienen valores de pérdidas de calor, ganancias solares, necesidad de calefacción convencional, así como áreas de colección y valores de acumulación.

Se presenta un ejemplo de aplicación del Modelo.

El trabajo fue realizado por Convenio entre la Secretaría de Estado de Desarrollo Urbano y Vivienda y el IAS / FABA.

ENERGETICAL MODEL FOR THE CESAD PROGRAMME

Abstract

An energetical model valid for the siting of the buildings of the CESAD 1 Programme is presented. Its design was based on the need for principles which, in a pre-dimensioning stage, allow to determine the main parameters of the energetical behaviour of a building.

Based on an evaluation of the climatic parameters which influence the indoor hygrothermal comfort and of the available climatic energy resources, "Typical Design Days" have been formulated. The model is based on these typical days and other climatic particularities, together with the energetical balance characteristics. Heat-loss values, solar gains, requirements for conventional heating as well as collecting areas and accumulation values are obtained. An example of the application of the model is shown.

This paper was performed by an agreement between the Secretaria de Estado de Desarrollo Urbano y Vivienda (State Secretariat of Urban Development and Housing) and the IAS/FABA.

°Colaborador

1. INTRODUCCION

El modelo está destinado al diseño térmico y lumínico natural de conjuntos habitacionales de alta densidad y baja altura, sirviendo también para el diseño de viviendas y edificios aislados, dentro de la zona delimitada en la Figura 1.

Para el caso de conjuntos de alta densidad y altura debe formularse un modelo específico que tenga en cuenta la interacción entre edificios que en su conjunto conforman una especie de estructura celular antirradiante en verano y un elemento adicional de sombreado en invierno. En ambos casos estas interacciones alejan las situaciones climáticas a nivel de suelo de la zona de bienestar higrotérmico, se acentúa el efecto de los parámetros perniciosos, disminuyendo a su vez la posibilidad de acción en sentido contrario de los beneficiosos.

El modelo está basado en días tipo que fueron confeccionados de ex profeso para este fin empleándose para la determinación de los mismos la siguiente información:

- * Estadísticas climatológicas 1941/50, Servicio Meteorológico Nacional.
- * Estadísticas climatológicas 1951/60, Servicio Meteorológico Nacional.
- * Marcha diaria del viento, promedios 1909/20, Observatorio Astronómico de La Plata.
- * Heliofanía, marcha anual, 1909/41, Observatorio Astronómico de La Plata.
- * Elementos que definen el clima de La Plata, 1977, Estación Meteorológica del Observatorio Astronómico de La Plata.
- * Boletines meteorológicos de los años 1959 a 1969, Observatorio de Física Cósmica de San Miguel (Bs. As.).

La elaboración de los días tipo de diseño consistió en la extracción de la información meteorológica que permitiera prever el funcionamiento bioclimático y térmico de un edificio y, asimismo, brindar pautas adecuadas de diseño.

Si se tratara de dar simplemente los valores estadísticos de un cierto número de parámetros climáticos, por laboriosa que sea la tarea no presentaría mayores complicaciones. Por el contrario para los fines perseguidos no basta el sólo conocimiento de los promedios, desviaciones y frecuencias de los parámetros más comunes. Es frecuente observar que el valor medio puede no coincidir con el valor más probable e ignorar este hecho puede conducir a frecuentes errores.

En cada día tipo de diseño se reúnen los siguientes parámetros típicos:

- * Peso estadístico de ocurrencia del día tipo en el mes.

- * Límites de heliofanía relativa que los agrupa.
- * Radiación solar global instantánea sobre plano horizontal (en forma gráfica y tabulada hora a hora).
- * Integral diaria de radiación solar global sobre planos horizontal y orientados al N, NE-NO, E-O, SE-SO y S, con pendientes de 15°; 30°; 45°; 60°; 75° y 90° respecto de la horizontal.
- * Altura y azimut (tabulados hora a hora).
- * Iluminación natural global sobre plano horizontal (en forma gráfica y tabulada hora a hora).
- * Temperatura ambiente (en forma gráfica y tabulada hora a hora).
- * Humedad absoluta.
- * Límites de temperatura de la zona de bienestar.
- * Exceso y/o defecto de temperatura ambiente sobre y/o debajo de la zona de bienestar y su duración.
- * Exceso y/o defecto de entalpía del aire sobre y/o debajo de la zona de bienestar y su duración.

2. MODELO ENERGETICO

De los días tipo de diseño se observa que para la mayor parte de los parámetros climáticos, los meses extremos son junio y enero.

Las situaciones más alejadas de la zona de bienestar se producen en los meses fríos, por lo cual los diseños deberán orientarse a solucionarlas en primera instancia. Es decir, que se hará el diseño para la época fría y luego se lo comprobará y/o complementará para la cálida.

Situación de invierno

El aire exterior en el mes más frío tiene 8,3 KJ/Kg de defecto de entalpía promedio durante las 24 hs del día, siendo las 06:00 de la mañana el momento más frío.

Es recomendable que la mayor ventilación se produzca de ser posible entre las 14:00 y las 16:00 hs, que es cuando la temperatura ambiente alcanza sus mayores valores. De no poder realizarla las consecuencias no serán graves pero redundarán en el desperdicio de casi un 15 % de las posibilidades de ahorro de calefacción.

El paramento vertical mejor orientado para el invierno es el Norte, donde se recibe un promedio de 11.800 KJ/m².

La pendiente óptima de colección es de 60° en un plano orientado al Norte en el cual se recibe un promedio de 11.300 KJ/m^2 , es decir que un colector en esta posición tendrá máxima eficiencia por unidad de área.

En el 30 % de los días, los planos antedichos reciben una radiación máxima del orden de 24.800 KJ/m^2 y 27.000 KJ/m^2 respectivamente.

En función de las secuencias probables de días nublados, o sea con recurso energético solar insuficiente, los sistemas helioenergéticos acumuladores de calor deberán garantizar una entrega del mismo igual a la necesaria cada día durante un lapso de 4,5 días sin ser recargados. La recarga deberá hacerse durante los días despejados que son el 55 % de los nublados.

El viento en el invierno no tiene mayormente orientaciones definidas, no obstante puede ser conveniente proteger los edificios de los vientos provenientes del semiplano Sur que son generalmente fríos.

Se deberán utilizar medios de protección de los vientos fríos del invierno que se implementarán en función de la relación entre edificios (distancia entre los mismos, longitud y altura) similares para todas las orientaciones, debido a que no existen direcciones marcadamente predominantes para los vientos fuertes.

Situación de verano

En el mes más cálido del verano existe un pequeño exceso de temperatura y entalpía en el aire que se manifiesta en un promedio de 4 hs, con centro a las 16:00 hs y un defecto de los mismos parámetros bastante más pronunciado, de una duración media de 11 hs con centro a las 04:00 de la mañana y del orden de 3,3 veces mayor que el exceso.

Es decir que con buena ventilación nocturna o diurna matinal y buena protección de la radiación solar incidente sobre determinados planos, se pueden mantener las condiciones de bienestar higrotérmico durante todo el día y todos los días. La acumulación de calor (frío) necesaria es mucho mayor que la del invierno. Los planos que tienen mayor incidencia de radiación solar, son los siguientes: el horizontal con 26.400 KJ/m^2 y los verticales Este y Oeste con 16.400 KJ/m^2 , en los cuales los máximos ocurren a las 08:00 y 16:00 hs respectivamente.

Serían estos tres planos los que fundamentalmente habría que proteger del Sol, en especial el horizontal y el oeste.

En lo que respecta a temperaturas se deberá sólo cuidar el ingreso de calor por ventanas (ganancia directa y conducción) en horas de la tarde, ya que las aislaciones térmicas usadas en el resto de la envolvente y diseñadas para la época de invierno exceden a las necesarias para la época estival.

No se debe confiar mucho en la utilización del viento para forzar la ventilación. En el verano la velocidad media es baja y no existe ninguna dirección marcadamente predominante. No obstante puede considerarse en las horas frías, cierta predominancia de vientos del Este o del Sudeste por la

noche y Norte por la mañana, aunque no es correcto utilizar al viento en el diseño del prototipo de viviendas como factor forzante de la ventilación.

En lo referente a ventilación, ésta podrá forzarse por gradientes térmicos provocados por el mismo edificio, o bien por otros sistemas apropiados.

Situación en el período anual

Durante todo el transcurso del año los planos verticales orientados al Noreste y Noroeste reciben aproximadamente la misma cantidad diaria de radiación solar. Lo mismo ocurre con un plano orientado al Norte y con pendiente de 45°. Esta situación es extrapolable a los planos con orientaciones y pendientes intermedias entre el último y los dos primeros. Es decir los que contienen una generatriz del semicono de 45° de apertura cuyo vértice está orientado al Norte y su eje es horizontal. Estos planos serían recomendables para iluminación, ya que todo el año mantendrían un flujo lumínico constante y con una distribución horaria muy similar. Es evidente que el NE sería apropiado para la mañana, el NO para la tarde y el N a 45° para todo el día con centro en el mediodía solar. La integral lumínica diaria es del orden de 2.10⁹ lux segundo, aunque varía entre planos.

Para la iluminación, las aberturas deberán responder a la siguiente expresión:

$$* \quad S_v = L \cdot S_p \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} S_v = \text{sup. abertura (en m}^2\text{)} \\ L = \text{coeficiente por orientaciones e} \\ \quad \text{inclinaciones} \\ S_p = \text{sup. de piso (en m}^2\text{)} \end{array}$$

Los valores mínimos de L son los siguientes, según las orientaciones (basados en los meses de menor iluminación sobre cada plano):

O R I E N T A C I O N E S

		N	NE-NO	E-O	SE-SO	S
P	90°	0,114	0,074	0,075	0,278	0,333
E						
N	60°	0,051	0,037	0,070	0,222	0,328
D						
I	45°	0,032	0,038	0,115	0,200	0,317
E						
N	30°	0,035	0,041	0,069	0,182	0,294
T						
E	0°	0,058				

Esto se fundamenta en la integral lumínica necesaria en una habitación de uso no específico, en función del flujo lumínico que incide sobre los distintos planos y áreas del piso en sf.

El diseño urbanístico deberá prever la incorporación en los espacios exteriores, de la forestación como subsistema de protección solar. La utilización de pantallas forestales orientadas al Norte de los edificios deberá ser de especies de hojas caducas y estar ubicadas a una cierta distancia de la envolvente, mientras que las utilizadas en orientaciones Sur y Oeste deberán proveer una protección acorde con las necesidades Invernales inclusive, mediante especies de hojas perennes aptas como para-vientos.

3. BALANCE ENERGETICO

El modelo considera el balance térmico diario de la envolvente de los edificios ubicados en esta zona, considerando sólo la situación de invierno que es la que tiene mayores exigencias para poder mantener las situaciones de bienestar térmico interior.

El balance térmico considera los siguientes intercambios de calor diarios entre el interior y el exterior:

* Pérdidas por ventilación:

$$Q_v = \sum_i V_i n_i \theta_i \Delta J \rho \quad (KJ) \quad (1)$$

V - volumen interior en m³

n - veces de renovación total por unidad de tiempo en 1/seg

θ - tiempo de ventilación en seg

ΔJ - defecto medio de entalpía del aire exterior en KJ/Kg

ρ - densidad del aire en Kg/m³

i - subíndice del ambiente considerado

* Pérdidas por conducción a través de la envolvente aislante:

$$Q_{A_i} = \frac{A_i \theta \Delta t}{R_i} \quad (J) \quad (2)$$

A - área del sector de la envolvente en m²

R - resistencia térmica del mismo en $\frac{m^2 \text{ } ^\circ C}{W}$

θ - tiempo de pérdida en seg

Δt - defecto medio de temperatura en $^\circ C$

i - subíndice de cada sector

El calor total de pérdidas por conducción será la suma de los calores perdidos por cada sector diferenciable.

* Aporte de calefacción convencional.

Para el caso de combustibles:

$$Q_C = C.M (KJ) \quad (3)$$

C - poder calórico en KJ/kg

M - masa de combustible usado en Kg

Nota : cualquier fuente de calor interna debe asimilarse a Q_C .

* Aporte solar a la calefacción en cada sector de colección:

$$Q_{Si} = AS_i \eta_i H_{Ti} (KJ) \quad (4)$$

AS- área del elemento colector de la radiación solar en m²

η - rendimiento físico

HT- integral diaria de radiación solar sobre el plano considerado en KJ/m²

i - subíndice de cada sector

El aporte total del calor de calefacción solar será la suma de los calores aportados por todos los elementos colectores.

De esta manera el balance térmico diario es:

$$Q_V + Q_A = Q_C + Q_S \quad (5)$$

4. CONFIGURACION GRAFICA DEL MODELO ENERGETICO PARA INVIERNO. EJEMPLO

A fin de que el modelo, en su parte fundamental, sirva como herramienta práctica en el diseño de edificios, es que se lo ha llevado a un gráfico en el que se puede realizar el balance invernal en forma sencilla. Si bien la precisión del gráfico es acorde con la del modelo en sí, su empleo se recomienda para las etapas de predimensionamiento, comprobando luego con cálculos más completos en el diseño definitivo, contrastando las situaciones estivales e intermedias.

El grafico de la Figura 2 está dimensionado para el invierno en la ciudad de La Plata. En el sector "1" del mismo se puede hallar la cantidad diaria de pérdidas por ventilación. Conociendo el volumen interior de la envolvente y las veces horarias de renovación del mismo se puede hallar Q_V .

En el caso de haber varios locales con distinto grado de ventilación y diferentes volúmenes, se puede usar el mismo gráfico.

En la Figura 3 se muestran 2 locales, uno de ellos con 1,5 veces/hora de ventilación y 140 m³, y el otro con 4 veces/hora de ventilación y 40 m³.

El calor total perdido por ventilación es la suma de los 2 segmentos horizontales, que se adicionan gráficamente. Resulta así:

$$Q_V = 69 MJ$$

En el sector "2" de la Figura 2 se determina el calor de pérdida por conducción a través de la envolvente, conociendo la resistencia térmica y el área de contacto con el medio exterior.

Se representan en la Figura 3 los calores de pérdida de 10 m² de ventanas, 110 m² de muros y 70 m² de cubierta, con resistencias térmicas de:

$$0,17 \frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}, 2,0 \frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}} \text{ y } 1,4 \frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}} \text{ respectivamente,}$$

hallándose gráficamente sobre el eje de las abscisas el calor total de pérdidas por conducción:

$$Q_A = 106 \text{ MJ}$$

En el sector "4" de la Figura 2, en función del rendimiento global η_g de un equipo solar, se puede hallar el área equivalente de insolación, es decir el producto de $\eta_g \times AS$ para cada subsistema solar.

En el caso de haber varios sistemas en la misma orientación (o simetría respecto del Norte) las áreas equivalentes pueden ser adicionadas por suma de sus segmentos respectivos.

En la Figura 3 se muestra el área equivalente de un sistema de muro colector-acumulador de 15 m² y $\eta_g = 0,4$ y ventanas de 5 m² y $\eta_g = 0,8$. Resultan 6 y 4 m² respectivamente.

En el sector "3" de la Figura 3, conociendo el área equivalente, se puede determinar, en función de la orientación del área de colección, la cantidad de calor que recibirá en un día el colector.

En el caso de colectores con diferentes orientaciones y distintas áreas equivalentes, se pueden adicionar sus segmentos para obtener la ganancia total del calor.

En la Figura 3 se muestran los calores que reciben 2 ventanas orientadas al Este y al Oeste, con área equivalente de 4 m², y un muro colector-acumulador orientado al Norte, con área equivalente de 6 m², y su suma:

$$Q_S = 111 \text{ MJ}$$

Además, conocida la demanda total de calefacción, se puede hallar el porcentaje de aporte solar a la misma, usando la parte central del gráfico de la Figura 2.

En la Figura 3 se ejemplifica el uso de esta parte del gráfico, sabiendo que la demanda total

$$Q_A + Q_V = Q_p = 175 \text{ MJ}$$

y resulta un aporte del 63 %.

Por otra parte, en el mismo gráfico se puede obtener la calefacción convencional que se necesita, por simple sustracción de segmentos.

5. SISTEMAS HELIOENERGETICOS Y SUS ORIENTACIONES FAVORABLES

Los elementos convencionales de la envolvente deben ser orientados convenientemente de acuerdo a lo estipulado anteriormente. Para el caso de orientaciones no mencionadas en este modelo, se deberá recurrir directamente a los días tipo que lo originan 1).

Para el caso de sistemas no considerados en este modelo, se deberán analizar particularmente cada uno.

Sistemas para el invierno

* Ganancia directa

Este sistema debe aplicarse según usos funcionales discriminados.

Orientaciones: óptima, Norte; buena, desde el Noreste al Noroeste, pasando por el Norte.

Pendientes : óptima, 60°; buena, entre 40° y 90°.

* Muros colectores-acumuladores

a. destinados a acumular calor durante varios días (4 a 5).

Orientaciones: exclusivamente Norte \pm 15°.

Pendientes : óptima, 60°; buena, entre 60° y 90°.

b. destinados a acumular calor durante no más de un día, es decir, durante algunas horas. Por ejemplo hasta la madrugada del día siguiente en que fue colectado.

Orientaciones: óptima, Noroeste; buena, entre el Norte y el Noroeste.

Pendientes : óptima, 60°; buena, entre 60° y 90°.

Sistemas para el verano

* Protección solar

Este sistema incluye parasoles ventilados o elementos aislados cuya cara expuesta al Sol sea ventilada. Es necesaria la protección de la radiación solar en las siguientes orientaciones y pendientes:

Verticales : principalmente en horas de la tarde, es decir desde el Norte hasta el Suroeste. Siendo la orientación más crítica el Oeste para las ventanas, y del Noroeste al Oeste para los muros que desfasan el incremento de temperatura.

Inclinadas : pendientes entre 15° y 30° desde el Noreste hasta el Suroeste; entre 30° y 90° desde el Norte hasta el Suroeste.

Horizontales : todo el día.

* Chimenea solar

Inclinaciones: entre el Norte y el Oeste, entre 15° y 45° ; otras orientaciones, 15° .

Toma de aire de renovación, en la vivienda preferiblemente bajo cota del terreno. Puede hacerse la toma a nivel del terreno en lugar sombreado, donde la temperatura se mantenga aproximadamente 2° a 3°C por debajo de la ambiente.

* Cubierta atemperante

Pendientes : óptima, horizontal.

Debe tenerse en cuenta que la ventilación deberá ser nocturna y a través de vanos verticales. Su desfase térmico deberá ser equivalente o superior a 0,50 m de profundidad del suelo.

6. REGION DE APLICACION

El presente modelo es válido para la ciudad de La Plata y un radio del orden de los 70 km. Asimismo, con pequeñas modificaciones en los valores absolutos que en el predimensionamiento pueden no ser tomados en cuenta, es también válido para la zona delimitada por la línea que une las localidades de Punta Piedras, Verónica, General Paz, Lobos, Chivilcoy, Chacabuco, Pergamino y Villa Constitución, cerrándose el límite con las costas de los ríos Paraná y de la Plata, según se muestra en la Figura 1.

El modelo energético fue realizado en base a los días tipo de diseño y por consiguiente, la variación de los valores energéticos de intercambio entre el medio ambiente y el interior de la envolvente, está ligada a la modificación que sufren los días tipo en sus parámetros básicos y derivados, al pasar de un punto a otro dentro de la región de validez del modelo.

La validez de un día tipo dentro de una región, significa que cualquier día tipo de diseño para el mismo objetivo que se haga dentro de la misma, tendrá un comportamiento de todos los parámetros que lo componen, similar, pero no necesariamente valores absolutos idénticos.

En otras palabras, la forma de los gráficos que los representan dentro de su zona de validez, es la misma.

Los días tipo de diseño, dentro de su zona de validez, son semejantes, pero no está establecido un criterio de semejanza absoluto que sea válido para todos los casos (extensible a días tipo de otras zonas), como puede estarlo para otras ramas de la meteorología, la física o la ingeniería.

En una aproximación, para la zona que nos incumbe, el criterio de semejanza es el siguiente:

- * La cantidad de tipos de día por mes es la misma.
- * El peso estadístico de cada uno de los tipos de día es el mismo.
- * Los valores absolutos de cada parámetro básico de cualquier día tipo de diseño no varían fuera de $\pm 10 \%$.
- * Las relaciones entre los máximos y mínimos de los parámetros básicos y su distribución horaria, son las mismas.
- * Los valores absolutos secundarios, es decir, provenientes de la interacción de dos parámetros básicos, puede variar en no más de 20% .

En particular, para el modelo energético, los parámetros concretos que influirán en él, son:

- . Humedad absoluta del aire ambiente
- . Temperatura ambiente.

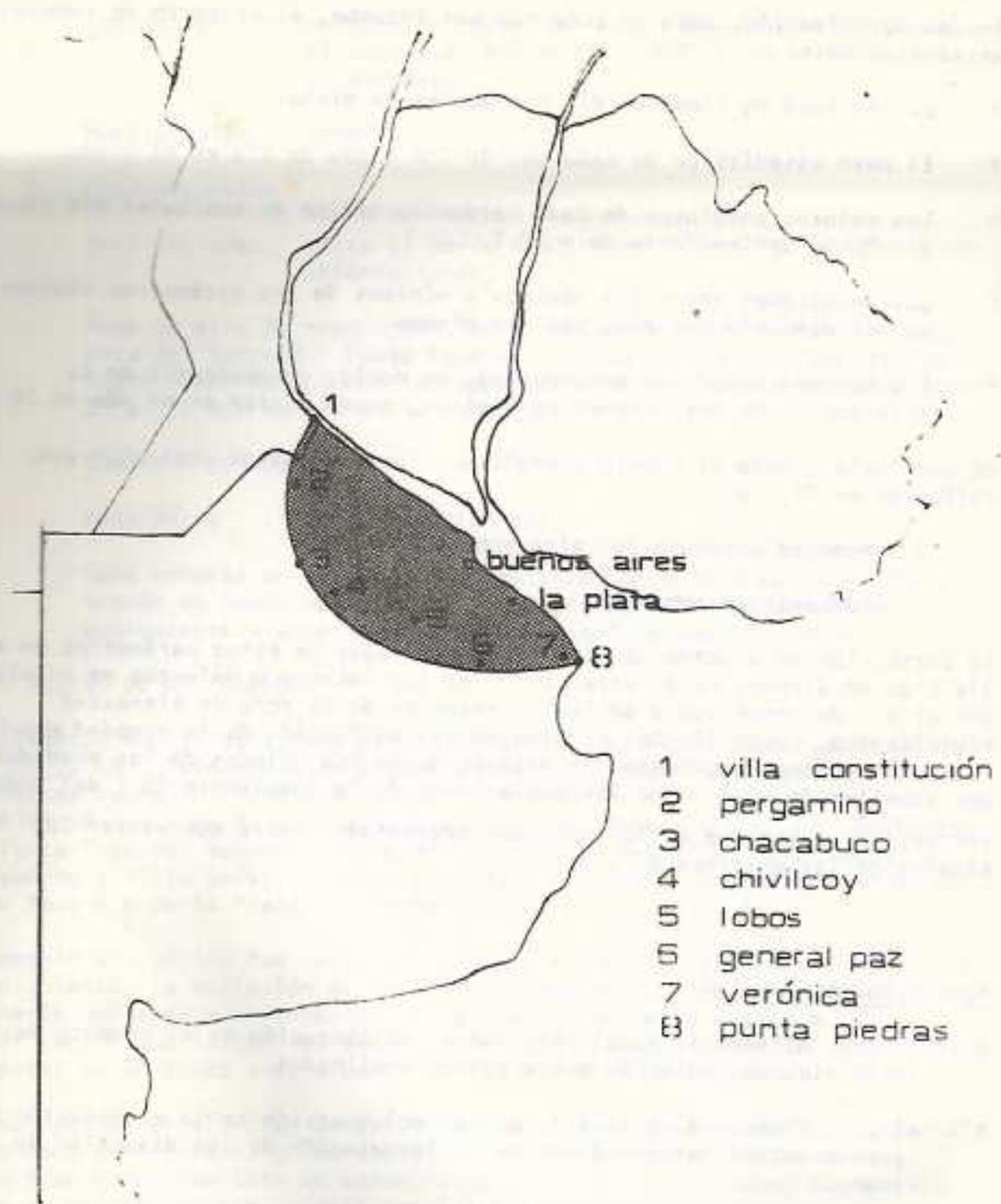
La corrección de acuerdo con los datos del lugar de estos parámetros en el día tipo de diseño, hará variar a su vez los excesos o defectos de entalpía del aire y de temperatura ambiente, respecto de la zona de bienestar higrotérmico, cuyos límites también varían en función de la humedad absoluta. Estas variaciones provocarán la alteración de los valores de las pérdidas por ventilación (Q_V) y por las aislaciones de la envolvente (Q_A) del modelo energético, o sea que en los gráficos presentados habrá que variar las escalas de las abscisas Q_V y Q_A .

Agradecimientos

- * al Ing. Alfredo T. Rapallini, por su colaboración en el cómputo de integrales de radiación sobre planos inclinados.
- * al Lic. Ernesto S. Crivelli, por su colaboración en la elaboración de la información meteorológica en la formulación de los días tipo de diseño.

Referencias

1. IAS / FABA, Programa CESAD, Fase 2, SEDUV, Buenos Aires (1979).



ZONA DE VALIDEZ DEL MODELO ENERGETICO

FIG. 1

MODELO ENERGETICO PROGRAMA CESA!

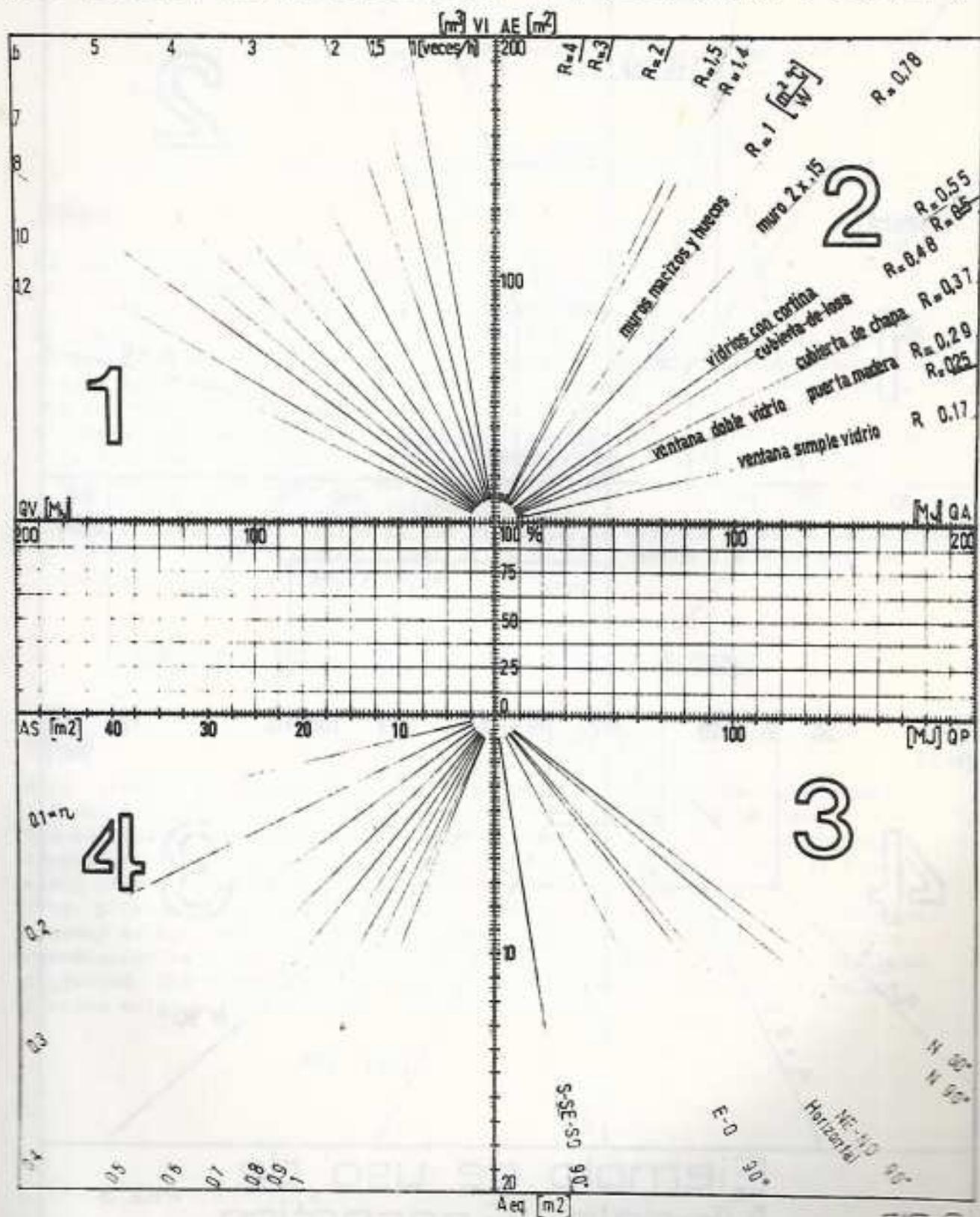


FIG 2

