

## **NUEVA MEDIDA PARA CONSIDERAR LA FORMA EN LA CONSERVACIÓN DE ENERGÍA EN EDIFICIOS**

Ing. Alfredo Esteves. Arq. Alejandro Oliva. Arq. Daniel Gelardi

### **INTRODUCCIÓN**

La forma conjuntamente con la calidad termofísica de los materiales que conforman la envolvente de los edificios son los causantes de las pérdidas de calor de los ambientes construidos. Cuando los mismos se encuentran en climas hostiles y deben ser calefaccionados o enfriados, las características dadas a la forma y los materiales utilizados son los elementos que influyen en el comportamiento que tendrá el edificio respecto del costo operativo para su funcionamiento y de cómo el mismo edificio se comporta respecto del medioambiente durante toda su vida útil.

Es decir, que la responsabilidad del proyectista es inmensa si se tiene en cuenta que la mayor o menor "amigabilidad" con el medio ambiente de la mencionada construcción depende del mismo proyectista y que en la generalidad de los casos, la vida útil del edificio superará ampliamente la vida del proyectista. Además, siempre es posible un reciclaje del mismo, pero para esto es necesario concebirlo eficiente, es decir que, la misma construcción se adapte, en cualquier tiempo que sea a las posibilidades de mejorarla. Es así como aproximadamente, el parque edilicio es motivo del consumo de un porcentaje que va desde el 28 % al 43 % de la energía primaria total consumida de un país y por lo tanto, en la misma proporción, de las emisiones de gases responsables de la contaminación y responsables del efecto invernadero (anhídrido carbónico, metano y en menor medida, óxido de azufre) y de la disminución de la capa de ozono (fluorcarbonados). Por lo tanto, el edificio diseñado por el proyectista, será responsable de las emisiones de estos contaminantes durante la vida útil del mismo.

En este estado de cosas, la bioclimatología edilicia, una ciencia con metodologías y estrategias maduras, pero no muy difundidas todavía, se constituye como una alternativa muy interesante para acondicionar térmica y lumínicamente los espacios, ahorrar energía, evitar emisiones excesivamente contaminantes y tender de este modo hacia una arquitectura sustentable.

## LA FORMA EN LA CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

### Factor de Forma (FF)

La forma en la conservación de energía, se trata en la mayoría de los tratados y normativas a través de la evaluación del Factor del Forma (FF) del edificio (1) (2). Este es el resultado de computar la superficie de la envolvente, dividido por el volumen que la misma encierra. El FF es un buen indicador de la compacidad del mismo edificio, es decir, la relación de la superficie de la envolvente con respecto al volumen que encierra y es citado en general, para indicar cómo debe ser la relación de superficies del edificio para mantener buenas condiciones de conservación de energía. En la Figura 1 se puede observar la variación del FF para diversas formas simples.

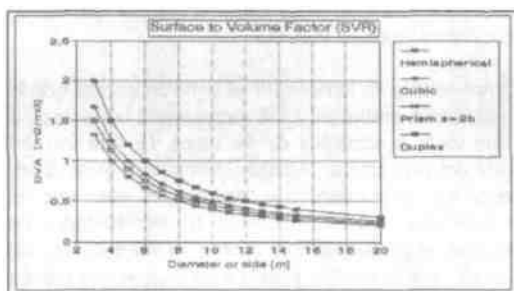


Figura 1: FF para formas simples

Figura 2: prisma básico

Para el caso de la Figura 2, la expresión matemática del FF sería la siguiente:

$$a (FF) = \frac{\text{Área de Muros} + \text{Área de Techos}}{\text{Volumen}} = \frac{2 \cdot a \cdot L + 2 \cdot b \cdot L}{a \cdot b \cdot L} = \frac{2(a+b)}{ab}$$

En el recuadro que antecede se expresa como ejemplo la forma de calcular el factor de forma.

The Energy Research Group, 1994, utiliza el FF para indicar, cómo debe ser la forma de agrupar los edificios para maximizar la colección solar y minimizar las pérdidas de calor, en aquellos lugares donde la calefacción es la necesidad predominante. Se sugieren los

siguientes límites 0,6 a 1,00 para edificios aislados y 0,2 a 0,45 para viviendas agrupadas y edificios en altura. En la Figura 1 se puede observar los valores del FF para distintas formas clásicas.

Este FF tiene las siguientes falencias:

1- Cuando se trata de transmitir los conocimientos necesarios para que el proyectista o el estudiante de arquitectura tenga en cuenta los aspectos inherentes a la forma, uno podría hacer uso del concepto del FF. Sin embargo, si uno decide tomar las distintas formas simples: cubo, semiesfera, prisma recto, prisma quebrado, etc. y analizarlas aumentando la dimensión característica de cada volumen, se encuentra con que todos los FF disminuyen al aumentar esta dimensión y la variación entre ellos es muy pequeña dando la sensación de que la diferencia entre tales volúmenes no es tan grande, ni tan seria como podría esperarse. Ver Figura 1.

La Tabla 1 expresa los valores del FF cuando se tiene edificios con la forma indicada y  $a=9$ . Como se puede observar, para cualquier forma, luego de  $b=9$ , ninguna resulta ser ineficiente. Bergmann et al, 1980, indica que para una vivienda unifamiliar el valor del FF debería estar entre 0,6 y 1,2  $m^{-1}$ , mientras que para un edificio de departamentos en el valor de 0,3 a 0,4  $m^{-1}$  y esto se cumple para cualquier forma con techo inclinado que son más ineficientes. Por lo tanto, **el FF no indica diferencias al momento de ejemplificar cómo debe ser la forma para la conservación de la energía.**

**Tabla 1:** Valores del FF para diversos volúmenes

FORMA VOLUMETRICA	FACTOR DE FORMA (FF) (Para distintos anchos)					
	b=3	b=6	b=9	b=12	b=15	b=20
Prisma a=9	1.22	0.89	0.78	0.72	0.69	0.66
Prisma quebrado c=b	1.44	1.11	1.00	0.94	0.91	0.88
Prisma quebrado c=b/2	1.33	1.00	0.89	0.83	0.80	0.77
Const. en altura (3 pisos)	1.00	0.67	0.56	0.50	0.47	0.43
Const. en altura (5 pisos)	0.96	0.62	0.51	0.46	0.42	0.39
Const. altura (piso interm.)	0.89	0.56	0.44	0.39	0.36	0.32
Prisma techo incl. 10°	1.20	0.84	0.71	0.64	0.59	0.54
Prisma techo incl. 30°	1.19	0.80	0.65	0.57	0.51	0.45
Prisma techo incl. 60°	1.25	0.80	0.63	0.54	0.48	0.42
Prisma techo dos aguas 10°	0.83	0.51	0.40	0.35	0.31	0.29
Prisma techo dos aguas 30°	0.74	0.43	0.34	0.30	0.28	0.26
Prisma techo dos aguas 45°	0.67	0.39	0.31	0.28	0.26	0.25
Prisma techo dos aguas 60°	0.58	0.34	0.28	0.26	0.25	0.24

2- Al ser un factor que involucra unidades diferentes, área/volumen, el resultado de éstas es difícil de predecir, de hecho, al considerar formas cuya superficie y volumen aumente proporcionalmente, se dan valores constantes para el FF, enmascarando así una forma totalmente ineficiente.

Un caso típico es cuando se trata el FF de edificios con techo inclinado. En la Figura 3 se muestra los FF del edificio indicado en la Figura 4, cuando se trata de aumentar la relación b/L (profundidad/altura) y cuando además variamos el ángulo de inclinación  $\varphi$  desde 0° hasta 80° para a = 9 metros. Cuando b/L > 1,7 el FF nos indica que todas las inclinaciones entre 10° y 80° son más eficientes que el techo plano. Esto es totalmente erróneo, lo que ocurre es que el volumen aumenta más rápidamente que el área de la envolvente y entonces el FF disminuye consecuentemente, enmascarando una forma completamente ineficiente. Además, para  $\varphi$  entre 30° y 80° y b/L > 2,5 (note que para este caso, a=9, L=3 y b=7,5) el FF indica valores prácticamente iguales para los distintos ángulos, siendo que la inclinación de 80° resulta claramente más ineficiente que la de 30°.

Estas consideraciones nos han hecho revisar los conceptos y elaborar otro factor, cuyo conocimiento clarifica los aspectos en que el FF tiene falencias. Además, resulta muy interesante siempre que quiera enseñarse los conceptos de la forma en la conservación de energía en arquitectura.

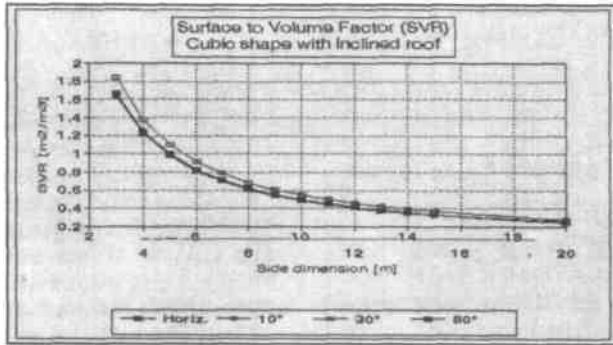


Figura 3: variación del FF en caso de techo inclinado

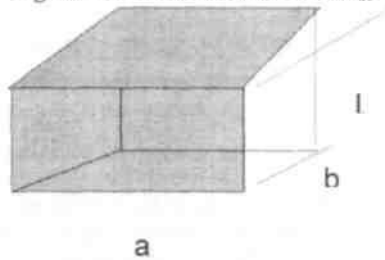


Figura 4: esquema indicativo de las referencias de la figura 2, con techo inclinado. **Factor de Área Envoltente Piso (FAEP)**

El Factor de Área Envoltente Piso. FAEP expresa la relación entre la superficie de la envoltente y la superficie de piso y el número correspondiente indica las veces que la superficie de la envoltente contiene a la superficie de piso. Es decir, mientras mas

eficiente es la forma, menor será el FAEP y por lo tanto, se incurrirá en menos área de envolvente para cubrir una superficie de piso determinada.

Watson et al., 1983 expresa este mismo concepto, pero sin llegar a un estudio exhaustivo. Se propone en este trabajo, exponer todas las propiedades, ventajas y desventajas del mismo.

Sea el volumen indicado en la figura con ancho a, profundidad b y altura L y calculemos el FAEP.

$$\text{FAEP} = \frac{\text{Área de Muros} + \text{Área de Techos}}{\text{Área de piso}} = \frac{2 a.L + 2 b.L + ab}{a.b} = \frac{2L.(a+b) + ab}{ab}$$

Las ventajas del FAEP podemos agruparlas en tres: Medida Didáctica. Propiedad de Adición e Indicador Económico.

## Medida Didáctica

Otorga una valoración muy fácil de captar cuando se comparan distintos diseños para el mismo edificio.

En la Tabla II se indica el FAEP para diferentes formas típicas al dejar constante una de las dimensiones y variar las otras. Las conclusiones son muy fáciles de vislumbrar y ser de este modo transmitidas.

En ella se expresan los valores del FAEP y se comparan desde el prisma (tomado como forma patrón) de  $a = 9$ ,  $L = 3$  m. y  $b$  variable con la forma resultante cuando se efectúan quiebres en sus fachadas, o se construye 3 o 5 pisos, o cuando se inclina el techo en uno o los dos sentidos. Por ejemplo, resulta muy sencillo de ver que un quiebre de magnitud  $c=b$  y  $b=9$  aumentará de 2,33 a 3,00 el FAEP, es decir,  $0,67 \text{ m}^2$  de envolvente por  $\text{m}^2$  de área de piso, como el área de piso es  $81 \text{ m}^2$ , ese quiebre implica  $54 \text{ m}^2$  más de área de envolvente, en este caso de muros. Cuando se construyen edificios de 3 pisos en lugar de uno, el FAEP baja de 2,33 a 1,67  $\text{M}^2$ , es decir, ahorramos  $0,67 \text{ m}^2/\text{m}^2$  de piso. Sin embargo, al inclinar el techo  $30^\circ$  nos aumenta el FAEP a  $3,64 \text{ m}^2$ , es decir,  $1,31 \text{ m}^2$  más (56 %). si es que se inclina en un solo sentido. Si se inclina a dos aguas, tendremos un FAEP de 3,07, es decir,  $0,74 \text{ m}^2/\text{m}^2$  de piso, es decir, 34 % más que el techo plano.

Tabla II: valores del FAEP para diversos volúmenes

FORMA VOLUMÉTRICA	VALORES PARA EL FAEP					
	b=3	b=6	b=9	b=12	b=15	b=20
Prisma a=9	3.67	2.67	2.33	2.17	2.07	1.97
Prisma quebrado c=b	4.33	3.33	3.00	2.83	2.73	2.63
Prisma quebrado c=b/2	4.00	3.00	2.67	2.50	2.40	2.30
Const. En altura (3 pisos)	3.00	2.00	1.67	1.50	1.40	1.30
Const. En altura (5 pisos)	2.87	1.87	1.53	1.37	1.27	1.17
Const. Altura (piso interm.)	2.67	1.67	1.33	1.17	1.07	0.97
Prisma techo incl. 10°	3.92	2.98	2.70	2.59	2.55	2.55
Prisma techo incl. 30°	4.59	3.78	3.64	3.67	3.76	3.98
Prisma techo incl. 60°	6.98	6.55	6.80	7.21	7.69	8.55
Prisma techo dos aguas 10°	3.74	2.80	2.53	2.42	2.38	2.37
Prisma techo dos aguas 30°	4.01	3.21	3.07	3.09	3.18	3.40
Prisma techo dos aguas 45°	4.41	3.75	3.75	3.91	4.15	4.60
Prisma techo dos aguas 60°	5.24	4.82	5.07	5.48	5.95	6.82

El caso de los techos inclinados es un caso muy común y que con el factor de forma no puede observarse la incidencia de la variación de la forma cuando aumenta la inclinación.

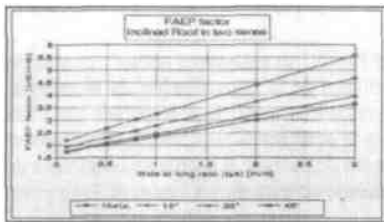


Figura 6: FAEP para techos inclinados a dos aguas

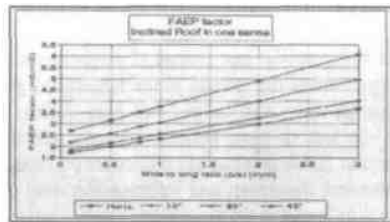


Figure 5: FAEP for inclined roofs towards one side

Las Figuras 5 y 6 indican los valores del FAEP cuando la inclinación del techo varía desde  $10^\circ$  hasta  $45^\circ$  como se puede observar, a medida que aumenta b/a, el valor tiende a aumentar proporcionalmente. Por otro lado, a medida que aumenta la inclinación, el FAEP resulta sustancialmente mayor, dando así una idea exacta del aumento de la superficie de envolvente para la misma superficie de piso.

### **Propiedad de Adición**

El FAEP al contrario del FF cumple la propiedad de la adición, es decir, se pueden calcular los FAEP correspondientes al techo, que llamaremos FAEPT y el FAEP correspondiente a los muros, que llamaremos FAEPM por separado y la suma del FAEPT y el FAEPM dará por resultado el FAEP del edificio tal cual como si lo calculáramos al FAEP total directamente. La ventaja de esto es poder comparar con distintos tipos de techo, manteniendo la misma conformación de muros y evaluar simultáneamente su comportamiento. De este modo podemos calcular la incidencia porcentual de cada elemento de la envolvente (muros y techo) en el intercambio con el medio ambiente exterior (pérdidas o ganancias de calor). Nótese que nos da así la posibilidad de incorporar otros componentes si quisiéramos (ventanas, puertas, etc.) para tener en cuenta su influencia.

Por ejemplo, un edificio que tiene un FAEP de 2, con un FAEPM = 1 y un FAEPT = 1 está equilibrado y conocer el FAEPM y el FAEPT por separado no aporta mucho. Sin embargo, si trabajo con techos inclinados, podría tener un FAEP = 3 con un FAEPM = 1 y FAEPT = 2. En este caso, el FAEPT = 2, indica un diseño con una incidencia del techo bastante mayor (100%) sobre el diseño anterior y que esa incidencia mayor se encuentra exclusivamente en el techo.

### **Evaluación económica de la forma**

La información que otorga el conocimiento del FAEP, no solamente permite evaluar la compacidad del diseño y sus beneficios para el caso de la conservación de la energía, sino también resulta muy útil para indicar la cantidad de material involucrado por cada  $m^2$  de área de piso, permite además, adecuarse a la evaluación económica, o sea, con el mismo factor evaluamos eficiencia en conservación de energía, y asimismo, eficiencia de recursos, dando así una información muy útil cuando se trata de viviendas de bajo costo en donde el uso de materiales resulta crítico.



### Límites

El límite del FAEP se refiere a cuánta superficie de envolvente necesito incorporar para cubrir cada  $m^2$  de piso. Es así que es necesario tener en cuenta la magnitud. Por ejemplo, para cubrir  $1 m^2$  con una forma cúbica, necesitaremos  $5 m^2$ ; con una forma semiesférica necesitaríamos  $2 m^2$  y en este sentido para esta escala, la semiesfera es la más eficiente, pero no siempre es cierto, en la Figura 1 se indica el valor del FAEP para la forma prismática de base cuadrada de  $L=3m$  cuando el lado aumenta entre  $3 m.$  y  $20 m.$  y el FAEP para la semiesfera cuando el diámetro aumenta entre  $3 m.$  y  $20 m.$

Como puede observarse, cuando la forma cuadrada tiene un lado mayor de  $4,$  comienza a ser más eficiente que la forma semiesférica.

Se podría indicar entonces que el límite de  $2 m^2$  por cada  $m^2$  de piso es un valor bastante razonable. En los edificios de mayor envergadura y al agrandarse las dimensiones, el FAEP va disminuyendo hasta un límite teórico de  $1$  para una construcción aislada de superficie infinita.

### CONCLUSIONES

Se demuestra entonces la conveniencia de utilizar el factor de área envolvente/piso como indicador de las bondades de la forma en la conservación de energía para los distintos proyectos arquitectónicos. El indicador resulta particularmente conveniente en el momento de la transferencia de conocimientos ya que permite una visualización rápida y eficaz de las distintas formas y su conveniencia.

El presente trabajo representa un aporte más en la ardua tarea de transferir conocimientos de modo que los mismos sea utilizados más asiduamente en la conservación de energía, de modo que esa arquitectura tan extensamente difundida se acerque más a la concepción de un mundo más sustentable.

## REFERENCIAS

- [1] Esteves A. and de Rosa C. (1995). "La duración de las reservas de combustibles fósiles y su relación con la vida útil de los edificios" (The duration of the fossil fuels reserves and its relation with the life-cycle of the buildings). Proceedings of the XVIII ASADES work meeting.
- [2] The Energy Research Group. 1994. "Energy in Architecture". School of Architecture. University of Dublin. IRL.
- [3] Bergmann G., Bruno R. and Horster H. (1980). "Energy Conservation in Buildings". In Solar Energy Handbook, Kreither J. and Kreith F., chapter 29. Ed. McGraw Hill, New York.
- [4] Watson D. and Labs K. 1983. "Climatic Design. Energy-efficient building. Principles and Practices". Ed. Mc Graw Hill. New York.