

CRITERIOS DE CALCULO DE LOS SOBRECOSTOS
DE SISTEMAS SOLARES PASIVOS EN VIVIENDAS INDIVIDUALES*

Di Constanzo N., Yarle E. y Fabris A.*
Instituto Solar Arquitectura Buenos Aires (ISABA)

Acocyte 217 - (1405) Buenos Aires

RESUMEN

Sobre un modelo de vivienda individual de construcción tradicional utilizado como referencia para el cálculo de costos de la construcción se estudiaron los sobrecostos y los requerimientos energéticos para calefacción de seis variantes constructivas diferentes. Las variantes analizadas responden a distintos niveles de conservación de la energía y aprovechamiento pasivo de la energía solar.

Se calculó para todas las variantes el costo de la unidad de energía ahorrada teniendo en cuenta el sobrecosto inicial de conservación y sistemas solares, los sobrecostos de mantenimiento y el valor residual de la inversión después de 20 años.

Se concluye que aun para el costo de gas natural, existe una subvariante de buena calidad constructiva con un nivel de ahorro del 38 %, cuyos costos de ahorro son comparables a los precios del combustible.

INTRODUCCION

El tema de los costos de construcción ha sido siempre un tema de difícil elucidación cuando se trata de generalizar valores y de esta manera abarcar una cantidad importante de casos posibles. Es costumbre resumir estos costos en un valor síntesis llamado costo por m² que es analizado y publicado

por diversas instituciones y medios (INDEC, FONAVI, CAC, revista VIVIENDA, diario CLARIN, etc.).

Estos valores se formulan en base al análisis que en la evolución mensual de los costos tiene un modelo teórico de determinadas características, perfectamente conocidas, ya que es imposible estimar un valor por m² si no está referido a un modelo determinado. Obviamente los valores obtenidos tienen ciertas diferencias entre sí en la medida en que son diferentes los modelos de base.

Por otro lado, cuando a un proyecto de arquitectura concebido dentro de cánones tradicionales se le incluyen medidas de conservación de energía y/o aprovechamiento de la energía solar, es opinión generalizada de que se agrega un sobrecosto al costo original de su construcción.

Si bien esto es discutible, pues un proyecto concebido desde su inicio como conservativo puede tener por comparación un precio menor o igual a otro que no cumpla tal condición, no es éste el caso común por no existir en nuestro medio tradición constructiva conservativa.

Hasta la fecha no existía un criterio metodológico verificable que permita estimar porcentualmente estos sobrecostos excepción hecha por algunos estudios sobre viviendas FONAVI (1).

Fué entonces cuando se encaró un proyecto que busca establecer niveles de optimización en la mezcla conservación-so-

* Investigador Conicet

lar para edificios pasivos y del cual la determinación de los sobrecostos y la relación de los mismos con los ahorros energéticos esperables y las implicancias económicas que para el usuario pueden tener los combustibles ahorrados, es una primera etapa. Este proyecto se encuentra aprobado para su financiación parcial por el Programa Nacional de Energías No Convencionales de la SECYT.

En esta primera etapa se han desarrollado los siguientes aspectos:

- Determinación de un marco de referencia para la elección del modelo.
- Aplicación sobre el modelo de una serie de mejoras constructivas para elevar su eficiencia térmica.
- Determinación de los sobrecostos de cada una de las mejoras propuestas sobre el modelo.
- Evaluación de los niveles de ahorro energético que cada mejora produce.
- Evaluación en el largo plazo (20 años) de las implicancias económicas de los combustibles ahorrados.

DETERMINACIÓN DE UN MARCO DE REFERENCIA PARA LA ELECCIÓN DEL MODELO

Para la elección del modelo se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Que correspondiera con la franja a la que tienen mayor acceso los profesionales (vivienda individual urbana o suburbana).
- Que tanto por la técnica constructiva, como por las características del proyecto, encuadre en los parámetros considerados standard.

Este marco corresponde con los sectores sociales llamados "medios" al cual se dirigen las Secciones de Ar-

quitectura de los diarios y al cual pertenecen los funcionarios que tienen cierto poder de decisión en estos temas.

Fuera de este marco quedan los planes FONAVI, las viviendas colectivas, las autoconstruidas y las suntuosas.

El modelo elegido resultó el que publica el diario CLARIN (2), del cual se muestran sus características principales en las figuras 1, 2 y 3.

Es intención de los autores, en sucesivas aproximaciones, ir ampliando el espectro de soluciones que se analicen y de esta manera abarcar mayores sectores sociales.

APLICACION SOBRE EL MODELO DE UNA SERIE DE MEJORAS CONSTRUCTIVAS PARA ELEVAR SU EFICIENCIA TERMICA.

Sobre el modelo elegido se realizaron una serie de mejoras para elevar su nivel de eficiencia térmica. Previamente, fué necesario realizar un cálculo de su comportamiento térmico en su versión original. La síntesis de estos resultados se muestran en la figura 4.

El modelo original tiene una orientación determinada. Para evaluar el efecto que podría producir sobre las necesidades térmicas y los aportes solares la rotación del mismo, se realizaron los cálculos correspondientes para distintas orientaciones y los resultados se sintetizan en el cuadro de la fig. 5.

A continuación se plantearon una serie de variantes constructivas destinadas a mejorar el comportamiento energético calculado. Estas variantes son:

- Variante I -Se modifica el criterio constructivo de muros y cubiertas, agregando aislaciones, barreras de vapor, etc
- Variante II -Es la Variante I más el agregado de burletes y de dobles vidrios.
- Variante III -A las Variantes I y II

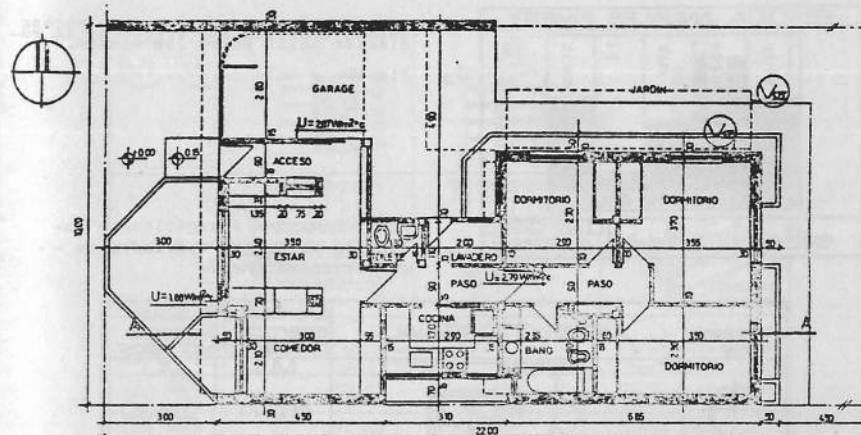


Fig 1-

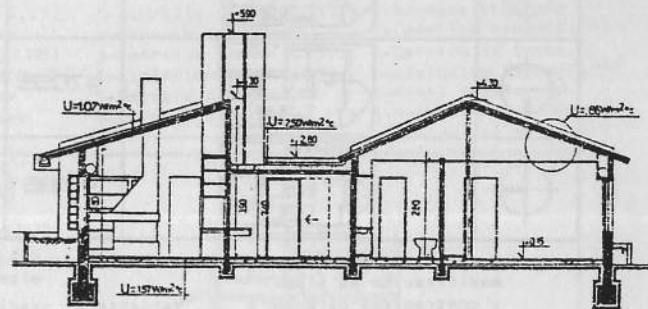


Fig 2-

CORTE A

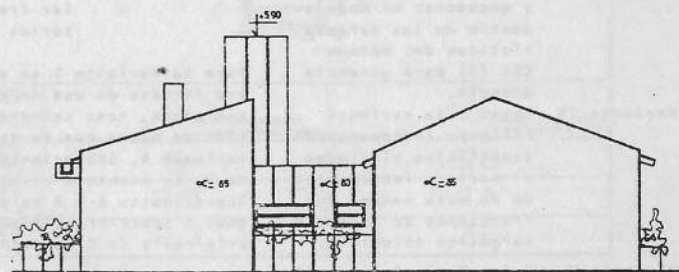
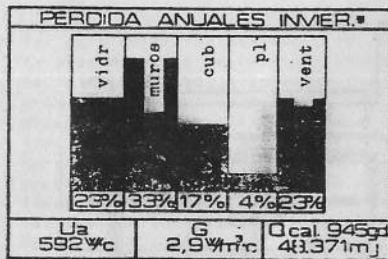


Fig 3-

FACHADA



*Las pérdidas por muros y techos están reducidas por efecto de la radiación solar sobre los mismos.

Fig 4-

Fig 5-Demandas energéticas y radiación solar por vidriados según orientaciones.-

Orientaciones	MODELO ORIGINAL	Demanda energía calefacción	E.Solar transmit. vidriados
		43371	11630
		47549	8654
		47055	10795
		43136	12725

sumadas se-agrega la modificación de pisos y contrapisos para aumentar la capacidad térmica de los mismos y encuadrar al modelo dentro de las características del método CCC (3) para ganancia directa.

Variante IV -Igual a la variante III pero incrementando superficies vidriadas al Norte e incrementando de esta manera las fracciones de ahorro energético obtenidas.

Variante V -A las Variantes I y II sumadas se agrega un muro colector acumulador en la cara Norte

del sector de los dormitorios.

Variante VI -Variantes I y II sumadas más la construcción de un espacio solar frente a los dormitorios.

Para la Variante I se estudiaron, sobre la base de una única solución de cubiertas, tres subvariantes de resolución de muros que se denominaron: Subvariante A, Subvariante B y Subvariante C. En cuanto a nivel de calidad las Subvariantes A y B se consideran de igual o superior calidad que el modelo original y la C de calidad inferior.

En la figura 6 se muestran las variantes I y II, en la fig. 7 las Variantes III y IV y en la fig. 8 las Variantes

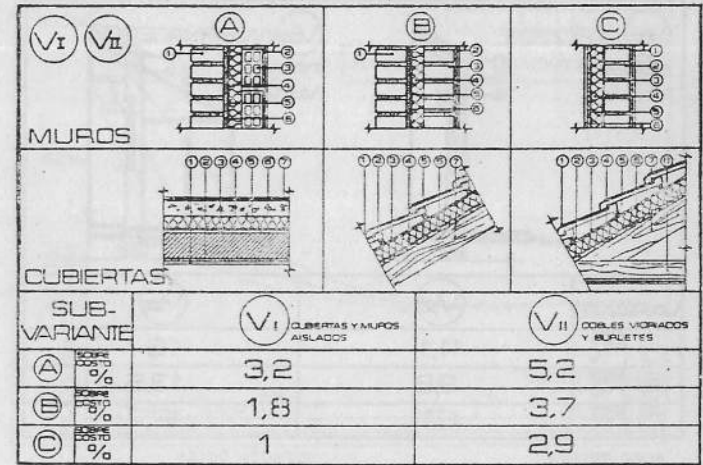


Fig 6- SUBVARIANTE A SUBVARIANTE B SUBVARIANTE C
 1-Ladrillo visto(C,15) 1-Ladrillo visto(C,15) 1-Revoque interior
 2-Revoque interior 2-Revoque interior 2-Ladrillo común(C,15)
 3-Ladrillo hueco(C,08) 3-Ladrillo común(C,15) 3-Barrera de vapor
 4-Aislación PoExp(C,05) 4-Aislación PoExp(C,05) 4-Aislación PoExp(C,06)
 5-Barrera de vapor 5-barrera de vapor 5-Metal desplegado
 6-Revoque hidrófugo 6-Revoque hidrófugo 6-Revoque exterior salpicado con ladrillo

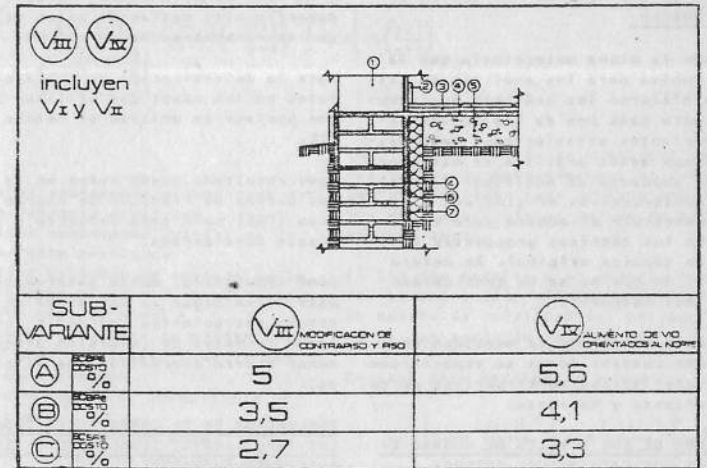


Fig 7- 1-Mampostería (C,30) 2-Zócalo 3-Piso de mosaicos 4-Aislación hidrófuga horiz.
 5-Contrapiso de Ho de piedra 6-Impermeabilización asfált. 7-Aislación perimetral-PoExp envuelto en film vinílico

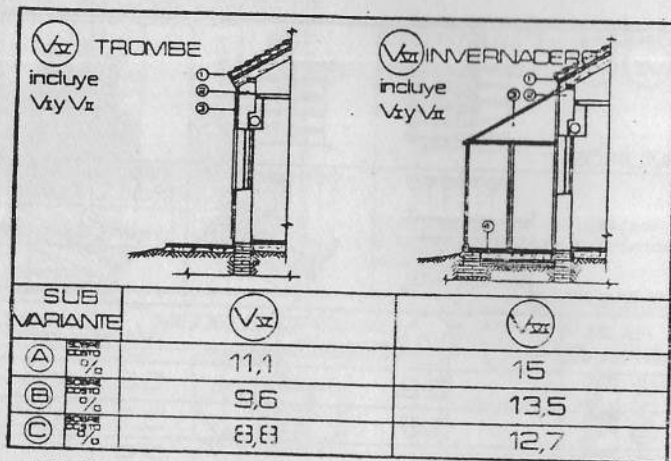


Fig 8- MURO TROMBE
1-Cubierta
2-Muro de HoA de 0,30
3-Carpint.simple vidr.

ESPACIO SOLAR
1-Cubierta
2-Muro HoA(0,30)
3-Carp.Doble Vidr.
4-Contrp.HoA(aisl)
piso de 18,88

tes V y VI.

DETERMINACION DE LOS SOBRECOSTOS PARA CADA UNA DE LAS HEJORAS PROPUESTAS SOBRE EL MODELO

Si siguiendo la misma metodología que la que se emplea para los análisis de costos, se hicieron los análisis de sobrecostos para cada una de las Subvariantes y Variantes establecidas. Debe destacarse que estos análisis se hicieron sobre el supuesto de modificar los criterios constructivos originales, o sea que al construir el modelo este se haría según las técnicas propuestas y no según la técnica original. Se aclara entonces, de que no se ha considerado el caso del Retrofit.

Los valores obtenidos se muestran en los mismos cuadros donde se especifican las características constructivas de cada Subvariante y Variante.

EVALUACION DE LOS NIVELES DE AHORRO ENERGETICO QUE CADA HEJORA PRODUCE

Se realizó el balance térmico en estado estacionario de cada una de las Variantes

Subvariantes estudiadas. Se estimó la reducción de la carga térmica, debido a la radiación solar sobre techos y muros (calculando las temperaturas superficiales medias de estos utilizando las relaciones de la ref. 4).

Para la determinación de los aportes solares en los casos que utilizan sistemas pasivos se utilizó el método del CCC.

Como resultado puede verse en la Fig. 9 las curvas de Fracción de Ahorro Energético (FAE) para cada variante y subvariante considerada.

Como comentario, puede observarse que esta curva sigue la ley usual de los retornos decrecientes, es decir que cada tramo sucesivo de inversión produce un menor ahorro energético que el precedente.

EVALUACION EN EL LARGO PLAZO (20AÑOS) DE LAS IMPLICANCIAS ECONOMICAS DE LOS COMBUSTIBLES AHORRADOS

Este análisis se realizó calculando para el largo plazo (en este caso 20 años)

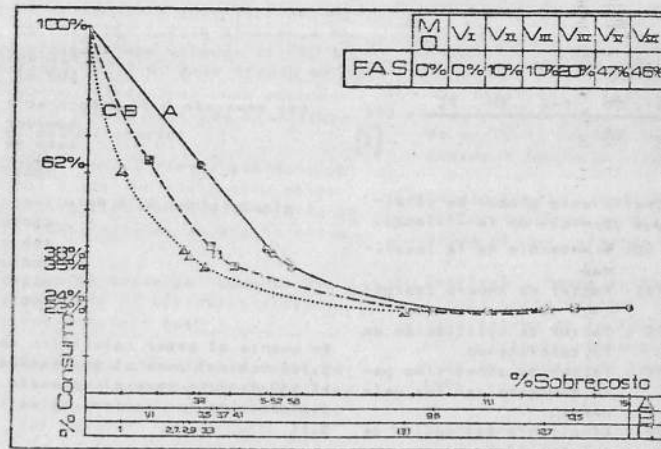


Fig 9-Relación entre el Factor de Ahorro Energético y los sobrecostos de las variantes estudiadas.-

el costo del combustible ahorrado (retrotrayéndolo a la actualidad) en relación con el sobrecosto efectuado.

El valor actualizado del combustible ahorrado se determina mediante:

$$SCA = SCI \left[1 - VR \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] + SCM \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] - CCA \left[1 + \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \right] \quad (1)$$

DONDE

- SCA: Es el sobrecosto actualizado de la Variante analizada
- SCI: Es el sobrecosto inicial de la Variante analizada
- VR: Valor estimado de reventa de la vivienda al cabo de N años (en este caso 20 años)
- SCM: Sobrecosto anual de mantenimiento como consecuencia de la variante elegida.
- CCA: Costo anual del combustible ahorrado
- i: Tasa de inflación anual
- d: Tasa de interés bancario anual (tasa libre al público)
- N: Número de años sobre los que se realiza el análisis.

Como simplificación se considera que los gastos de mantenimiento se realizan al finalizar cada período anual y los de combustible al inicio de cada período anual.

El CCA que permite a un usuario recuperar el sobrecosto efectuado (teniendo en cuenta la totalidad del período) será el que surja de hacer a SCA = 0.

En este caso particular tenemos:

$$CCA = \frac{SCI \left[1 - VR \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] + SCM \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right]}{\left[1 + \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{N-1} \right]} \quad (2)$$

También podemos ver que:

$$CCA = \frac{(UA) \cdot GD \cdot FAE \cdot FU \cdot FC}{Efi} \times CCO \quad (3)$$

en donde:

(UA) o: Coeficiente global de pérdidas térmicas de la vivienda.

GD: Grados-día de la localidad

FAE: Factor de Ahorro Energético de la variante.

FU: Factor de utilización de la calefacción

FC: Factor de conversión para Homogeneizar las unidades.

Efi: Eficiencia del equipo de calefacción.

CCO: Costo del combustible ahorrado en las unidades usuales.

Reemplazando (2) en (3) y considerando que: $SCM = SCI \times CAM$ siendo CAM el costo anual de mantenimiento considerado como una fracción del sobrecosto inicial de la vivienda, queda:

$$CCO = \frac{SCI \cdot Efi \left[\left(1 - VR \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right) + CAM \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \left(1 - \frac{1+i}{1+d} \right)^N \right]}{(UA) \cdot GD \cdot FAE \cdot FU \cdot FC \left[1 + \left(\frac{1+i}{d-i} \right) \left(1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right) \right)^N \right]} \quad (4)$$

Para un primer análisis se consideró un escenario con los siguientes parámetros:

VR = 0,8

i = 1,25 (corresponde a una tasa de inflación del 7 % mensual - 125 % anual)

d = 1,52 (corresponde con una tasa de interés pasivo del 8% mensual - TEA = 152%)

SCI = Los porcentuales calculados para cada variante sobre la base de un costo inicial para el modelo de A 69.631,58.- (627,48 A/m²) - Agosto/87.

Para los costos de combustibles o energías se tomó:

gas natural 0,23 A/m³ (precio al consumidor agosto/87 impuestos incluidos) Base 100 m³.

gas envasado 0,80 A/Kg (precio al consumidor de un tubo de 45 Kg

igual mes)

electricidad 0,14 A/Kw (precio al consumidor sobre un consumo bimestral de 350 Kw)

En cuanto al poder calorífico se tomó 9.300 Kcal/m³ para el gas natural y 12.000 Kcal/Kg para el envasado. La eficiencia de los equipos se estimó en 0.65.

Con estos datos se realizó el cálculo para cada una de las variantes y subvariantes y los resultados obtenidos se muestran en los cuadros de las figuras 10, 11 y 12.

CONCLUSIONES

- De la misma manera que los valores costo-construcción son generalizados por la práctica de la construcción a pesar de estar hechos sobre un modelo determinado, podemos prever igual generalización para los sobrecostos en conservación de las variantes estudiadas.

- Ahorros significativos de un 38% de FAE se obtienen con el primer tramo de inversión que corresponden con la variante I en sus distintas Subvariantes y con sobrecostos que oscilan entre el 1,8 % al 3,2 % para igual calidad constructiva. La experiencia indica que este tramo es asimilable con cierta facilidad por los usuarios al comprender las ventajas en nivel de habitabilidad que significan.

- Ahorros energéticos igualmente importantes se consiguen en el segundo tramo de la inversión (Variante II) donde se alcanzan valores del 62% de FAE para sobrecostos que se incrementan un 2% hasta alcanzar valores sumados (Variante I más Variante II) del 3,7 % y 5,2 %.

- En los siguientes tramos de inversión no se perciben ahorros importantes de FAE. Las curvas tienden a horizontalizarse con valores de FAE del orden del 76/77 %. Este efecto es conocido en las evaluaciones económicas y lo que se logra en este trabajo es cuantificarlo.

- La Subvariante C ofrece sobrecostos menores a los indicados pero estos no son significativos y se pierde calidad constructiva, lo que le resta atractivo.

- En cuanto al costo del combustible a horrado y con el escenario previsto se puede concluir que:

a) No existe alternativa constructiva que conservando la calidad original pueda competir con el gas natural. La variante que más se aproxima a la competitividad es la variante I B (conservando la calidad constructiva original).

b) En el caso del gas envasado, es igualmente la Variante IB la que ofrece producción de ahorro de energía a un costo cercano a la mitad del precio del combustible ahorrado, lo que implica que, aún en el caso de un factor de utilización (FU) de 0,5 pone a esta variante en condiciones de competitividad.

c) Si bien no es lo usual utilizar electricidad para calefacción, el análisis indica que aún las variantes con uso pasivo de energía solar compiten a pesar de su sobrecosto más elevado en este caso.

- El análisis y el método utilizado permitirían definir distintos escenarios en los que la inversión en conservación y uso pasivo de la energía solar puede llegar a ser de interés desde el punto de vista del usuario.

- Se destaca la importancia que el estudio y difusión de las nuevas pautas constructivas tienen para el éxito de cualquier programa de conservación de energía para la vivienda individual.

REFERENCIAS

- 1) De Rosa, Carlos "Evaluación de la efectividad económica de estrategias de diseño bioclimático a partir de una experiencia real en la provincia de Mendoza". Trabajo presentado en la XI Reunión de Trabajo de Asades - San Luis - 1986.
- 2) Diario Clarín, Sección Arquitectura "El presupuesto al día" que se publica el 3er. viernes de cada mes.
- 3) Fabris A., Yarle E. "Tablas del coeficiente Carga-Collector (CCC) para 60 localidades de la República Argentina". Trabajo presentado en X Reunión de Trabajo de Asades - Neuquén 1985.
- 4) Solar Engineering of Thermal Processes, Duffie y Beckman. Pergamon Press (1979).
- 5) Balcomb J. D. y Jones R. W. "Passive Solar Design Analysis and Supplement" - Passive Solar Design Handbook - Vol III - American Solar Energy Society.

COSTOS DEL COMBUSTIBLE AHORRADO

Figura 10: GAS NATURAL (A/m^3) -Agost/87-Precio al público = 0,23 A/m³

Varian. Subvar.	I	II	III	IV	V	VI
a	0,39	0,38	0,37	0,40	0,67	0,91
b	0,22	0,28	0,26	0,29	0,58	0,82
c	0,12	0,22	0,20	0,24	0,53	0,77

FIGURA 11: GAS ENVASADO (A/Kg) -Agost/87-Precio al público = 0,80 A/kg

Varian. Subvar.	I	II	III	IV	V	VI
a	0,50	0,49	0,47	0,51	0,86	1,17
b	0,28	0,36	0,33	0,37	0,74	1,05
c	0,15	0,28	0,36	0,31	0,68	0,99

Figura 12: ELECTRICIDAD (A/kwh) -Agost/87-Precio al público = 0,14 A/kwh

Varian. Subvar.	I	II	III	IV	V	VI
a	0,056	0,054	0,053	0,057	0,095	0,130
b	0,031	0,040	0,037	0,041	0,083	0,117
c	0,017	0,031	0,029	0,034	0,076	0,110

