

## **ANÁLISIS COSTO-BENEFICO ENTRE UN DISEÑO TRADICIONAL Y UN DISEÑO BIOCLIMÁTICO**

J. Manuel A. López P., David Morillón G.\* y Luis Rodríguez V.\*  
Área de planeación, Doble Dos Soluciones de Negocios, S. A. De C. V.  
Av. Universidad No. 1900 50-402, Coyoacán, C.P. 04360, México, D. F.  
Tel: (5) 475 80 18 Email: ddsolucionesdnegocios@yahoo.com  
Energía y Ambiente, Ingeniería de Sistemas  
Instituto de Ingeniería-UNAM  
Cd. Universitaria, Apdo. postal 70-472, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.  
Tel: (5) 622 81 32 al 36, Fax: (5) 622 81 37 Email: damg@pumas.iingen.unam.mx

### **RESUMEN**

Se presentan herramientas y criterios para el análisis comparativo de costos y beneficios entre un Diseño Tradicional (DT) y un Diseño Bioclimático (DB), complementándose con una aplicación. Para efectuar la comparación, las alternativas son llevadas a un mismo nivel a través de algunos criterios de evaluación como el Valor Presente (VP), Costo Anual Equivalente (CAE) y al final se estima el Costo de la Energía Conservada (CEC). Se toman en consideración los costos relacionados con la construcción, mantenimiento y operación de cada diseño. Las diferencias se establecen a partir de la aplicación de los criterios de evaluación y se revisa el margen económico que deja el diseño más económico con relación al más caro. Finalmente se evalúa el CEC de la medida bioclimática con relación a la tradicional. En las conclusiones se discuten las ventajas y desventajas económicas para cada una de las alternativas de diseño y se traducen al ámbito ecológico y social.

### **INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este artículo es realizar un análisis comparativo en términos de los costos y beneficios de los DB y los DT, para establecer ventajas y desventajas de unos con relación a los otros, principalmente en el ámbito económico. Los criterios utilizados para esta comparación son los del análisis costo beneficio, lo cual permite el traslado de todos los costos derivados de los proyectos a un plano de comparación normalizado, es decir, evaluar los beneficios de ambos proyectos en un plano que proporcione condiciones de competencia uniforme. Por otra parte, dado que los DB están estrechamente relacionados con el ahorro de energía, se introduce el criterio del CEC para evaluar el costo de la medida de ahorro implementada.

Dado que la construcción realizada para cualquiera de los dos tipos de proyectos es similar, es posible enfocar el estudio a los costos de operación mantenimiento de la edificación, especialmente en el consumo de energía eléctrica por climatización de espacios, entre otros. Esto es importante porque tanto los costos directos, indirectos, de operación y mantenimiento recaen en la economía del usuario, pues es este quien paga el enganche de su vivienda, las mensualidades del crédito, en el que hay cargos incluidos por el financiamiento y por la utilidad que el constructor determinó, y además, también paga sus recibos de energía eléctrica y mantenimiento de equipos de calefacción, refrigeración o ventilación según sea el caso. Por lo anterior, es importante realizar un análisis para identificar ese nicho de ahorro en los costos de edificaciones.

### **CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

El Análisis Costo – Beneficio (ACB) permite determinar los costos y beneficios a tener en cuenta en cada una de las perspectivas que se están considerando; por otra parte, mediante la actualización, se llega a una convergencia de los flujos futuros de beneficios y costos en un momento dado en el tiempo (VP) tornándolos comparables. Por otra parte, relaciona también los costos y beneficios del proyecto, utilizando indicadores de su grado de rentabilidad (TIR), aunque en este estudio no se utilizan.

Al combinar el ACB con el análisis de sensibilidad, los resultados pasan de ser un mero pronóstico a ser un análisis de escenarios, en este caso se utilizan solo algunas herramientas de este tipo de análisis, pues son las que resultan aplicables para poder realizar la comparación de estos tipos de diseño. Es importante notar que aunque los beneficios se refieren, en el sentido estricto, tanto a dinero como a bienes, servicios, empleos, etc., aquí los manejaremos solo como la diferencia entre egresos e ingresos de flujos de efectivo.

Los criterios que se utilizarán, son los relacionados con la evaluación financiera, la cual constituye uno de los tipos de evaluación privada que se realizan dentro del esquema del ACB. Estos criterios son el Valor Presente Neto (VPN) y CAE. El VPN, lo usaremos para comparar todos los gastos relacionados con cada tipo de diseño, esto es, traer a valor presente cada gasto relacionado con la inversión, operación y mantenimiento de cada diseño.

El VP representa el valor que un flujo de efectivo futuro tendría hoy en día o en algún tiempo, de acuerdo con una determinada *tasa de descuento* ( $r$ ); si se considera la inversión que dio lugar a esos flujos de efectivo, entonces el concepto es VPN. Si dicho valor es igual o mayor que cero, entonces el proyecto tiene valor positivo en el tiempo, lo cual indica que los beneficios totales son a favor y se contará con beneficios superiores a la inversión. En nuestro caso los VP serán negativos, pues estamos trayendo los gastos en el tiempo a valor presente.

El VP parte de la diferencia entre los ingresos y los egresos que se tengan y son traídas a valor presente. Entonces, los beneficios son la diferencia entre egresos e ingresos, el cálculo del VP se realiza mediante la ecuación (1). La comparación de los proyectos se dará mediante esta evaluación y podremos decir que será mejor el proyecto que presente el valor más cercano a cero, lo cual quiere decir que los costos asociados a ese proyecto son menores en términos relativos en el tiempo.

$$(1) \quad VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde:  $Y_t$  Flujo de ingresos del proyecto  
 $E_t$  Egresos del proyecto  
 $I_0$  Inversión inicial  
 $i$  Tasa de descuento

El CAE es el costo uniforme por periodo, resultado de la compra, operación y mantenimiento de equipos. En este caso, lo usaremos para evaluar el costo anual uniforme que tendría cada uno de los sistemas que intervienen en la comparación y a partir de esto, definir el más económico.

El CAE puede entenderse como una extensión del VPN, ya que consiste en convertir el valor de los costos en el tiempo a costos uniformes por año o por periodos seleccionados. Normalmente se manejan periodos similares a los de la vida útil del equipo; por otra parte, permite la comparación financiera y económica de adquirir y operar equipos con periodos de vida útil diferentes. Para su evaluación utilizaremos la ecuación (2).

$$(2) \quad CAE = (VP \text{ de los Costos}) / (\text{Factor de Anualidad})$$

El VP de los Costos representa el Valor Presente de los costos y se calcula de acuerdo con la ecuación (1). El Factor de Anualidad (FA) es el VP de la unidad monetaria en un periodo de  $t$  años, se calcula de acuerdo con la ecuación (3).

$$(3) \quad FA = \frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^t}$$

Donde:  $r$  es la tasa de interés, y  
 $t$  es el número de años, el cual se recomienda que sea igual a la vida útil del sistema o equipo.

Cuando se evalúa el CAE, debe considerarse el valor de mercado que el equipo tiene al final de su vida útil, pues esto también representa un flujo de dinero al final del periodo. Otro criterio que se utilizará para la comparación de los diseños es el CEC, el cual se define como el costo anual de implementar una medida de eficiencia energética, dividida por los ahorros anuales en energía. El uso del CEC permite una comparación del ahorro de energía con una tarifa de energía eléctrica determinada pero es independiente del costo de la energía. Se calcula de acuerdo con la ecuación (4).

$$(4) \quad CEC = \frac{(I_0 * r) + \Delta OM}{AAE}$$

Donde:  $I_0$  = Inversión inicial  
 $\Delta OM$  = Costo incremental de operación y mantenimiento  
 $AAE$  = Ahorro anual de energía  
 $r$  = Tasa de recuperación del capital

La Tasa de recuperación del capital se calcula con la ecuación (5).

$$(5) \quad r = \frac{g}{1 - \frac{1}{(1-g)^n}}$$

Donde:  $g$  = tasa de rendimiento real y  $n$  = Vida útil de la medida de ahorro.

Para la estimación de costos, estos se dividen en costos directos, indirectos, de operación y de mantenimiento. Los costos directos tienen que ver con los materiales, la mano de obra, la maquinaria y el equipo que intervienen en la realización de la construcción; estos costos son estimados bajo el procedimiento tradicional de cálculo de volúmenes de obra y análisis de precios unitarios por concepto de obra. Los costos indirectos por su parte, incluyen los gastos de oficina central, gastos de campamentos, utilidad y gastos por financiamiento; en general todos aquellos gastos que no tienen injerencia directa en la obra. Los costos de operación se refieren a lo que el usuario gasta en la vivienda para mantenerla funcionando y para generar un ambiente de confort en la misma; se refieren principalmente a los equipos de energía inducida, por lo que interviene la energía (kWh), la demanda (kW) y el factor de potencia. Los costos de mantenimiento se relacionan con la reposición de elementos para que la vivienda continúe operando; se incluyen cargos por reposición de partes de los equipos, limpieza de los equipos, misceláneos y depreciación del equipo.

## ANÁLISIS COMPARATIVO

En este ejercicio se comparan las alternativas de climatización de un par de edificios del Instituto Nacional de Salud en Cuernavaca, Mor. México. En el ejercicio se realiza el análisis mediante sistema de enfriamiento tradicional (fig. 2) y mediante sistemas pasivos (fig. 3) de climatización. El conjunto consta de dos edificios "A" y "B", para los que se requiere enfriamiento.

Fig. 1.- Edificio con sistemas pasivos

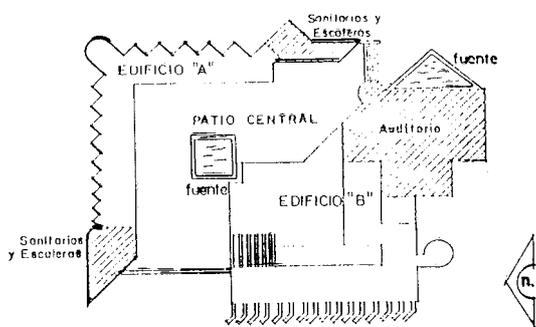
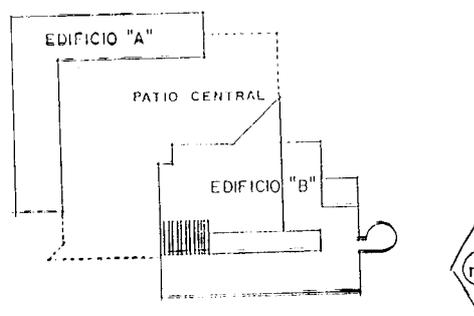


Figura No. 2.- Edificio con sistema tradicional



### Enfriamiento mediante equipo acondicionador de aire, Sistema Tradicional

Primero se determinó la carga de enfriamiento requerida, de acuerdo al valor más alto registrado durante el día de máxima temperatura que para este caso fue el 18 de mayo. Con esto, para el edificio "A" se obtuvo un requerimiento de 414.5 kW térmicos y para el edificio "B" de 624 kW térmicos, lo que hace un total de 1,039.1 kW térmicos.

La capacidad requerida del equipo sería 295.45 toneladas de refrigeración (1,039.1 KW térmicos / 3.517 kW/Ton) Con esto, podemos obtener el costo aproximado del equipo, que sería \$ 221,587.50 USD (295.45 toneladas de refrigeración X 750.00 USD/ tonelada de refrigeración). En cuanto a la ductería, los requerimientos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.- requerimientos de ductos para el funcionamiento del equipo

Ducto	Sec. (mts)	Edif. "A"	Edif. "B"	Total
Ppal.	3.75 x 1.0	20.00	0.00	20.0
	3.00 x 1.0	0.00	17.50	17.5
Secund.	1.00 x 1.0	780.00	460.00	1,240.0

Usando lámina galvanizada calibre 22 y 24, se tiene un peso de 8,430 kilogramos. El costo por kilogramo de ducto instalado es \$ 2.40 USD. Con esto se calcula el costo total por concepto de tubería de: \$ 20,232.00 USD.

El costo del recubrimiento es de \$6.00 USD por metro cuadrado y con una estimación de 5,290 metros cuadrados de ductería, se obtienen que el costo total por recubrimiento es de \$31,740.00 USD. En la tabla 2 se integran todos los costos para obtener la inversión requerida.

Tabla 2.- Costos totales del equipo de climatización

Cargo	Importe en USD
Ductería	221,587.50
Recubrimiento	20,232.00
Equipo de aire	31,740.00
<b>Total</b>	<b>273,559.50</b>

En cuanto a la operación y mantenimiento se tiene lo siguiente: Para la operación se considera una tarifa de \$ 0.05 USD por kWh para el consumo y de \$ 5.1 USD por kW/mes para la demanda. Entonces en cuanto a consumo se tiene un cargo de \$ 24,729.2 USD (295.45 TON \* 1.5 kW/TON \* 6 hrs/día \* 31 días \* 6 meses \* \$ 0.05/kWh) y en cuanto a demanda de \$ 13,561.2 USD (295.45 TON \* 1.5 kW/TON \* \$5.1 USD/kWmes \* 6 meses), lo que hace un total de \$ 38,290.4 USD por operación. Para el mantenimiento se considera un cargo \$ 4,500.00 USD por servicio anual de mantenimiento y un cargo de \$54,712.00 USD por depreciación en línea recta a 5 años. Con esto se obtiene un VPN de \$ 734,733.2 USD y un CAE de \$ 119,573.8 USD.

### Enfriamiento mediante Sistemas Bioclimáticos

En el caso del edificio con sistemas pasivos, la carga térmica que se tiene que contrarrestar se va a absorber mediante varios dispositivos diseñados para tal efecto como lo son:

- El almacenamiento del edificio.
- La reducción de la radiación infrarroja en el patio central mediante el vidrio plata.
- La absorción de la radiación infrarroja que pasa con plantas trepadoras junto al vidrio del patio central.

- El enfriamiento evaporativo de las fuentes junto al auditorio y en el centro del patio central ayudadas por el paso de viento en esa zona.

De los dispositivos mencionados los únicos que consumirían energía eléctrica serían las dos bombas que accionarían a las fuentes, estas bombas tienen un costo aproximado de \$ 408.2 USD cada una y su consumo eléctrico es el siguiente:

14 amperes x 220 Volts = 3,080 Watts x 2 bombas = 6,160 Watts.

6,160 Watts x 6 hrs/día = 36,960 Watts/día x 20 días/mes = 739.2 kW/mes

El costo del consumo de esta energía sería de  $739.2 \times \$0.05 \text{ USD/kW} = \$36.96 / \text{mes}$

La inversión en vidrio plata se estima considerando que ese vidrio tiene un costo de \$21.50 por metro cuadrado instalado, por 200 m<sup>2</sup>, se obtiene una inversión de \$4,300.00 USD. Las fuentes que se instalarán en el interior se estiman en \$2,551.00 USD cada una, lo que hace un total de \$5,102.00 USD; y en cuanto a la incorporación de plantas trepadoras se considera un gasto de \$766.00 USD. Con esto se tiene un VPN de \$ 3,405.4 USD y un CAE de \$554.2 USD.

Para evaluar el CEC, se tiene una inversión de \$10,168.00 USD, con una tasa del 10% anual; el ΔOM será de \$221.76 USD por concepto de operación de las bombas en las fuentes por seis meses y el ahorro anual de energía sería equivalente a dejar de pagar el consumo y demanda del equipo de aire acondicionado, lo cual equivale a de \$ 38,290.4 USD. Con esto el CEC tiene un valor de 0.032, lo cual indica que el costo anual de ahorra esa energía es muy pequeño. Los resultados se presentan de manera resumida en la Tabla No. 3.

Tabla No. 3.- Resumen de resultados del análisis comparativo.

<b>Criterio</b>	<b>Diseño Tradicional (USD)</b>	<b>Diseño Bioclimático (USD)</b>
<b>VPN</b>	734,733.2	3,405.4
<b>CAE</b>	119,573.8	554.2
<b>CEC</b>	<b>0.032</b>	

De los resultados anteriores puede notarse que mientras para los DB se requiere una inversión muy pequeña, para los DT la inversión requerida es mucho mayor. Por otra parte, los costos de operación y mantenimiento establecen una diferencia de 125 veces más para el DT en cuanto a los pagos anualizados (CAE). El VPN de esos pagos establece también una diferencia muy extrema.

## CONCLUSIONES

Puede concluirse que es posible comparar las alternativas de DT y DB en un mismo plano de referencia, y que los elementos de evaluación utilizados son adecuados para ello.

Con la comparación de las alternativas de DT y DB pudo observarse que en un caso específico de edificios las diferencias en costos de operación y mantenimiento son tan notables que no se duda en asegurar que los DB presentan ventajas económicas principalmente para el usuario que es quien absorbe totalmente esos costos. Si estas ventajas se trasladan al aspecto social, esto representa una disminución del gasto social para la operación de unidades habitacionales si se diseñan bioclimáticas, lo que permite una mayor posibilidad de crédito para los usuarios y con ello una mayor demanda de este tipo de vivienda.

En el aspecto ecológico, el DB, al tener una menor demanda de energía convencional, representa mejoras en el medio ambiente, pues el consumo es menor y esto contribuye a que la producción de energía no se incremente en rangos tan amplios para el consumo residencial.

Es necesario entonces, que cambiemos de paradigma, dejando atrás los proyectos que no toman en cuenta los impactos al medio ambiente, a la sociedad y al usuario en general, y que aprovechemos este tipo de herramientas nuevas para encaminarnos hacia una cultura de uso eficiente de recursos y sustentabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brealey, R. Myers S. y Marcus A. *Fundamentals of Corporate Finance*. McGraw-Hill. USA 1995.
- Cohen E., Franco R. *Evaluación de Proyectos Sociales*. Siglo XXI editores. 4ta Edición. México 1997.
- Morales, D. *Tesis de maestría en arquitectura. Opción Tecnología*, UNAM. México 1989.
- Morillón, D. *Análisis económico del Diseño Bioclimático*. Notas curso Diseño Bioclimático. México 1996.
- Ross, S. Westerfield, R. y Jaffe, J. *Corporate Finance*. 4ta Edición. McGraw-Hill. USA 1996.
- Sapag, N. y Sapag, R. *Preparación y Evaluación de Proyectos*. 3ra. Edición. McGraw-Hill. Colombia 1995.