

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

CÁTEDRA DE "CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS"

**SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS
EN BASE AL MÉTODO DEL VALOR
PRESENTE**

VERSIÓN AL 16/08/2005

Ing. Sandra M. PÉREZ

INDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	3
<u>MÉTODO DEL MENOR VALOR ACTUAL NETO</u>	3
I) COSTO DE INVERSIÓN INICIAL	5
II) COSTO DE LA ENERGÍA	8
CÁLCULO DE LA ALTURA MANOMÉTRICA NECESARIA	8
CÁLCULO DE LA POTENCIA A SUMINISTRAR POR EL EQUIPO	9
ENERGÍA CONSUMIDA POR CADA IMPULSIÓN	9
ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA POR CADA ALTERNATIVA	10
CÁLCULO DEL COSTO DE LA ENERGÍA	10
III) COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	11
<u>SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ECONÓMICA</u>	11

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS EN BASE AL MÉTODO DEL MENOR VALOR ACTUAL NETO

INTRODUCCIÓN

Cualquier proyecto, en la Ingeniería Civil, puede llegar a resolverse de infinitas maneras (alternativas) y, por lo general, la elección de la alternativa que finalmente se adoptará queda muy subordinada al criterio particular del proyectista.

En el caso especial de los proyectos de saneamiento la elección es particularmente compleja, ya que las variables que entran en juego son muchas y, a veces, de difícil determinación.

Una solución al problema muy usada en la práctica es la de optar por la alternativa que signifique el menor costo de obra. Sin embargo, este es un criterio bastante criticable, ya que no tiene en cuenta, de ninguna forma, la optimización del sistema, lo que podrá ocasionar inconvenientes o costos muy elevados para el funcionamiento de la obra durante su vida útil.

No debemos olvidar que las obras de saneamiento tienen una componente social muy fuerte, por lo que se debe tratar de evitar desperfectos que puedan afectar al servicio o costos excesivos que, en definitiva, deberán ser costeados por la comunidad.

La mejor opción será la elección de la alternativa que optimice la obra en todo sentido: económico y funcional.

Lo más recomendable sería realizar una preselección de las alternativas más eficientes en lo que hace a la parte técnica.

Una vez definida esta preselección, debería realizarse, entonces, un estudio económico (con un enfoque totalmente preliminar) para determinar cuál será la alternativa más conveniente. Este estudio debería tener en cuenta la mayor cantidad de variables posibles que entren en juego, tanto en lo que hace a la construcción de la obra en sí, como a las que aparecerán a lo largo de su vida útil. Además, el método que se adopte para el estudio deberá tener en cuenta que los sucesos a considerar no tendrán lugar en el mismo momento, sino que estarán diferidos en el tiempo.

A continuación pasamos a explicar el “Método del Menor Valor Actual Neto”, que sirve justamente para realizar el análisis económico mencionado, aplicado, en este caso, especialmente para las obras de Acueductos a Presión.

MÉTODO DEL MENOR VALOR ACTUAL NETO

Este método implica estudiar tanto los costos de inversión inicial como aquellos que se sucederán a lo largo de la vida útil de la obra, tales como costos de operación y mantenimiento, costos de energía, etc. para cada alternativa en consideración.

Luego, con todos estos datos, el método calcula el VALOR ACTUAL NETO, que no es más que la suma de costos que implicará la construcción y operación de la obra llevados al año cero (para poder hacerlos comparables) a través de una tasa de interés adecuada.

La obra más económica será, entonces, aquella alternativa cuyo VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.) sea mínimo.

Para ser suficientemente representativo, el cálculo del V.A.N. deberá comprender:

A) Costo de inversión inicial, que incluye:

- Excavación
- Cañerías, incluyendo provisión acarreo y colocación
- Estaciones de Bombeo
- Cisternas
- Cámaras Compensadoras
- Cámaras para Válvulas de Control
- Cámaras para Válvulas de aire
- Cámaras para Válvulas de desagüe
- Cámaras para Válvulas Seccionadoras
- Sistema de Telecontrol
- Líneas Eléctricas

B) Costos diferidos a lo largo de la vida útil, que son los ocasionados por:

- Provisión de Energía
- Operación y Mantenimiento del Acueducto

Estos últimos costos, por supuesto, deberán ser convertidos al año cero (año en que se realiza la inversión) a fin de poder compararlos con los primeros.

Para esto se calcula el Valor Actual Neto de cada ítem en base a una tasa de interés adecuada "i" a partir de la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{s=1}^n \frac{C_s}{(1 + \text{int})^s}$$

Donde:

- VAN = Valor Actual Neto
- C_s = Costo del ítem en el año s
- n = Número de años de vida útil
- int = Tasa de interés

Ahora, la correcta aplicación del método demandará una idea aproximada de los siguientes valores:

- Costo Unitario de Tuberías Instaladas, por diámetro y clase : Cu_T (\$/m).
- Costo Unitario de Excavación: Cu_{EXC} (\$/m³).
- Costo de las posibles Estaciones de Bombeo por unidad de potencia: Cu_{EB} (\$/Kwh).
- Costo de las posibles Cisternas: Cu_C (\$/m³).
- Costo de las posibles Cámaras Reguladoras de Presión y/o Caudal : Cu_{CR} (\$/Unidad).
- Costo de las posibles Cámaras Compensadoras: Cu_{CC} (\$/m³).
- Costo del posible tendido de Líneas Eléctricas: Cu_{LE} (\$/m ó \$/Km).
- Costo Aproximado del Posible Telecontrol de las EB: Cu_{TEL} (\$/EB).
- Costo de las Cámaras de Aire: Cu_{CA} (\$/Unidad).
- Costo de las Cámaras de Desagüe: Cu_{CR} (\$/Unidad).
- Costo de las Cámaras Seccionadoras: Cu_{CS} (\$/Unidad).
- Costo estimado de operación y mantenimiento que requeriría cada estación de bombeo : Cu_{OM} (\$/EB).
- Costo Unitario de la Energía: Cu_E (\$/Kwh).

I) COSTO DE INVERSIÓN INICIAL

El método para determinar los costos de inversión inicial para las distintas alternativas en estudio será:

1. Plantear las diferentes alternativas en cuanto al número y distribución de las distintas componentes (estaciones de bombeo, cámaras compensadoras, etc.) a lo largo del acueducto, así como de los materiales de las tuberías, con el consiguiente dimensionamiento de las mismas para cada caso (siempre dentro de lo que permitan las condiciones de borde del problema, como ser presiones máximas admitidas, etc.)
2. Adoptar, para cada alternativa, aproximadamente los tipos de zanja, según tramos, donde se colocarán las tuberías.

3. Determinar, para cada alternativa, y de acuerdo al material de la conducción y el tipo de zanja, aproximadamente el espesor adecuado para cada tramo de acuerdo a la presión que deberá soportar el caño y al cálculo estructural del mismo (teniendo en cuenta cargas de relleno y tránsito).
4. Dividir, en cada alternativa, a la conducción en tramos de diámetro y espesor constantes.
5. Calcular el costo total de instalación de tuberías, para cada alternativa, como:

$$C_{Tk} = \sum_{j=1}^{m_k} (C_{uT_j} \cdot L_j + C_{EXC_j})$$

Donde:

- C_{Tk} = Costo total de instalación de tuberías para la alternativa k.
- m_k = Número de tramos de la alternativa k.
- L_j = Longitud del tramo j.
- C_{EXC_j} = Costo de excavación del tramo j = $C_{uEXC} \cdot V_j$. Siendo V_j = volumen excavado en el tramo j.

6. Estimar la longitud (L_{LE}) del tendido de líneas eléctricas que será necesario realizar en cada alternativa para abastecer a las Estaciones de Bombeo dispuestas. Luego, calcular el costo del ítem como:

$$C_{LEk} = C_{uLE} \cdot L_{LEk}$$

Donde:

- C_{LEk} = Costo de tendido de líneas eléctricas para la alternativa "k".
- L_{LEk} = Longitud de líneas necesaria para la alternativa "k"

7. Calcular el costo aproximado que demandarán las estaciones de bombeo, de la forma:

$$C_{EBk} = \sum_{j=1}^{j=N_{EBk}} C_{uEB} * P_{EBj}$$

Donde:

- C_{EBk} = Costo dado por las estaciones de bombeo para la alternativa "k"
- P_{EBj} = Potencia instalada en la Estación de Bombeo "j".
- N_{EBk} = Número de estaciones de bombeo para la variante "k".

8. Calcular el costo aproximado que demandarán las Cámaras Regulatoras de Presión y/o Caudal, de la forma:

$$C_{CR_k} = N_{CR_k} * C_{u_{CR}}$$

Donde:

- C_{CR_k} = Costo dado por las Estaciones Reguladoras de presión y/o caudal para la alternativa “k”.
- N_{CR_k} = Número de Estaciones Reguladoras de Presión y/o Caudal para la variante “k”

9. Calcular el costo aproximado que demandarán las Cámaras Compensadoras y Cisternas, de la forma:

$$C_{CC_k} = \sum_{j=1}^{j=N_{CC_k}} C_{u_{CC}} * V_{CC_j}$$

$$C_{C_k} = \sum_{j=1}^{j=N_{C_k}} C_{u_C} * V_{C_j}$$

Donde:

- C_{CC_k} = Costo dado por las Cámaras Compensadoras para la alternativa “k”
- V_{CC_j} = Volumen de la Cámara Compensadora “j”.
- N_{CC_k} = Número de Cámaras Compensadoras en la alternativa “k”.
- C_{C_k} = Costo dado por las Cisternas para la alternativa “k”
- V_{C_j} = Volumen de la Cisterna “j”.
- N_{C_k} = Número de Cisternas en la alternativa “k”.

10. Se calcula el costo aproximado que demandarán las Cámaras de Aire, Desagüe y Seccionadora, de la manera siguiente:

$$C_{CA_j} = N_{CA_j} * C_{u_{CA}}$$

$$C_{CD_k} = N_{CD_k} * C_{u_{CD}}$$

$$C_{CS_k} = N_{CS_k} * C_{u_{CS}}$$

Donde:

- C_{CA_j} = Costo dado por las Cámaras de Aire para la alternativa “k”
- N_{CA_k} : Número de Cámaras de Aire en la Alternativa “k”.
- C_{CD_j} = Costo dado por las Cámaras de Desagüe para la alternativa “k”
- N_{CD_k} : Número de Cámaras de Desagüe en la Alternativa “k”.
- C_{CS_j} = Costo dado por las Cámaras Seccionadoras para la alternativa “k”
- N_{CS_k} : Número de Cámaras Seccionadora en la Alternativa “k”.

11. Se calcula el costo aproximado que demandará la instalación del Telecontrol, de la forma:

$$C_{TEL_k} = N_{EB_k} * C_{u_{TEL}}$$

Donde:

- C_{TEL_k} = Costo dado por la instalación del Telecontrol para la alternativa "k".
- N_{EB_k} = Número de Estaciones de Bombeo de la Alternativa "k".

12. Finalmente, el valor del costo total (aproximado) de la Inversión Inicial que significará la obra para cada alternativa "K" será:

$$C_{TK} = C_{TK} + C_{LEK} + C_{EBK} + C_{CRK} + C_{CCK} + C_{CAK} + C_{CDK} + C_{CSK} + C_{TELK}$$

Debe aclararse que todos los parámetros adoptados en esta etapa (espesor de tuberías, zanjas, etc.) son PRELIMINARES. Los valores finos se determinarán una vez seleccionada la alternativa más adecuada, durante la etapa de proyecto propiamente dicho.

II) COSTO DE LA ENERGÍA

Cálculo de la Altura Manométrica Necesaria

El costo de operación energética será el costo de bombeo. Este es un costo diferido a lo largo de la vida útil de la obra y habrá que calcularlo para cada año "s".

Para estimarlo, será necesario, antes que nada, calcular, para cada alternativa "k", y para cada estación de bombeo "j" correspondiente a dicha alternativa, la altura manométrica $H_{m_{kjs}}$ necesaria para el año "s", con el fin de salvar el desnivel topográfico $H_{T_{kj}}$ y las pérdidas por fricción $\Delta j_{F_{kjs}}$ y localizadas $\Delta j_{L_{kjs}}$. Dicha altura manométrica se calculará según :

$$H_{m_{kjs}} = H_{T_{kj}} + \Delta j_{F_{kjs}} + \Delta j_{L_{kjs}}$$

El cálculo podrá hacerse adecuadamente dividiendo a la impulsión de cada estación de bombeo "j" (de cada alternativa de proyecto "k") en m_{kj} tramos de tuberías de diámetro, material y caudal constante.

Entonces, calculando las pérdidas por fricción mediante la fórmula de Hazen y Williams adoptando una longitud equivalente L_{eq} para absorber las pérdidas localizadas en cada tramo "i", expresión anterior queda:

$$H_{m_{kjs}} = H_{T_{kj}} + \sum_{i=1}^{m_{kj}} \frac{(L_i + L_{e_i})}{(0,279.C_i)^{1,852}} \frac{Q_s^{1,852}}{D_i^{4,87}}$$

Donde:

- $H_{m_{kjs}}$ = Altura manométrica necesaria para la estación de Bombeo “j” de la alternativa “k” en el año “s”.
- m_{kj} = Número de tramos diferentes en la impulsión de la estación de bombeo “j” de la alternativa “k”.
- $H_{T_{js}}$ = Desnivel topográfico de la estación de bombeo “j” de la alternativa “k”.
- L_i = Longitud del tramo “i”.
- Le_i = Longitud equivalente del tramo “i”.
- C_i = Coeficiente de Hazen y Williams para el tramo “i” (según el material del tramo).
- D_i = Diámetro de la tubería en el tramo “i”.
- Q_s = Caudal transportado en el año “s” en la impulsión “j”.

Cálculo de la Potencia a Suministrar por el Equipo

De acuerdo al cálculo anterior, la potencia que deberá suministrar el equipo en cada impulsión “j” durante el año “s” será, para cada alternativa “k”:

$$N_{kjs} = \frac{\gamma \cdot Q_{kjs} \cdot H_{m_{kjs}}}{102 \cdot \eta} = \frac{\gamma \cdot Q_{kjs}}{102 \cdot \eta} \left[H_{T_{kj}} + \sum_{i=1}^{m_{kj}} \frac{(L_i + Le_i)}{(0,279 \cdot C_i)^{1,852}} \frac{Q_s^{1,852}}{D_i^{4,87}} \right]$$

Donde:

- N_{kjs} = Potencia a suministrar por el equipo, en la impulsión “j” de la alternativa “k”, en el año “s”.
- Q_{kjs} = Caudal transportado en la impulsión “j” de la alternativa “k” durante el año “s”.
- γ = Peso específico del líquido transportado.
- η = Rendimiento de la bomba.

Energía Consumida por cada Impulsión

De esta forma, la energía consumida en el año s será:

$$E_{kjs} = N_{kjs} \cdot t_{d_{js}} \cdot t_{a_{js}}$$

Donde:

- E_{kjs} = Energía consumida, para la impulsión “j” de la alternativa “k”, en el año “s”.
- $t_{d_{js}}$ = Tiempo (en horas) de funcionamiento de la estación “j” por día.
- $t_{a_{js}}$ = Tiempo (en días) de funcionamiento del equipo de la estación “j” en el año.

Por lo tanto,

$$E_{kjs} = \frac{\gamma \cdot Q_{kjs} \cdot H_{m_{kjs}}}{102 \cdot \eta} t_{d_{kjs}} t_{a_{kjs}} = \frac{\gamma \cdot Q_{kjs}}{102 \cdot \eta} \left[H_{T_{kj}} + \sum_{i=1}^{m_{kj}} \frac{(L_i + Le_i)}{(0,279 \cdot C_i)^{1,852}} \frac{Q_s^{1,852}}{D_i^{4,87}} \right] t_{d_{kjs}} t_{a_{kjs}}$$

Energía Total Consumida por cada Alternativa

Sumando la energía consumida por cada impulsión, para cada alternativa “k” la energía total consumida en el año “s” será:

$$E_{ks} = \sum_{j=1}^{N_{EBk}} \frac{\gamma \cdot Q_{kjs}}{102 \cdot \eta} \left[H_{T_{kj}} + \sum_{i=1}^{m_{kj}} \frac{(L_i + Le_i)}{(0,279 \cdot C_i)^{1,852}} \frac{Q_s^{1,852}}{D_i^{4,87}} \right] t_{d_{kjs}} t_{a_{kjs}}$$

Donde:

- E_{ks} = Energía total consumida por la alternativa “k” durante el año “s”.
- N_{EBk} = Número de impulsiones (o estaciones de bombeo) en la alternativa “k”.

Cálculo del Costo de la Energía

Conociendo el consumo de energía para cada año, se podrá calcular el costo de la energía, para la alternativa k en el año s, como:

$$C_{Eks} = C_{uE} \cdot E_{ks}$$

Donde:

- C_{Es} es el costo total de la energía de la alternativa “k” en el año “s”.
- C_{uE} es el precio unitario (en \$/Kwh) de la energía.

Ahora, llevando todos estos costos al año cero, el VALOR ACTUAL NETO DEL COSTO DE ENERGÍA para la alternativa “k” será :

$$VAN_{Ek} = \sum_{s=1}^n \left(\sum_{j=1}^{N_{EBk}} \frac{\gamma \cdot Q_{kjs}}{102 \cdot \eta} \left[H_{T_{kj}} + \sum_{i=1}^{m_{kj}} \frac{(L_i + Le_i)}{(0,279 \cdot C_i)^{1,852}} \frac{Q_s^{1,852}}{D_i^{4,87}} \right] t_{d_{kjs}} t_{a_{kjs}} \right) \frac{1}{(1 + int)^s}$$

III) COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se analizarán detalladamente todos los costos anuales requeridos por la operación y mantenimiento del sistema, incluyendo mano de obra, insumos, reposiciones, reparaciones y gastos administrativos directos e indirectos.

Se calculará este costo para cada alternativa “k” y para cada año “s”, y luego se procederá a calcular el VAN de este ítem en forma similar a como se hizo anteriormente.

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ECONÓMICA

Una vez calculados todos los costos para cada alternativa, podrá confeccionarse una tabla resumen, como la que se muestra más abajo, con el fin de comparar las alternativas y poder elegir la que signifique menor costo total (por supuesto, estamos partiendo de la base de que, técnicamente, las alternativas consideradas cumplen con todos los requisitos).

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
COSTO INVERSIÓN INICIAL			
V.A.N. ENERGÍA			
V.A.N. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
COSTO TOTAL			

La alternativa que presente el menor COSTO TOTAL será, por supuesto, la más adecuada y económica. Además, será la alternativa ideal, pues optimiza todos los rubros del sistema.