

CONCEPTOS GENERALES SOBRE INGIENIERIA EN PROYECTOS DE ENERGÍA (TMAR, VPN, TIR) PARTE II

Ejemplo 3: Valor Presente Neto

Supóngase que se ha hecho cierto estudio que tomó en cuenta la posibilidad de invertir en una industria metalmecánica. Se calculó una inversión inicial de \$1000 con la posibilidad de obtener las ganancias de fin de año que se muestran en la Figura 3.

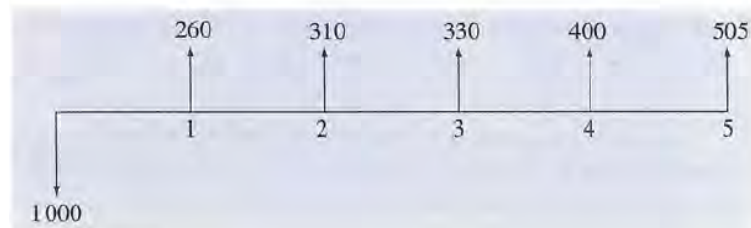


Figura 3. Gráfica de flujo de capital del ejemplo 3.

La pregunta que se hacen los inversionistas es, ¿conviene invertir en este proyecto dadas las expectativas de ganancia e inversión? Para responder a esta pregunta se puede utilizar el VPN como criterio de selección. Para calcularlo, solo traslade los flujos de los años futuros al tiempo presente y réstese la inversión inicial que ya está en tiempo presente. Los flujos se descuentan a una tasa que corresponde a la TMAR, de acuerdo con la siguiente fórmula:

Donde:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad (4)$$

FNE_n = flujo neto de efectivo del año n , que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n .

P = Inversión inicial en el año cero.

i = tasa de referencia que corresponde a la TMAR.

Como ya se mencionó, el inversionista fija la TMAR con base en el riesgo que, él mismo considera, que tiene la inversión que pretende realizar. El análisis de riesgo puede ser cualitativo, es decir, que el inversionista lo determina a partir de su experiencia, o bien, puede ser cuantitativo. Como quiera que sea, supóngase que hay seis diferentes inversionistas que desean poner su capital en la industria metalmeccánica. Cada uno tiene una percepción del riesgo muy diferente, es decir, han asignado una TMAR distinta a la inversión y, por lo tanto, cada uno de ellos obtuvo un VPN diferente. En la Tabla 2 se muestran los resultados:

Tabla 2. Tabla de inversionistas del ejemplo 3.

Inversionista	TMAR	\$VPN
1	5%	538.62
2	10%	327.26
3	15%	157.24
4	20%	18.76
5	25%	-95.32
6	30%	-190.30

La primera pregunta es: ¿cuál de todos los inversionistas ganará más? Si se observa la forma en que está calculado el VPN, el resultado está expresado en dinero.

El inversionista 1 podría decir que el resultado que obtuvo es equivalente a que él invierta \$1 000, gane 5% cada año durante cinco años (que es el horizonte de análisis) y que además el banco o sitio donde invirtió le diera \$538.62 al momento de hacer la inversión. El inversionista 4 diría que a pesar de que su resultado es equivalente a ganar 20% sobre su inversión cada año, durante cinco años, al momento de invertir. - solo le darían \$18.76 extra. Por último, los

inversionistas 5 y 6 dirían que, en vez de ganar, ellos perderían, dado el resultado obtenido en su VPN ¿Es esto cierto?

Obsérvese que se utilizó la expresión, su resultado es equivalente a, y lo cierto es que todos están ganando lo mismo. Esto puede comprobarse fácilmente observando que los flujos de efectivo de la gráfica 3.2 no cambian para ninguno de ellos, por lo tanto, todos ganarían lo mismo. Entonces, ¿qué interpretación debe darse a los VPN obtenidos? El VPN, tal y como se calcula, simplemente indica si el inversionista está ganando un aproximado del porcentaje de ganancia que él mismo fijó como mínimo aceptable. Esto significa que para los inversionistas 1, 2, 3 y 4, que solicitaron una ganancia de al menos 20% para aceptar invertir, el proyecto del ejemplo 3.1 definitivamente ofrece un rendimiento superior a 20%. En el caso de los inversionistas 5 y 6, no es que pierdan si invierten, sino que la interpretación es que el proyecto no proporcionará la ganancia que ellos están solicitando como mínima para realizar la inversión, es decir, el proyecto no rinde 25% y menos 30%. Por tal razón, los criterios para tomar una decisión con el VPN son:

Si $VPN > 0$, es conveniente aceptar la inversión, ya que se estaría ganando más del rendimiento solicitado.

Si $VPN < 0$, se debe rechazar la inversión porque no se estaría ganando el rendimiento mínimo solicitado.

Obsérvese que la curva de la Figura 4 se construyó con los datos obtenidos de la Tabla 2. En realidad, la curva corresponde a la equivalencia del VPN. Esto significa que el VPN que gana el inversionista 1 a 5%, que es su TMAR, que lo que ganan los demás inversionistas a sus respectivas TMAR. De nuevo se repite el hecho de que todos los inversionistas ganan lo mismo, puesto que los flujos de efectivo de cada año no cambian para ninguno de ellos. Y todas estas ganancias equivalentes al mismo tiempo son equivalentes a

ganar la tasa anual de rendimiento que genera la inversión por sí misma.

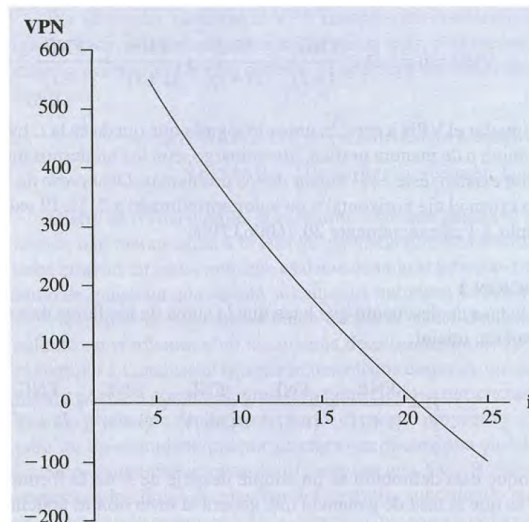


Figura 4. Gráfica del VPN de acuerdo con los datos del ejemplo 3.

Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

La ganancia anual que tiene cada inversionista se puede expresar como una tasa de rendimiento o de ganancia anual llamada tasa interna de rendimiento. En la Figura 4 se observa que, dado que la tasa de interés, que en este caso es la TMAR, es fijada por el inversionista, conforme esta aumenta el VPN se vuelve más pequeño, hasta que en determinado valor se convierte en cero, y es precisamente en ese punto donde se encuentra la TIR. TIR es la tasa de descuento que hace el $VPN = 0$.

Aunque esta definición es un simple despeje de P de la ecuación (5), lo que establece es que la tasa de ganancia que genera la inversión es aquella que iguala, a su valor equivalente, la suma de las ganancias a la inversión que les dio origen. La TIR es la tasa de interés

que iguala el valor futuro de la inversión con la suma de los valores futuros equivalente de las ganancias, comparando el dinero al final del periodo de análisis (Baca Urbina, 2007).

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5}{(1+i)^5} \quad (5)$$

En esta definición se aprovecha la facultad que tiene el dinero para ser comparado en forma válida con su valor equivalente y en el mismo instante de tiempo, lo cual significa que si en la ecuación (5) se sustituye $i = 0.2076006331$, casi se cumplirá la igualdad. El casi se debe a que todavía es posible agregar más dígitos al resultado para hacer que la igualdad se cumpla directamente. Cuando el VPN = 0 en realidad no significa que se gane o que se pierda, ocurre todo lo contrario. Cuando el VPN = 0 se está teniendo una ganancia equivalente a la que tuvieron los seis inversionistas del ejemplo 3.1, es decir, si se invierten \$1000 es lo mismo tener una ganancia anual de 20.76006331 % cada año durante cinco años, que ganar 5% sobre la inversión cada año más \$538.32 al momento de hacer la inversión (Baca Urbina, 2007).

Como la TMAR es fijada por el inversionista y se supone que 20.76% fue determinado por el inversionista, entonces cuando el VPN = 0 se debe aceptar el proyecto, ya que se estaría ganando exactamente la TMAR, por eso se le llama tasa mínima aceptable. Por lo tanto, el criterio para tomar decisiones utilizando el VPN consiste en aceptar la inversión cuando VPN: 0. Por otro lado, mientras el VPN cumpla esta condición de ser mayor o al menos igual a cero, se sabe que se estará ganando más, o al menos la tasa que se fijó como mínima aceptable. De esta manera, el criterio para tomar decisiones con la TIR es el siguiente:

- Si $TMAR \geq TIR$ es recomendable la inversión.
- Si $TMAR < TIR$ es preciso rechazar la inversión.

Dicho de forma simple, si el rendimiento que genera el proyecto por sí mismo es mayor, o al menos igual a la tasa de ganancia que está solicitando el inversionista, se debe invertir; en caso contrario, es decir, cuando el proyecto no genera ni siquiera el mínimo de ganancia que se está solicitando, entonces se deberá rechazar la inversión.

De esto se deduce que el punto crítico al tomar decisiones de inversión no es el cálculo en sí mismo, sino la correcta determinación de la TMAR. De acuerdo con el ejemplo anterior, incluso al invertir en una misma empresa, un inversionista puede percibir menor riesgo si conoce el ramo y ya tiene cierta experiencia produciendo y comercializando productos similares; en tanto, el mismo proyecto puede parecer muy riesgoso para un inversionista que por primera vez incursiona en tal sector del mercado. Por lo tanto, cada inversionista podría asignar una TMAR muy distinta (Baca Urbina, 2007).

Asimismo, con respecto a los flujos de efectivo del ejemplo, suponiendo que fueran reales, son solo expectativas de ganancia y nada garantiza que se va a obtener exactamente la cantidad determinada y en el periodo establecido. Por ello, otro aspecto muy importante de la toma de decisiones es la forma en que se realizan las estimaciones de ganancia para el futuro de la inversión. La ganancia esperada, ya sea que se exprese como VPN o como TIR, se obtendrá solo si la inversión y la operación de las instalaciones se realizan exactamente como se planearon. También es necesario que los métodos de planeación sean los adecuados en el tipo y la forma de aplicarse. No obstante, los valores de VPN y TIR siguen siendo una expectativa de ganancia (Baca Urbina, 2007).

Desventajas en el uso de la TIR como Método de Análisis

- Por la forma en que se calculan, tanto la TIR como el VPN suponen implícitamente que todas las ganancias anuales (los FNE) se reinvierten totalmente en la propia empresa, lo cual es falso. Esta práctica podría darse en algunos años, pero no en todos. En un año cualquiera en que se repartan dividendos, una práctica común en las empresas, ya no es posible alcanzar la TIR predicha en el cálculo. Precisamente, el nombre de tasa interna de rendimiento viene de la consideración de que es un rendimiento generado solo por la reinversión interna de todas las ganancias que se hace en la empresa (Baca Urbina, 2007).
- La fórmula para calcular la TIR es un polinomio de grado n . La obtención de las raíces de cualquier polinomio está regida por la regla de los signos de Descartes que dice: "Un polinomio puede tener tantas raíces como cambios de signo tenga el polinomio." Como el cálculo de la TIR es, de hecho, la obtención de la raíz del polinomio planteado, significa que si este tiene dos cambios de signo, se pueden obtener hasta dos raíces, lo cual equivale a obtener dos TIR que no tienen interpretación económica. Por lo general, solo existe un cambio de signo, la inversión inicial con signo negativo y los demás miembros del polinomio son positivos, pero interpretados como ganancias iguales. Si en cualquier práctica empresarial, durante un año dado, en vez de obtener ganancias hay pérdidas o una inversión adicional que hace que los costos superen a las ganancias, se producirá un segundo signo negativo. Cuando se presenta esta situación, por ejemplo, en el año tres, la ecuación de cálculo aparecería como:

$$0 = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} - \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

En la cual, con estos tres cambios de signo se puede producir una triple raíz y, por lo tanto, una doble TIR. Cuando se dan este tipo de casos, el método de la TIR no es útil para tomar decisiones. Aunque esto no es tan simple como parece, según se mostrará en algunos ejemplos.

Al decidir la inversión en un solo proyecto, los métodos de VPN y TIR siempre arrojan el mismo resultado. Pero cuando se comparan dos o más proyectos pueden resultar decisiones contrarias. En estos casos es preferible utilizar el VPN para tomar la decisión, debido a la desventaja que presenta la TIR, como se mostrará más adelante.

Comentarios Adicionales sobre el VPN y la TIR

Puede afirmarse que el único método que no presenta desventajas teóricas es el VPN; además, siempre utiliza una sola tasa de descuento y aunque presente varios cambios de signo, su cálculo es una simple suma algebraica de flujos descontados que produce un resultado concreto expresado en dinero, y toma como referencia el valor de cero, que es contra el que se compara. Su única suposición falsa es que se reinvierten todas las ganancias. Además de todas las desventajas ya comentadas sobre la TIR, que también supone falsamente la reinversión total de todas las ganancias, ahora se comentará un poco más acerca de su significado. La TIR está expresada como un número adimensional, que se supone es el rendimiento del dinero en promedio de cada año, a lo largo de todo el horizonte de análisis (Baca Urbina, 2007).

Aquí empieza uno de los grandes problemas de la ingeniería económica. Cuando se establece la TMAR, se hace bajo la expectativa de ganar cuando menos esa tasa anual en forma constante y durante el horizonte de análisis. Asimismo, el valor de la TIR, que es único, indica que eso se deberá ganar anualmente en forma constante durante el mismo periodo de tiempo. Es obvio que, en la realidad, la expectativa de una TMAR constante a través de los años no puede sostenerse por las condiciones cambiantes de la economía. Por el lado de la TIR, es necesaria la reinversión constante y absoluta de todas las ganancias anuales para que se haga realidad el valor calculado al principio de la inversión. Durante el desempeño normal de las actividades de una empresa, lo más común es repartir dividendos y eventualmente reinvertir (Baca Urbina, 2007).

Por razones de crecimiento, toda la ganancia de un año dado y cuando no sea necesario, entonces deberá invertirse fuera de la empresa. Estas inversiones externas de las ganancias pueden ser tan variadas como comprar acciones en la bolsa de valores, adquirir bienes raíces, crear otras empresas con giro distinto, etc. Desde este punto de vista, se puede hablar de una tasa externa de rendimiento, puesto que las ganancias de la empresa se reinvierten fuera de ella y producen otra tasa de rendimiento, seguramente distinta a la TIR de la empresa. En la práctica es posible calcular la tasa externa de rendimiento solo después de haber realizado esas inversiones externas y de que se evalúen financieramente al final de un periodo de operación, que por general es de un año. Pero esta tasa externa nunca podrá ser calculada en la etapa de planeación, pues habría que suponer, con bases razonables, cuáles serían los rendimientos de cada una de las opciones de inversión externa, lo cual es casi imposible si se desea obtener resultados con cierta precisión. De lo anterior se concluye que el valor de la TIR, calculado en la etapa de planeación, nunca se dará en forma constante a lo largo del periodo considerado (Baca Urbina, 2007).

Para ello es suficiente que, al menos en un año, se reparta un pequeño porcentaje de dividendos y la TIR calculada disminuirá, aunque en el resto de los años se reinvierta la totalidad de las ganancias. A pesar de todos estos inconvenientes, en la actualidad no hay otros métodos de evaluación económica. El VPN y la TIR siguen siendo la base sobre la cual se deciden las inversiones. Se han hecho intentos por desarrollar otros métodos, pero todos se derivan de los dos métodos básicos presentados, y algunos son muy complicados (Baca Urbina, 2007).

La TMAR o Costo de Capital Simple y Mixto

La TMAR, como ya se ha comentado, es fundamental en la ingeniería económica. También se le llama **costo de capital**, nombre derivado del hecho de que la obtención de los fondos necesarios para constituir una empresa, y de que esta funciona tiene un costo.

Cuando una sola entidad, llámese persona física o moral, es la única que aporta capital a una empresa, el costo de capital equivale al rendimiento que pide esa entidad por invertir o arriesgar su dinero. Cuando se presenta este caso se le llama costo de capital simple. Sin embargo, cuando esa entidad pide un préstamo a cualquier institución financiera para constituir o completar el capital necesario para la empresa, seguramente la institución financiera no solicitará el mismo rendimiento al dinero aportado que el rendimiento pedido a la aportación de propietarios de la empresa.

La situación es algo complicada, pero en términos generales es posible afirmar lo siguiente: los dueños, socios o accionistas comunes de la empresa aportan capital y lo arriesgan, puesto que, si la empresa tiene altos rendimientos monetarios, estos irán directamente a manos de los accionistas. Sin embargo, si la empresa pierde, los accionistas también perderán. Una situación contraria presenta la institución financiera que aporta capital, pues solo lo

hace como préstamo, a una tasa de interés definida y a un plazo determinado; al término de este y habiendo saldado la deuda, la institución financiera queda eliminada como participante en la empresa. Los contratos financieros expresan claramente que, en caso de incumplimiento de pago por parte de la empresa, se puede proceder legalmente en su contra para exigir el pago (Baca Urbina, 2007; Willem & Worrell, 2013).

Por lo tanto, dado que las fuentes de aportación de capital para la constitución de una empresa pueden tener situaciones de actuación y participación totalmente distintas, es evidente que el rendimiento que exigen a su aportación también debe ser distinto. Cuando se da el caso de que la constitución de capital de una empresa fue financiada en parte, se habla de un costo de capital mixto. El cálculo de este costo se presenta en el siguiente ejemplo.

Ejemplo 4

Para invertir en una empresa de productos plásticos se necesitan \$1,250 millones. Los socios solo cuentan con \$700 millones. El resto se pedirá a dos instituciones financieras. La Financiera A aportará \$300 millones por los que cobrará un interés de 25% anual. Por su parte, la Financiera B aportará \$250 millones a un interés de 27.5% anual. Si la TMAR de los accionistas es de 30%, ¿cuál es el costo de capital o TMAR mixta para esta empresa? (Baca Urbina, 2007).

Solución:

La TMAR mixta se calcula como un promedio ponderado de todos los que aportan capital a la empresa. La tabla 3.4 es de cálculo. La TMAR mixta de esta empresa es 28.3%. Debe enfatizarse que en la práctica financiera el rendimiento exigido por los préstamos aumenta con el nivel de endeudamiento de la empresa. Por ejemplo, a partir de cierto nivel, digamos 20% del capital total de la empresa, la tasa exigida

será constante, pero un endeudamiento por arriba de 20% hará que las tasas de interés se eleven de forma continua.

Entidad	(% de aportación)	Rendimiento pedido	=	Promedio ponderado
Accionistas	0.56	0.30	=	0.168
Financiera A	0.24	0.25	=	0.060
Financiera B	0.20	0.275	=	0.055
	1.00		Suma	0.283

Conclusión

En evaluación económica para cualquier tipo de inversiones existen dos métodos básicos que son el VPN y la TIR. En su utilización, se cuenta con una tasa de referencia llamada tasa mínima aceptable de

Análisis de una sola alternativa

VPN	TIR	
Si $VPN \geq 0$	Si $TIR \geq TMAR$	Acéptese la inversión
Si $VPN < 0$	Si $TIR < TMAR$	Rechácese la inversión

Análisis de dos o más alternativas

rendimiento. Los criterios de decisión al usar estos métodos son:

Seleccione la alternativa de mayor VPN. No utilice la TIR como método de análisis. A pesar de los inconvenientes teórico-prácticos que presentan ambos métodos, son los únicos que hay para hacer evaluaciones económicas.

Referencias:

- Baca Urbina, G. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica (R. A. del Bosque-Alayón (ed.); Cuarta Edi)*. McGraw-Hill.
- Willem, J., & Worrell, E. (2013). *Economics of Energy. In Handbook of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar Publishing.
<https://doi.org/10.4337/9781843768586.00022>