

Diseño y planificación de minas a Cielo Abierto.

Beneficio Actual Neto y la adición de valor

Prof. Juan Luis Yarmuch

Evaluación de Proyectos

- **Decisión de aceptar o rechazar un proyecto.**
- **Ordenar por rentabilidad proyectos excluyentes o con restricción de capital.**



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Técnicas Basadas en Flujos Descontados

- **Bierman & Smidt (1977):**
 - “...Un dólar hoy es más valioso que un dólar en 5 años, en virtud de las posibilidades de inversión disponibles para ese dólar hoy...”
- **El objetivo de descontar fondos futuros proyectados es determinar si la inversión rinde mayores beneficios que los usos alternativos de la misma.**
- **Métodos como el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) son técnicas de evaluación de flujos descontados**

Costo de Oportunidad

- **Valorización de un bien o un activo cuando se utiliza en un proyecto.**
- **Corresponde al valor que tendría ese bien o activo en su MEJOR uso alternativo (obviamente sin considerar el proyecto en cuestión).**
- **Si el bien o activo tiene un “valor de mercado”, este debería ser el “costo de oportunidad”.**
- **Para que exista “valor de mercado” tengo que poder comprar y vender el bien a un precio similar, y en las cantidades que demanda mi proyecto.**

Rentabilidad

- **La rentabilidad es el beneficio, como una proporción de la inversión o desembolso inicial.**
 - Consideremos un mundo sin impuestos, donde invertimos \$150 y nos retorna \$170 en un año.
 - $\text{Rentabilidad} = (170-150)/150 = 13,3\%$
 - Si esta rentabilidad, supera el costo de oportunidad del capital, el proyecto es interesante .
 - Todavía no es claro si nos conviene, puede haber restricción de capital o incompatibilidad, u otros elementos.

Valor Futuro y Valor Presente

- **El dinero, no tiene el mismo “valor”, en distintos instantes de tiempo.**
- **Tenemos que poder comprar \$1 hoy o en un año mas.**
- **¿Cómo cambio \$1 de hoy con \$1 en un año?**
- **¿Es seguro o es con riesgo?**

Valor Futuro y Valor Presente

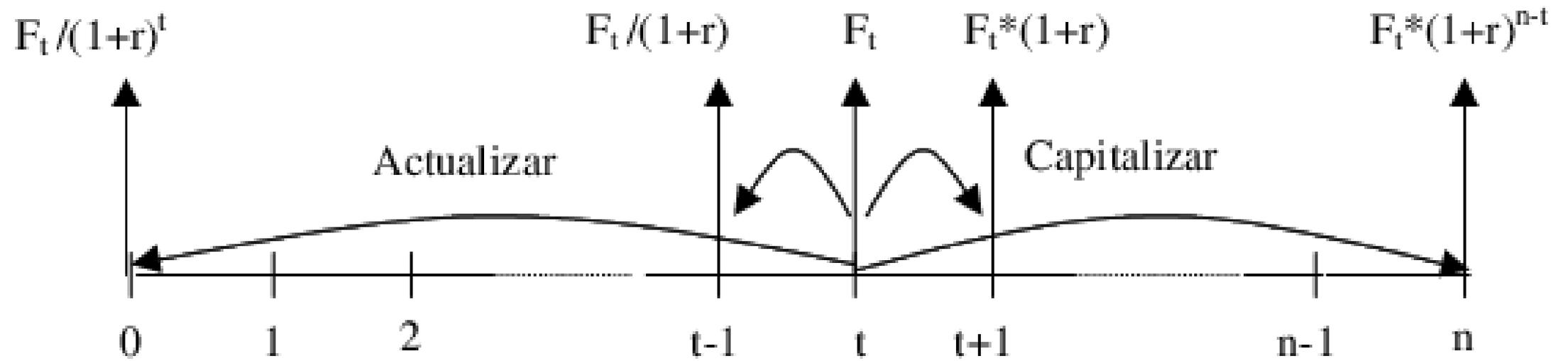
$$VF = VP (1 + r)$$

$$VP = \frac{VF}{(1 + r)}$$

–Donde “r” es la rentabilidad, o tasa de descuento que debo exigir al dinero a causa de las oportunidades de inversión de que dispongo

- **Si $r = 13,3\%$ nos sería indiferente tener \$1.000.000 hoy o \$1.133.333 dentro de un año**
- **El “costo de oportunidad del dinero” se expresa como una tasa de interés (por lo general expresada para 1 año ó 1 mes).**

Flujos de Dinero en el tiempo



Valoración de un Activo

- El Valor Actualizado de un activo que produce un flujo C_1 dentro de un período es:

$$VA = \frac{C_1}{(1 + r)}$$

- El Valor Actualizado de un activo que genera un flujo C_t en cada período, se puede calcular entonces como:

$$VA = \sum \frac{C_t}{(1 + r_t)^t}$$

- Por último, si agregamos una inversión inicial (es un flujo negativo) igual a $=C_0$, obtenemos el Valor Actualizado Neto:

$$VAN = C_0 + VA$$

Indicadores de Evaluación de Inversiones

- **Valor Presente Neto (VPN), Valor Actualizado Neto (VAN), Beneficio Neto Actualizado (BNA).**
- **IVAN. Mejor VAN por cada peso invertido.**
- **Tasa interna de Retorno (TIR). Calcula la tasa que anula el VAN.**
- **Período de Recuperación de Capital (PRC). Normalmente, no considera la tasa de descuento.**

Valor Presente Neto

- Actualización de los flujos considerando la tasa de descuento r :

$$VPN = -Inversion + \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

- El criterio propone que un proyecto debe aceptarse si el valor presente neto es igual o mayor a cero.
- $VPN=0$ significa que el proyecto genera la misma utilidad que la mejor alternativa de inversión.
- $IVAN = VAN/Inversión$. Se utiliza cuando hay restricción de capital.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

- La TIR mide la rentabilidad de un proyecto o activo. Es el CAE que reporta la Banca.
- Se define la tasa interna de retorno como aquella que hace que el valor presente neto sea igual a cero.

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

- Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el VAN es positivo y podría aceptarse el proyecto.
- Algunas complicaciones matemáticas para calcular el TIR, sobre todo si en el horizonte hay flujos positivos y negativos.

TIR vs VAN

- **Las dos técnicas de evaluación en ciertas circunstancias pueden conducir a resultados contradictorios.**
 - El criterio de la TIR supone que los fondos generados por el proyecto serían reinvertidos a la tasa de rentabilidad interna del proyecto.
 - El criterio del VAN supone que los fondos generados por el proyecto serían reinvertidos al costo de capital de la empresa.

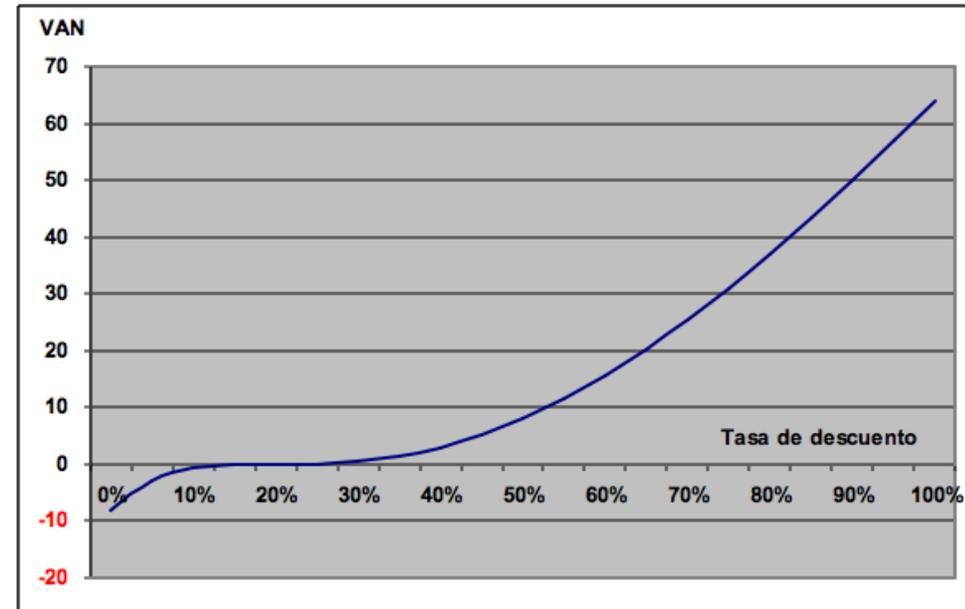
TIR vs VAN

- Prestar o endeudarse

PROYECTO	FLUJOS DE CAJA		TIR	VAN AL 10%
	C_0	C_1		
A	- 1.000	+ 1.500	50%	+ 364
B	+ 1.000	- 1.500	50%	- 364

- Cambios de signo en los FC.

PROYECTO	FLUJOS DE CAJA				TIR	VAN AL 10%
	C_0	C_1	C_2	C_3		
C	+ 1.000	-3600	+ 4.320	- 1.728	20%	-0,75



Problemas de la TIR

- **Proyectos excluyentes**

Proyecto	C0	C1	TIR	VAN (10%)
D	-1.000	2.000	100%	818
E	-20.000	25.000	25%	2.727

- **Proyectos de distinta vida útil**

Proyecto	C0	C1	C2	C3	C4	C5	TIR	VAN (10%)
F	-1.000	2.000	0	0	0	0	100%	818
G	-1.000	600	600	600	600	600	53%	1.274

(representa rentabilidad promedio)

- **EL VAN ES EL MÉTODO MÁS HORTODOXO. VALORA MEJOR LOS RECURSOS.**

Periodo de Recuperación de Capital (Payback)

- Tiene la ventaja de ser un método muy simple, y tener una consideración básica del riesgo: a menor payback, menor riesgo

$$I_0 = \sum_{t=1}^m FC_t$$

Donde:

m: periodo de recuperación del capital

I_0 : es la inversión inicial.

- Ignora las ganancias posteriores al periodo de recuperación
- No considera el valor del dinero en el tiempo.
- Útil en proyectos simples, se invierte una sola vez.

Estimación de costos en minas a cielo abierto

Módulo 3 - Diploma en Planificación Minera

Estimación de tasas de producción y retorno de proyecto

- **Luego de descubrir un depósito mineral, debemos determinar la tasa de extracción minera y de procesamiento.**
- **Las tasas de producción deben ser escogidas de forma de maximizar los retornos de la inversión en el desarrollo de mina y construcción de planta.**
- **Si las tasas de producción son muy altas, la vida de la mina será muy baja como para asegurar un retorno de la inversión efectuada.**
- **Por el contrario, si las tasas de producción son muy bajas en relación a las reservas, el margen operacional será muy bajo para recuperar la inversión (flujos descontados en el tiempo).**
- **En general, las inversiones asociadas a las expansiones de planta son más altas que la inversión inicial de una planta de gran capacidad considerada al inicio del proyecto.**

Diferentes métodos de estimación de costos e inversiones

- **Existen diferentes formas de estimar los costos e inversiones de un proyecto minero.**
- **Una forma estandarizada que funcione bien para todos los escenarios y alcances es extremadamente difícil de desarrollar.**
- **Cada proyecto minero es único y obedece a condiciones particulares que no se pueden escalar directamente.**
- **Los principales métodos para la estimación de inversiones y costos son:**
 - Método paramétrico
 - Método comparativo
 - Modelo de costos e inversiones

Método paramétrico

- El método paramétrico es el más simple de utilizar.
- Usualmente el parámetro corresponde a la tasa de producción.
- Las constantes X e Y son derivadas del análisis estadístico de datos reales.
- Múltiples métodos paramétricos han sido publicados en la literatura (p.ej. O'Hara, Mular, Taylor, Long).

$$\text{Cost} = x (\text{parameter})^y$$



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Tasa de producción en función de las reservas

- En 1986 Taylor propuso una relación entre las reservas de un depósito y las tasas de extracción (*Rates of Working of Mines—A Simple Rule of Thumb*).
- En 2011 Long, actualiza las fórmulas de Taylor y propone 2 curvas (Long, K.R. 2009, Long, K.R. 2016):
 - Open-BlockCaving
 - Underground (selectiva)

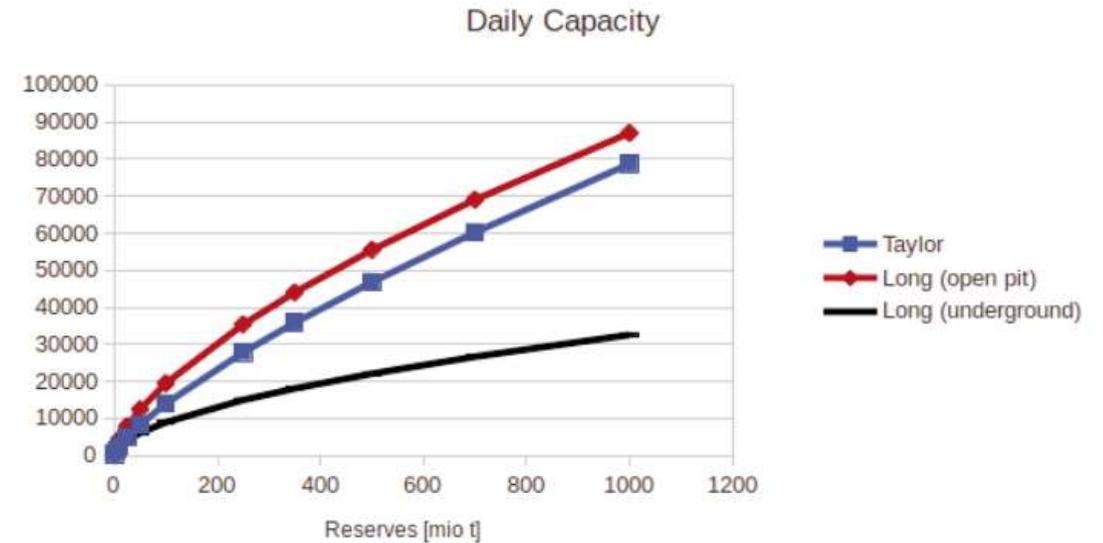
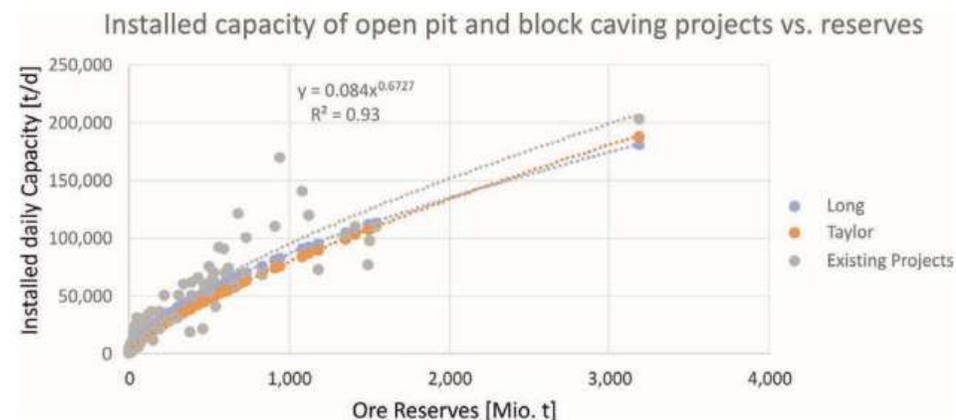


Figure 4. Taylor's and Long's relationships between reserves and capacity.



Método de O'Hara (SME handbook)

- Este método utiliza, principalmente, la tasa de producción como parámetro.
- Ejemplo:
 - Calcular el costo mina utilizando las formulas de O'Hara

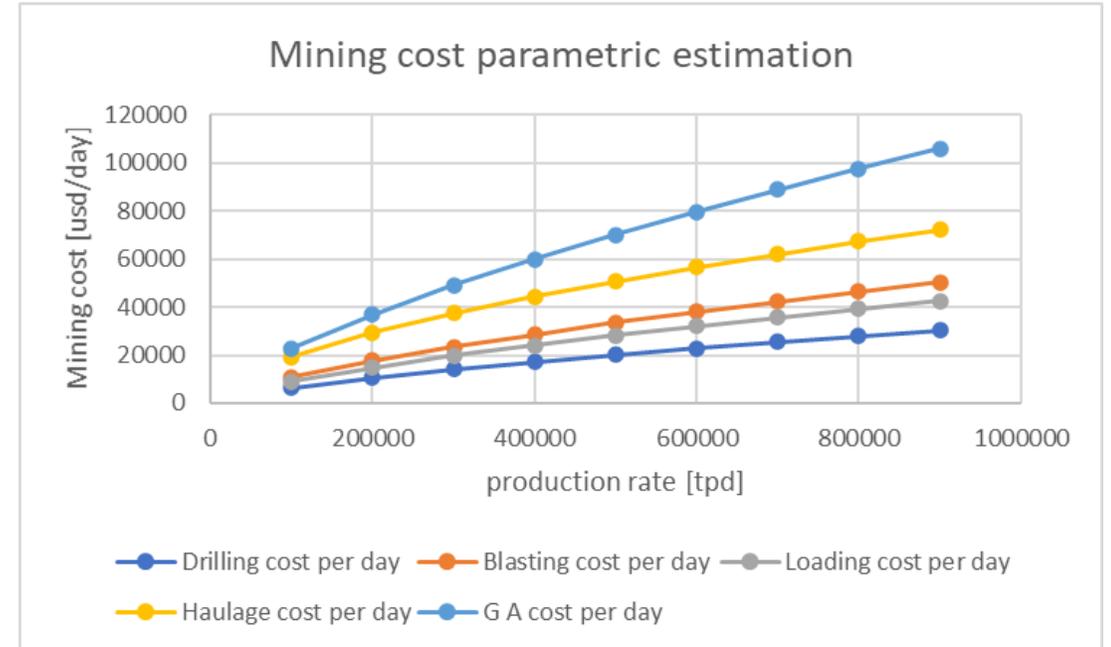
$$\text{Drilling cost per day} = \$ 1.90 T_p^{0.7}$$

$$\text{Blasting cost per day} = \$ 3.17 T_p^{0.7}$$

$$\text{Loading cost per day} = \$ 2.67 T_p^{0.7}$$

$$\text{Haulage cost per day} = \$ 18.07 T_p^{0.6}$$

$$\text{General services cost per day} = \$ 6.65 T_p^{0.7}$$



Método de O'Hara (SME handbook)

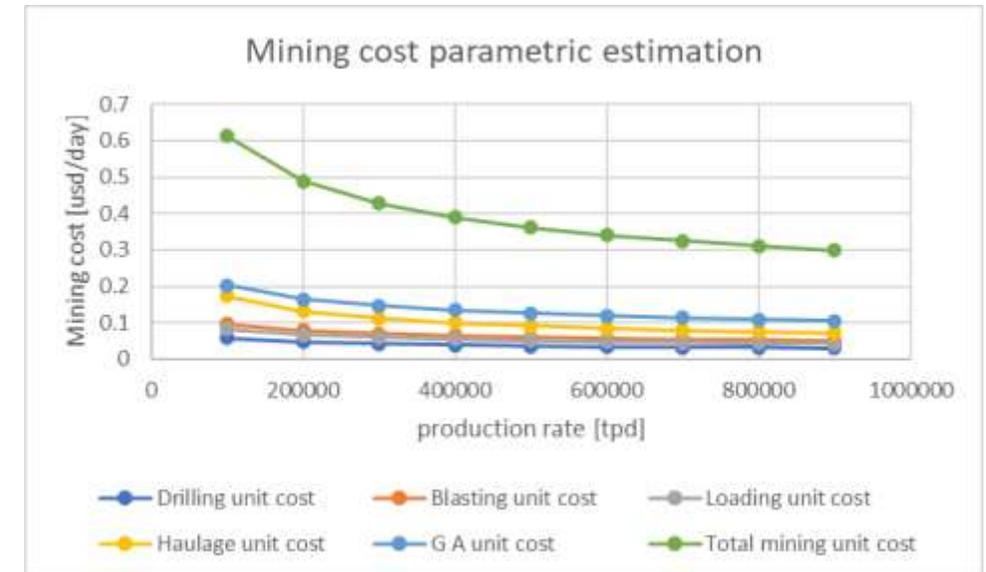
- Este método utiliza, principalmente, la tasa de producción como parámetro.
- Ejemplo:
 - Calcular el costo mina utilizando las formulas de O'Hara
- Que podemos observar del método paramétrico?
 - Qué ocurre con el costo mina?

The cost formulas for mining projects described in this segment are based on the actual costs of mine projects completed since 1980, which have been escalated by statistical indices to the equivalent costs for the third quarter of 1988.

- Qué unidades tienen las fórmulas?

T is short tons (2000 lb)

$$\begin{aligned}\text{Drilling cost per day} &= \$ 1.90 T_p^{0.7} \\ \text{Blasting cost per day} &= \$ 3.17 T_p^{0.7} \\ \text{Loading cost per day} &= \$ 2.67 T_p^{0.7} \\ \text{Haulage cost per day} &= \$ 18.07 T_p^{0.6} \\ \text{General services cost per day} &= \$ 6.65 T_p^{0.7}\end{aligned}$$



Método comparativo

- Este método considera costos de proyectos similares y utiliza un factor de escala.
- El factor de escala generalmente da cuenta de:
 - Ajuste por diferencias operacionales (p.ej. distancias, costos de insumos, etc.)
 - Ajuste por tiempo (p.ej. Inflación, insumos, etc.)

$$\text{Current cost} = \text{previous cost} \times \frac{\text{current_index}}{\text{previous_index}}$$

Factor de escala

Método paramétrico

- **Ejemplo**

- Costo de perforación en 2012: 8.3 [\$/m]
- Index cost 2012: 1.5
- Index cost 2021: 2.8

$$\text{drilling cost} \left[\frac{\$}{\text{m}} \right] = 8.3 \times \frac{2.8}{1.5} = 15.5$$

Modelo de costos

- Es un modelo basado en ingeniería, que cuenta con 3 pasos básicos:
 - Diseñar la mina, sus instalaciones y planes de producción con el mayor detalle posible.
 - Calcular y estimar todos los parámetros e insumos requeridos para satisfacer el plan de producción
 - Calcular el gasto total asociado los insumos y recursos requeridos. Dividir el total del gasto por la unidad por la que se desea normalizar (p. ej. \$/ton, \$/metros, \$/hora op.)

		2012	2013	2014	2015
Fleet and Capital - Calculated					
Maximum Oper Hour per Equipment	op hrs	3,249.54	3,249.54	3,249.54	3,249.54
Operating Hours Required	op hrs	12,784.77	13,241.09	13,019.94	13,030.15
Drilled Meters	m	232,540.61	240,840.57	236,818.11	237,003.88
Required Units (calc)	# units	3.93	4.07	4.01	4.01
Required Units (real)	# units	4	5	5	5
Capital Purchase Price	USD / unit	\$ 696,500	\$ 696,500	\$ 696,500	\$ 696,500
New Unit Capital Cost	USD	\$2,786,000	\$696,500	\$0	\$0
Operator Labour					
Operator Salary	USD / year	\$ 28,640	\$ 28,640	\$ 28,640	\$ 28,640
Operators Required	# people	17	18	18	18
Operator Labour Cost - Wages	USD	\$ 486,880.00	\$ 515,520.00	\$ 515,520.00	\$ 515,520.00
Maintenance Labour					
Mechanic Salary	USD / year	\$ 28,640	\$ 28,640	\$ 28,640	\$ 28,640
Mechanics Required	# people	8.1	10.125	10.125	10.125
Mechanic Labour Cost	USD	\$ 231,984.00	\$ 289,980.00	\$ 289,980.00	\$ 289,980.00
Energy and Tires					
Electric Power Consumption per op hour	kWh / op hr	0	0	0	0
Electric Power Consumption	kWh	0	0	0	0
Diesel Fuel Consumption per op hour	L / op hr	34	34	34	34
Diesel Fuel Consumption	L	434,682	450,197	442,678	443,025
Tires Consumption per op hour	Unit / op hr	-	-	-	-
Tires Consumption	Units	-	-	-	-
Electric Power Cost per kwh	USD / kwh	\$ 1.00	\$ 1.00	\$ 1.00	\$ 1.00
Diesel Fuel Cost per L	USD / L	\$ 0.80	\$ 0.80	\$ 0.80	\$ 0.80
Tire Cost per unit	USD / ea	\$ 75,099.00	\$ 75,099.00	\$ 75,099.00	\$ 75,099.00
Electric Power Cost	USD	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Diesel Fuel Cost	USD	\$ 347,919.59	\$ 360,337.73	\$ 354,319.45	\$ 354,597.39
Tires Cost	USD	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total Energy and Tires Cost	USD	*****	*****	*****	*****
Drill Consumables					
Drill Bit - L8 Life	m	1,898.00	1,898.00	1,898.00	1,898.00
Drill Rod - L8 Life	m	9,000.00	9,000.00	9,000.00	9,000.00
Drill Hammer - L8 Life	m	13,811.00	13,811.00	13,811.00	13,811.00
Drill Shank Adapter - L8 Life	m	2,700.00	2,700.00	2,700.00	2,700.00
Drill Guide Tub - L8 Life	m	7,000.00	7,000.00	7,000.00	7,000.00
Drill Top Sub - L8 Life	m	40,000.00	40,000.00	40,000.00	40,000.00
Drill Bit - L8 Cost per unit	USD	\$ 462.79	\$ 462.79	\$ 462.79	\$ 462.79
Drill Rod - L8 Cost per unit	USD	\$ 1,622.38	\$ 1,622.38	\$ 1,622.38	\$ 1,622.38
Drill Hammer - L8 Cost per unit	USD	\$ 5,142.73	\$ 5,142.73	\$ 5,142.73	\$ 5,142.73
Drill Shank Adapter - L8 Cost per unit	USD	\$ 535.59	\$ 535.59	\$ 535.59	\$ 535.59
Drill Guide Tub - L8 Cost per unit	USD	\$ 1,169.99	\$ 1,169.99	\$ 1,169.99	\$ 1,169.99
Drill Top Sub - L8 Cost per unit	USD	\$ 431.59	\$ 431.59	\$ 431.59	\$ 431.59
Drill Bit - L8 Consumption	ea	122.52	128.89	124.77	124.87
Drill Rod - L8 Consumption	ea	25.84	26.76	26.31	26.33
Drill Hammer - L8 Consumption	ea	16.84	17.44	17.15	17.16
Drill Shank Adapter - L8 Consumption	ea	86.13	89.20	87.71	87.78
Drill Guide Tub - L8 Consumption	ea	33.22	34.41	33.83	33.86
Drill Top Sub - L8 Consumption	ea	5.81	6.02	5.92	5.93
Drill Bit - L8 Cost	USD	\$ 56,700.95	\$ 58,724.75	\$ 57,743.94	\$ 57,789.24
Drill Rod - L8 Cost	USD	\$ 41,918.78	\$ 43,414.97	\$ 42,689.86	\$ 42,723.35