

CAPITULO V

CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES, USOS Y ESTUDIO ECONOMICO PARA EL BENEFICO DEL MOLIBDENO.

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOLIBDENO.- En términos generales, el Molibdeno es un elemento raro, debido a que su abundancia es de aproximadamente de 1 a 1.5 p.p.m., comparado con 50 a 70 p.p.m. para el Cobre.

Nunca ocurre en estado libre como elemento nativo, solo en combinación con otros elementos, como el Azufre, Oxígeno y asociado con Tungsteno, Plomo, Hierro, Magnesio, Cobalto, Calcio y en ocasiones con Uranio.

Geológicamente existen cinco tipos de depósitos donde el Molibdeno ocurre como Molibdenita:

- I.- Depósitos de pórfidos diseminados.
- II.- Depósitos de Metamorfismo de contacto.
- III.- Depósitos estratificados en rocas sedimentarias.
- IV.- Pegmatitas y diques de Aplita.
- V.- Vetas cuarzosas.

El tipo de depósito dentro del cual se encuentra el Molibdeno en Naica, es del tipo de metamorfismo de contacto, el cual se caracteriza por ocupar zonas de calizas silificadas adyacentes a rocas intrusivas. En Naica, la Molibdenita se localiza principalmente en los mantos, estos son cuerpos de metamorfismo igneo formados por soluciones silícicas que se emplazan acorde a la estratificación, y en

ocasiones, en fracturas preexistentes.

Con ayuda de la barrenación a diamante, se ha encontrado que la concentración de la Molibdenita aumenta conforme se profundiza en el depósito en zonas de alta temperatura, bordeando cristales de Vesuvianita.

5.2 PROPIEDADES DEL MOLIBDENO.-

a).- Propiedades Mineralógicas.- El Molibdeno, al igual que sus homólogos, Tungsteno y Cromo, tiene un número reducido de especies minerales independientes. Actualmente se han reconocido en la naturaleza, un poco más de una docena de minerales de Molibdeno, siendo la Molibdenita el más importante y abundante de todos éstos, de hecho, la Molibdenita es el único mineral de interés económico para su beneficio.

Entre los otros minerales del Molibdeno de cierta importancia, están : La Wulfenita ($PbMoO_4$) y la Powellita ($Ca(MoW)O_4$).

La Molibdenita ocurre comúnmente laminada como maciza o en escamas. Su crucero es en laminillas muy flexibles, pero no elásticas, posee en la escala de Mohs una dureza de 1.0 a 1.5, su gravedad específica es de 4.8, tiene lustre metálico, color gris plomo, se siente al tacto grasosa.

b).- Propiedades Físicas.- El Molibdeno metálico puro y a temperatura ambiente, es un metal blanco similar al platino. Cristaliza en el sistema cúbico, es dúctil y maleable. El punto de fusión del Molibdeno es de 2,622 °C., y el punto de ebullición es de 5,500 °C., en este sentido es el sexto metal más refractario, solamente el Carbono

Renio, Osmio, Tantalio y Tungsteno tienen punto de fusión mayores, en este orden.

c).- Propiedades Químicas.- El Molibdeno pertenece al sexto grupo del sistema periódico de los elementos. En sus compuestos, el Molibdeno puede ser : Di, Tri, Tetra, Penta o Exa valente.

El metal Molibdeno no se oxida fácilmente en aire o agua a temperaturas moderadas, sin embargo, comienza a oxidarse rápidamente en altas temperaturas y forma el Trióxido Molíbdico a temperaturas superiores a 600 °C. El Molibdeno forma cuatro óxidos: El MoO, el Mo₂O₃, el MoO₂, y el MoO₃.

5.3 USOS DEL MOLIBDENO.-

a).- Generalidades.- No obstante que el metal Molibdeno se conoce hace ya bastantes años, sus usos prácticos en la Industria datan solo desde las primeras décadas de este siglo, y su consumo significativo sólo hasta mediados de los años Treinta. Tomando esto en cuenta, el Molibdeno es un metal moderno, y su importancia fué comprendida cuando fueron desarrolladas las tecnologías modernas de producción de aleaciones.

Como es sabido, el Molibdeno metálico es producido por fundición de acero, o sea, que partiendo de los concentrados de Molibdenita, se pasa a una etapa de tostación en un horno de rotación para obtener el Oxido Molíbdico técnico (MoO₃), el cual a continuación es purificado en hornos eléctricos de sublimación para obtener el Oxido Molíbdico puro, para después reducir éste con gas Hidrógeno, obteniendo así, el polvo metálico del Molibdeno.

Las propiedades que hacen del Molibdeno un metal importante, son: Alto punto de fusión, alto módulo de elasticidad, alta resistencia a elevadas temperaturas, alta conductividad térmica y alta resistencia a la corrosión. En general, el Molibdeno, se usa en cuatro formas:

- .)- En la forma natural de su apariencia mineralógica predominante, - que es la Molibdenita.
- .)- En la forma de Molibdeno metálico, el cual es producido por fundición de arco eléctrico.
- .)- En la forma de materiales de baja aleación de Molibdeno.
- .)- En la forma de aceros de alta aleación.

b).- Usos del Disulfuro del Molibdeno.- Este producto se presenta como un mineral de color gris azulado o negro, de gravedad específica relativamente alta 5.0, y dureza extremadamente baja, correspondiente al número 1 en la escala de Mohs. El mineral tiene un coeficiente de fricción muy bajo, con valor de aproximadamente 0.02 .

Existen dos aplicaciones principales para la Molibdenita:

- .)- Lubricantes y aditivos para lubricantes.
- .)- Adición para aceros.

En el último de los casos, sólo una parte de los concentrados de Molibdenita se agrega directamente al acero líquido, cuando éste requiere un cierto contenido de Azufre. Debido a que la mayoría de los aceros y aleaciones, el Azufre es una impureza indeseable, es conveniente someter, del 97 al 98% de los concentrados de Molibdenita a un proceso de tostación para obtener Oxido Molibdico puro.

Así pues, la principal aplicación de la Molibdenita es en el campo de la lubricación, donde se utiliza provechosamente en lugar de los aceites y grasas convencionales.

Las características de altas temperaturas de los lubricantes a base de Molibdenita, se han utilizado exitosamente en tuberías de vapor, tuberías de gas, y particularmente, en tuberías para jets, a diferencia del Grafito.

c).- Usos del Molibdeno metálico.- Debido a su alto punto de fusión, emisividad electrónica y otras propiedades importantes, el Molibdeno se ha convertido en un metal básico para la fabricación de tubos termiónicos, también se utiliza para la producción de alambre en la industria de la iluminación, en este caso reemplaza satisfactoriamente al Tungsteno.

Otra aplicación amplia del metal Molibdeno, es en resistencias para hornos eléctricos, también es vital en la industria Aeronáutica. El Molibdeno, tiene además, usos importantes en la industria Nuclear, debido a sus características de absorción térmica de neutrones. El Molibdeno, es también, el material refractario más apropiado para resistir los metales líquidos, tales como: Sodio, Bismuto, Litio, etc., los cuales se utilizan en algunas plantas nucleares.

El metal Molibdeno y aleaciones a base de Molibdeno, son también utilizados en la fabricación de algunos termopares, los más importantes, son del tipo Molibdeno-Tungsteno, los cuales trabajan perfectamente hasta 2,500 °C., y sirven para determinar temperaturas en acero fundido. Otros termopares son: Molibdeno-Renio,

Molibdeno-Niquel, Molibdeno-Fierro, los cuales tienen una fuerza electromotriz considerablemente alta, y muestran estabilidad y exactitud - bajo diferentes condiciones.

d).- Usos de las aleaciones del Molibdeno.- La mayor parte del elemento Molibdeno se consume en forma de aleaciones de acero, lo - cual significa cerca del 70% de sus usos totales. Las fundiciones alea - das, super-aleaciones corresponden a un 15% adicional, lo cual lleva - al 85% el total de usos de Molibdeno en el sector aceros. El polvo de Molibdeno y sus productos alcanzan únicamente del 4 al 5%, mientras - que los usos químicos y de cerámica, de los cuales los principales, - son: Catalizadores y pigmentos, consumen cerca del 8 al 9% de la pro - ducción mundial del Molibdeno. El 2% restante de la demanda del Molib - deno, corresponde a la categoría de usos diversos, principalmente en - forma de Sulfuro de Molibdeno.

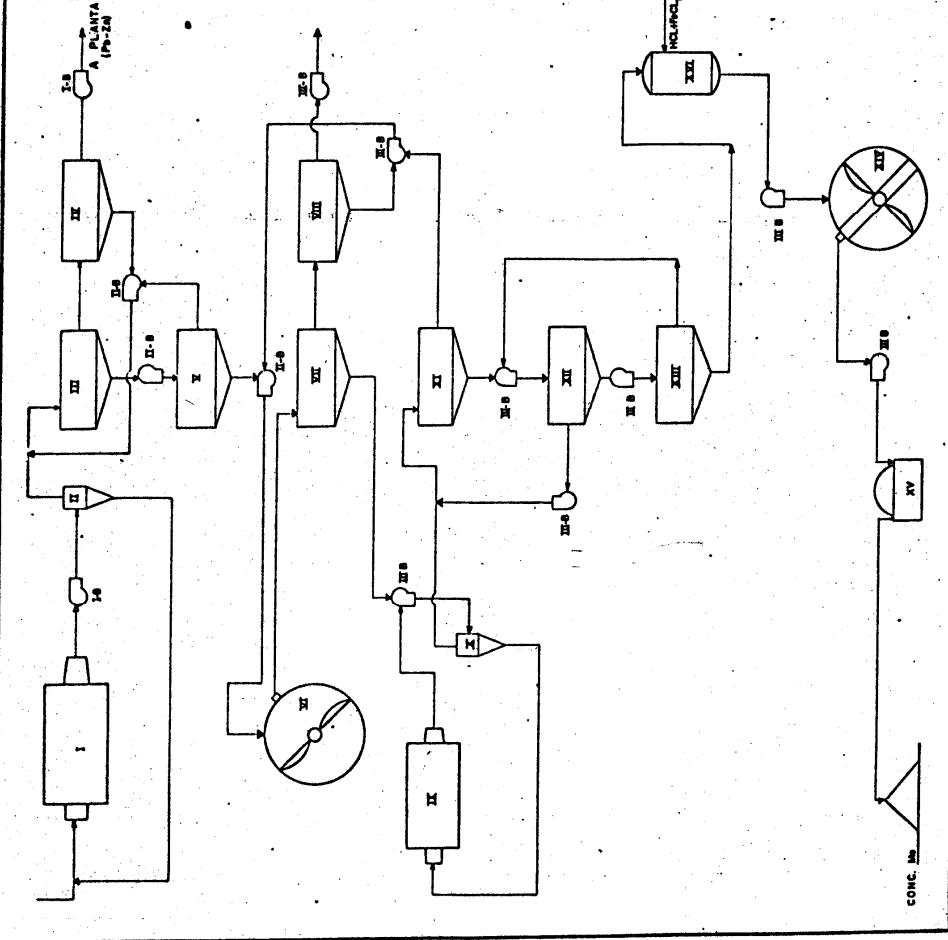
Existen tres variedades de aleación de Molibdeno:

- .)- Aleación con acero.
- .)- Aleación con hierro fundido.
- .)- Aleación con metales no ferrosos.

Para las aleaciones, el Molibdeno se agrega, generalmente, - en forma de Oxidos, Ferro-Molibdeno o Molibdato de Calcio. El método predilecto es utilizar Oxido Molibdico, cuando las normas estipulan - menos del 1% de Molibdeno, cuando el contenido de Molibdeno en las - aleaciones demanda más del 1%, se utiliza normalmente Ferro-Molibdeno.

La adición de Molibdeno a los aceros proporciona un incremen - to notable en la dureza y tenacidad de los materiales.

EQUIPO			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCION	HP
I	1	MOLINO TRAYLOR 6'x4'	200
II-B	2	BOMBA HORIZONTAL 2'x2'	10
II	1	CICLON 10"	
II-B	3	BOMBA HORIZONTAL	75
III	1	CELDA 20" A. 400 AGITAIR	15
III-B	8	BOMBA VERTICAL 3/4" x 1"	4
IV	1	CELDA 20" A. 400 AGITAIR	15
V	1	CELDA 24" ID AGITAIR 7' x 3'	3
VI	1	TANQUE ACONDICIONADOR	1
VII	1	CELDA 24" ID AGITAIR	3
VIII	1	CELDA 24" ID AGITAIR	3
IX	1	MOLINO 30" x 18"	30
X	1	CICLON 3"	
XI	2	CELDAS 15x15 AGITAIR	4
XII	2	CELDAS 15x15 AGITAIR	4
XIII	1	CELDA 15x15 AGITAIR	2
XIV	1	TANQUE ASENTADOR	2
XV	1	FILTRO #2' I DISCO	3
XVI	1	REACTOR CON CALDERA	3



TESIS

UNIVERSIDAD de SONORA
 INGENIERIA de MINAS
 DIAGRAMA DE FLUJO
 PROYECTO MOLIBDENO
 UNIDAD NAICA
 RAUL MAYA PACREED
 PLANO Nº 11 1984 919

CONC. No

5.4 ESTUDIO ECONOMICO :

El presente estudio económico corresponderá a las actuales condiciones económicas, sujeto a costos de operación actuales en plantas de Tungsteno y Sulfuros y los esperados en la de Molibdeno, y las posibles ventas.

COSTOS DE OPERACION

Extracción	-	\$ 367.50 / Ton.
Amortización	-	73.50 / Ton.
Reactivos	-	283.50 / Ton.
Mano de Obra	-	21.00 / Ton.
Energía Eléct.	-	39.00 / Ton.
Materiales y Mantenimiento	-	<u>78.00 / Ton.</u>
		<u>\$ 862.50 / Ton.</u>
Costo Total	=	\$ 862.50 / Ton.
Tipo de Cambio	=	\$ 150.00 M.N/U.S.
Costo Total	=	\$ 5.75 U.S/Ton.

PRODUCCION Y METALURGIA

E n s a y e s

<u>Producto</u>	<u>Tons.</u>	<u>gr/Ton</u>							
		<u>P o r c i e n t o</u>							<u>W₃</u>
		<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>	<u>Mo</u>	<u>Insol</u>	
Cab. Ensay.	400.0	252	3.80	1.37	0.46	6.6	0.20		0.37
Cab. Cálcl.	400.0	235	3.52	1.33	0.42	5.2	0.206		0.35
Conc. MoS ₂	0.96	10	0.08	0.02	0.01	0.1	57.7	1.2	
Conc. Pb	2.7	2380	31.6	1.34	0.50	3.5	0.38		
Cola	396.34	220	3.34	1.33	0.42	5.2	0.06		

C O N T E N I D O S

	<u>Kgrs.</u>	<u>T o n e l á d a s</u>						
		<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>	<u>Mo</u>	<u>W₃</u>
Cab. Ensay.	100.800		15.20	5.48	1.84	26.4	0.800	1.48
Cab. Calc.	93.631		14.08	5.32	1.68	20.8	0.824	1.400
Conc. MoS ₂	0.010		0.00	0.00	0.00	0.0	0.554	
Conc. Pb	6.426		0.85	0.04	0.01	0.1	0.010	
Cola	87.195		13.23	5.28	1.67	20.7	0.260	

PORCIENTO DE RECUPERACION BASADA EN ENSAYE DE CABEZAS

<u>Producto</u>	<u>Mo</u>
Conc. MoS ₂	67.2
Vendible	67.2

PORCIENTO DE RECUPERACION BASADA EN CABEZA CALCULADA

<u>Producto</u>	<u>Mo</u>
Conc. MoS ₂	69.2
Vendible	69.2

INVERSION EQUIPO

8 bombas verticales 1" x 3/4" c/motor	\$ 3'130,000.00
2 bombas horizontales 2" x 2-1/2" c/motor	682,500.00
3 bombas horizontales 1-1/2" x 2" c/motor	836,250.00
2 celdas 120 A x 400 ft ³ c/motor y cajones	3'805,450.00
3 celdas 24 x 10 ft c/motor y cajones	2'205,470.00
1 tanque acondicionador 2' x 2' c/transmisión	230,000.00
1 Molino de 12" x 24" c/ motor	3'125,000.00
1 ciclón de 3"	130,000.00
5 celdas 15 x 1.6 c/ motor y cajones	2'300,000.00
1 Tanque asentador	950,000.00
1 filtro de 1 disco de Ø = 2'	950,000.00
1 Tanque reactor	3'125,000.00
1 caldera	3'000,000.00
Tuberías, conexiones y central de reactivos	6'000,000.00
	\$ 27'769,670.00
Obra Civil 20%	5'553,934.00
	\$ 33'323,604.00
Imprevistos 20%	6'664,720.00
	\$ 39'988,324.00
	\$ 39'988,324.00

I.- Suponiendo un año de operación :

$$\text{Costo} = 302 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 400 \frac{\text{ton.}}{\text{día}} \times \$ 862.50 / \text{Ton.}$$

$$\text{Costo} = \$ 104'190,000.00 / \text{Año}$$

$$\text{Costo} = \$ 694,600.00 \text{ U.S.} / \text{Año}$$

$$\text{Producción} = 960 \text{ Kg/día} \times \left(\frac{.577 \text{ kg Mo}}{\text{Kg conc. Mo}} \right) \left(\frac{\text{lb Mo}}{.454 \text{ KgMo}} \right) \times 302 \text{ días}$$

$$\text{Producción} = 368,466.6 \text{ Lbs. Mo} / \text{Año}$$



Suponiendo un precio de \$ 3.00 U.S./Lb Mo

Pago = \$ 3.00 U.S./lb Mo x 368,466.60 Lb Mo

Pago = \$ 1'105,399.80 U.S/Año

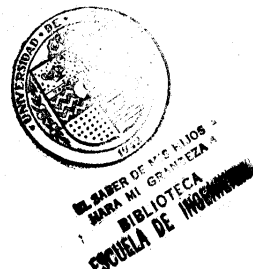
Pago = \$ 165'809,970.00 M.N/ Año

Utilidad de Operación = \$165'809,970.00 - 104'190,000.00

Utilidad de Operación = \$ 61'619,970.00 M.N/ Año

Utilidad de Operación = \$ 61'619,970.00 M.N/ Año ÷ 120,800 Tns/Año

Utilidad de Operación = \$ 510.10 M.N/ Ton.



II.- Suponiendo que el Mo no tiene valor comercial en este momento.

Costo total = Costo operación planta Mo + Costo operación planta
Pb - Zn + Costo de operación planta WO_3

Costo total = 862.50 + 261.39 + 47.28

Costo total = \$ 1,171.20 / Ton.

Costo total = \$ 7.81 U.S/ Ton.

Costo operación = $(302 \frac{\text{días}}{\text{año}}) \times (400 \frac{\text{tons.}}{\text{día}}) \times (\$1,171.20 / \text{tn.})$

Costo operación = \$ 141'484,960.00 / año.

Costo operación = \$ 943,448 U.S./ año.

PRODUCCION :

PRODUCCION QUINTO MANTO

<u>Tons/Año</u>	<u>Ensayes</u>						
	<u>gr/ton.</u>		<u>Por ciento</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
120,800	0.21	206	4.2	3.1	0.23	0.122	0.20

CONTENIDOS TOTALES

	<u>Kgrs.</u>		<u>Toneladas</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
	25.4	24,884.8	5,073.6	3,744.8	277.8	147.4	241.6
% Rec.	15	82	90	71	60	70	38

CONTENIDOS RECUPERABLES

<u>Kgrs.</u>		<u>T o n e l a d a s</u>				
<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
3.81	20,372.34	4,566.2	2.658.8	166.7	103.2	91.8

Pagos :

Au	=	3.81 Kgs.	x	\$ 12,860.30 U.S/Kg	=	\$ 48,997.74
Ag	=	20,372.74 Kgs.	x	305.43 U.S/Kg	=	6'222,445.98
Pb	=	4,566.20 Tns.	x	0.37 U.S/Kg	=	1'689,494.00
Zn	=	2,658.80 Tns.	x	0.86 U.S/Kg	=	2'286,568.00
Cu	=	166.70 Tns.	x	1.43 U.S/Kg	=	238,381.00
Mo	=	103.17 Tns.	x	0.00 U.S/Kg	=	0.00
WO ₃	=	91.81 Tns.	x	6.6 U.S/Kg	=	<u>605,946.00</u>
						\$11'091,832.72 /año

Utilidad de Operación = \$ 11'091,832.72 - \$ 943,448.00

Utilidad de Operación = \$ 10'148,384.72 U.S/Año

Utilidad de Operación = \$ 84.00 U.S/Ton.

Utilidad de Operación = \$ 12,601.50 M.N/Ton.

PRODUCCION CUARTO MANTO

E n s a y e s

Tons/Año	<u>gr/ton.</u>		<u>Por ciento</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
120,000	0.15	129	3.5	1.0	0.14	0.110	0.25

CONTENIDOS TOTALES

	<u>Kgrs.</u>		<u>T o n e l a d a s</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
	18.0	15,480.0	4,200.0	1,200.0	168.0	132.0	300.0
% Rec.	15	82	90	71	60	70	38

CONTENIDOS RECUPERABLES

	<u>Kgrs.</u>		<u>T o n e l a d a s</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
	2.7	12,693.6	3,780.0	852.0	100.8	92.4	114.0

Pagos :

Au	=	2.7 Kgs.	x	\$ 12,860.30 U.S/Kg	=	\$ 34,722.81
Ag	=	12,693.6 Kgs.	x	305.43 U.S/Kg	=	3'877,006.25
Pb	=	3,780.0 Tns.	x	0.37 U.S/Kg	=	1'398,600.00
Zn	=	852.0 Tns.	x	0.86 U.S/Kg	=	732,720.00
Cu	=	100.8 Tns.	x	1.43 U.S/Kg	=	144,144.00
Mo	=	92.4 Tns.	x	0.00 U.S/Kg	=	0.00
WO ₃	=	114.0 Tns.	x	6.60 U.S/Kg	=	<u>752,400.00</u>
						\$ 6'939,593.06 /Año

Utilidad de Operación = \$ 6'939,593.06 - \$943,448.0

Utilidad de Operación = \$ 5'996,145.06 U.S/Año

Utilidad de Operación = \$ 49.97 U.S/Ton.

Utilidad de Operación = \$ 7,495.20 M.N/Ton.

PRODUCCION TERCER MANTO

E n s a y e s

Ton/Año	<u>gr/Ton.</u>		<u>Por ciento</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
120,000	0.18	162	3.9	3.1	0.48	0.10	0.15

CONTENIDOS TOTALES

	<u>Kgrs.</u>		<u>Toneladas</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
	21.6	19,440.0	4,680.0	3,720.0	576.0	120.0	180.0
% Rec.	15	82	90	71	60	70	38

CONTENIDOS RECUPERABLES

	<u>Kgrs.</u>		<u>Toneladas</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Mo</u>	<u>WO₃</u>
	3.24	15,940.8	4,212.0	2,641.2	345.6	84.0	68.4

Pagos :

Au	=	3.24 Kgs.	x	\$ 12,860.30 U.S/Kg	=	\$ 41,667.37
Ag	=	15,940.8 Kgs.	x	305.43 U.S/Kg	=	4'868,798.54
Pb	=	4,212.0 Tns.	x	0.37 U.S/Kg	=	1'558,440.00
Zn	=	2,641.2 Tns.	x	0.86 U.S/Kg	=	2'271,432.00
Cu	=	345.6 Tns.	x	1.43 U.S/Kg	=	494,208.00
Mo	=	84.0 Tns.	x	0.00 U.S/Kg	=	0.00
WO ₃	=	68.4 Tns.	x	6.60 U.S/Kg	=	<u>451,440.00</u>

\$ 9'685,985.91 /Año

Utilidad de Operación = \$ 9'685,985.91 - \$.943,448.00

Utilidad de Operación = \$ 8'742,537.91 U.S/Año

Utilidad de Operación = \$ 72.85 U.S/Ton.

Utilidad de Operación = \$ 10,928.20 M.N/Ton.