

Universidad Nacional de Ingenieria

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
Y MANUFACTURERA**



**“ Estudio de Pre - Factibilidad para la Instalación de una
Plantó de Polvos de Cobre Obtenidos
por el Método Electrolítico**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

HERMINIA Y. CHAVARRI MARIN

FLORA 1. MIYAGI MAMA

PROMOCION : 1982 - I

LIMA • PERU • 1984

TABLA DE CONTENIDO

1.- ASPECTOS GENERALES

1.1.- INTRODUCCION.	1
1.2.- CONCLUSIONES	2
1.2.1.- MERCADO	2
1.2.2.- CARACTERISTICAS DEL BAÑO ELECTROLITICO	2
1.2.3.- INGENIERIA DEL PROYECTO	3
1.2.4.- INVERSIONES Y FINANCIAMIENTO	3
1.2.5.- EVALUACION ECONOMICO Y FINANCIERA	4

2.- ESTUDIO DE MERCADO

2.1.- PRODUCTO	
2.1.1.- DEFINICION DEL PRODUCTO	5
2.1.2.- USOS DE LOS POLVOS DE COBRE	6
2.1.2.1.- PULVOMETALURGIA	6
2.1.2.2.- OTROS USOS.	10
2.1.3.- CARACTERISTICAS DE LOS POLVOS DE COBRE DE ACUERDO A SU USO.	10
2.1.3.1.- INDUSTRIA GRAFICA	10
2.1.3.2.- INDUSTRIA DE PINTURAS	12
2.1.3.3.- INDUSTRIA TEXTIL	12
2.1.3.4.- INDUSTRIA DE PLASTICOS	12
2.1.3.5.- OTRAS INDUSTRIAS.	13
2.2.- ANALISIS DE LA DEMANDA	15
2.2.1.- PERU	15

2.2.2.- GRUPO ANDINO	17
2.2.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA	18
2.2.3.1.- ARGENTINA	18
2.2.3.2.- MEXICO	19
2.3.- ANALISIS DE LA OFERTA	20
2.3.1.- PERU	20
2.3.2.- GRUPO ANDINO	20
2.3.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA	20
2.3.3.1.- ARGENTINA	20
2.3.3.2.- MEXICO	20
2.4.- PROYECCION DE LA DEMANDA	21
2.4.1.- PERU	21
2.4.2.- GRUPO ANDINO	22
2.4.2.1.- BOLIVIA	22
2.4.2.2.- COLOMBIA	22
2.4.2.3.- ECUADOR	23
2.4.2.4.- VENEZUELA.	24
2.4.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA	24
2.4.3.1.- ARGENTINA	24
2.4.3.2.- MEXICO	25
2.5.- DEMANDA PARA EL PROYECTO	25
2.5.1.- PERU	25
2.5.2.- GRUPO ANDINO	26
2.5.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA	27
2.5.3.1. ARGENTINA	27

2.5.3.2.- MEXICO	27
2.5.4.- CONCLUSIONES.	28
3.- <u>TAMAÑO Y LOCALIZACION DE PLANTA</u>	
3.1.- TAMAÑO DE PLANTA	30
3.2.- LOCALIZACION DE PLANTA	31
4.- <u>ESTUDIO TEORICO EXPERIMENTAL DEL PROCESO ELECTROQUI- MICO EN LA PRODUCCION DE POLVOS DE COBRE.</u>	
4.1.- ENSAYOS DE LABORATORIO	35
4.1.1.- EQUIPOS Y MATERIALES	35
4.1.2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	35
4.1.3.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS	36
4.2.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE	38
4.3.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL CONTENIDO DE COBRE	42
4.4.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL CONTENIDO DE ACIDO	45
4.5.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL INTERVALO DE CEPI- LLADO	48
4.6.- EFECTO DE LA TEMPERATURA	48
4.7.- EFECTO DE LOS AGENTES DE ADICION	49
4.8.- CONCLUSIONES	49

5.- INGENIERIA DEL PROYECTO.

5.1.-	TECNOLOGIAS DISPONIBLES	50
5.1.1.-	PROCEDIMIENTOS MECANICOS	50
5.1.1.1.-	MOLIDO	50
5.1.1.2.-	ATOMIZACION	50
5.1.1.3.-	PULVERIZACION	51
5.1.2.-	PROCEDIMIENTOS FISICO-QUIMICOS:	51
5.1.2.1.-	REDUCCION DE OXIDOS	51
5.1.2.2.-	PROCEDIMIENTO ELECTROLITICO	52
5.1.2.3.-	PRECIPITACION DE COBRE EN SOLU CION.	53
5.1.2.4.-	PROCESO DE EXTRACCION METALUR- GICA.	54
5.2.-	TECNOLOGIA A DESARROLLARSE	55
5.2.1.-	DESCRIPCION DEL METODO DE PRODUCCION	55
5.2.2.-	DIAGRAMA DE FLUJO	
5.3.-	MAQUINARIAS Y EQUIPOS	62
5.4.-	REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA	65
5.5.-	REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS	67
5.6.-	REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA	68

6.- DETERMINACION DE LA INVERSION

6.1.-	ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE LA PLANTA	69
-------	---	----

6.1.1.- COSTO DE LOS EQUIPOS SIN INSTALAR	69
6.1.2.- COSTO TOTAL DEL EQUIPO INSTALADO	69
6.1.3.- COSTO TOTAL DE LA PLANTA	71
6.2.- ESTIMACION DE LOS COSTOS DE FABRICACION	72
6.3.- ESTIMACION DEL COSTO DEL TERRENO	74
6.4.- ESTIMACION DEL CAPITAL DE TRABAJO	75
6.5.- INVERSION TOTAL ESTIMADA	76
<u>7.- EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA</u>	
7.1.- DETERMINACION DE INGRESOS Y EGRESOS POR AÑO	78
7.2.- CONDICIONES DE FINANCIAMIENTO	79
7.3.- DETERMINACION DEL FLUJO NETO DE FONDOS	82
7.4.- CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO.	84
<u>8.- APENDICES</u>	
APENDICE 1.- TAMAÑO DE LAS CELDAS ELECTROLITICAS	87
APENDICE 2.- EQUIPO ELECTRICO	92
APENDICE 3.- CALCULO DEL VOLTAJE Y AMPERAJE DEL RECTIFI CADOR DE CORRIENTE.	102
<u>9.- BIBLIOGRAFIA</u>	106

1.- ASPECTOS GENERALES

1.1.- INTRODUCCION.

El presente trabajo está orientado al estudio de **pre-**
factibilidad para la instalación de una planta para -
la producción de polvos de cobre por el método **elec -**
trolítico.

Como se sabe el Perú es gran productor de cobre, el
mismo que es exportado como materia prima a **diferen**
tes países. En este estudio se busca aprovechar el -
cobre **electrolítico** producido por las Refinerías de
Ilo y La Oroya, para convertirlo en polvos de cobre -
que poseen mayor valor agregado.

Los polvos de cobre constituyen insumos en una gran -
diversidad de industrias, entre las que se puede men-
cionar la industria textil, la de plásticos, la de
pinturas y sobre todo la industria automotriz.

El presente trabajo tiene cuatro partes bien diferen-
ciadas:

El estudio de mercado, que comprende estudios a nivel
nacional, del Grupo Andino y América Latina; el estu-
dio teórico- experimental del proceso, en el que se
han determinado las condiciones de operación más ade-
cuadas; ingeniería del proceso, en que se han **determi**
nado los equipos a emplear; y la evaluación económico
financiera, en que se ha determinado la rentabilidad-

- del proyecto.

2.- ESTUDIO DE MERCADO

1.2.- CONCLUSIONES

1.2.1.- MERCADO.

Del estudio de mercado realizado a nivel nacional Grupo Andino, y América Latina, se encuentra que no hay producción de polvos de cobre en la zona; con excepción de Brasil que produce, pero básicamente para cubrir su demanda interna.

De lo anterior se concluye que la demanda del producto existente, debe ser satisfecha prácticamente en forma total mediante la importación; ésta se hace tanto desde Estados Unidos como de países europeos.

El mercado para la producción lo constituyen en gran porcentaje los países integrantes del Grupo Andino siendo los mayores consumidores Colombia y Venezuela.

Se espera un crecimiento sostenido en la demanda de polvos, la cual en el año 1990 llegaría a 284 toneladas, calculándose captar un 30% para lo cual la capacidad de la planta debe ser de 280 Kg/día.

1.2.2.- CARACTERISTICAS DEL BAÑO ELECTROLITICO.

Durante la electrólisis el principal parámetro que influye en las características del polvo obtenido es la densidad de corriente, se recomienda que la densidad de corriente usada sea alrededor de 8.00 amp/dm²

Un baño electrolítico quieto cuya temperatura no exceda los 30°C es lo más recomendado, el contenido del baño que proporciona los mejores resultados es: 25 gr/lt. de cobre y 120 gr/lt. de ácido sulfúrico. Los cátodos deben ser de plomo antimonial al 6%.

1.2.3.- INGENIERIA DEL PROYECTO.

Debido al volumen de producción relativamente bajo - (280 Kg/día), y a las características mismas del proceso, no se justifica un sistema continuo sino mas bien una producción por lotes.

El método electrolítico para la producción de polvos de cobre no requiere del uso del equipo sofisticado- alguno, y permite la producción de polvos de diversas especificaciones.

1.2.4.- INVERSIONES Y FINANCIAMIENTO.

La inversión total para el proyecto se realizará en dos etapas, comprende una inversión inicial ascendente a 180,000.- U.S.\$, y otra inversión adicional al año de iniciado el proyecto por un monto de 35,000.- U.S.\$.

Una parte de la inversión inicial requerida (135,000 U.S.\$.) es obtenido mediante el financiamiento de una entidad crediticia; el restante de la inversión- total es capital propio.

La entidad financiera elegida es el Banco Industrial del Perú, ya que esta institución ofrece en estos momentos las mejores condiciones crediticias.

El préstamo es canalizado mediante la línea de apoyo a la mediana empresa y está destinado a cubrir el capital de trabajo y una gran parte del costo de la planta.

1.2.5.- EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA.

En la evaluación económica y financiera, todas las proyecciones se han realizado en dólares, de modo que la tasa de inflación (impredecible si se trabaja en moneda nacional) no represente un factor gravitante.

La tasa interna de retorno del proyecto se estima que será de 74.5%, que es mucho mayor que la tasa de interés que se pagan en los bancos.

Los resultados de este trabajo justifican que se efectuó un estudio de factibilidad para la instalación de la planta.

2.- ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado realizado se refiere a los polvos de cobre electrolítico, cuya definición y usos en la industria se detallan en el acápite 2.1.; para ello se ha dividido el estudio en tres niveles.

- Nacional
- Grupo Andino
- Otros países de América Latina.

Consideramos que un estudio sólo a nivel nacional nos daría un mercado muy pequeño y poco competitivo. Siendo el Perú miembro del Acuerdo de Cartagena y productor de cobre por excelencia, a diferencia de los demás países de la sub-región, resulta interesante la posibilidad de exportar los polvos de cobre a provechando las menores restricciones aduaneras que se presentan, así como los incentivos que se ofrecen a la exportación no tradicional.

Finalmente, se considera también la posibilidad de exportar a países de América Latina que por ser grandes consumidores resultarían un mercado bastante tractivo.

2.1.- PRODUCTO

2.1.1.- DEFINICION DEL PRODUCTO.

Los polvos de cobre son finas partículas , cuyo tama

ño varía entre 40 y 175µm se emplean principalmente en la producción de partes y piezas **sinterizadas**, son de gran uso también en las industrias textil, gráfica plásticos y pinturas. Los polvos de cobre puro **producidos** por el método **electrolítico** tienen un alto grado de pureza, sus granos son de estructura **dendrítica** (de forma arborescente) y sus propiedades son controlables entre los siguientes valores:

% Cu metálico	> 99.5
% pérdida H ₂	0.75 máx.
Densidad aparente	1-3 gr/cc.
Tamaño de malla	80 a 325

2.1.2.- USOS DE LOS POLVOS DE COBRE.

2.1.2.1.- PULVOMETALURGIA.

La **pulvometalurgia** es un proceso industrial que permite fabricar piezas a partir de un material en forma de polvos, bien sea porque:

- a) No pueden ser obtenidos fácilmente por procesos convencionales, como es el caso de filamentos eléctricos.
- b) Resulta más conveniente y económico el empleo de esta técnica.

Esquemáticamente, las etapas para la fabricación de una pieza a partir de polvos metálicos, obtenidos por cualquier método, son los siguientes:

- a) Preparación y mezclado de los polvos, y en **algu** -

nos casos adición de lubricantes y aglutinantes.

- b) Prensado de la mezcla entre 20,000 y 200,000 **psig.** en un molde, con obtención de un aglomerado o **compacto fresco** (briqueta).
- c) Tratamiento calórico de **sinterización** de la **briqueta** en hornos con atmósfera controlada, para lograr la consolidación de las partículas del **compacto**.
- d) Tratamientos finales como impregnación de aceite, trabajo de acabado y tratamientos calóricos.

La principal ventaja de la **pulvometalurgia** es que permite la fabricación de piezas metálicas con tal precisión en sus dimensiones y limpieza de su **superficie**, que no se requiere prácticamente trabajo **posterior** de máquinas y herramientas.

Mediante el uso de polvos se puede alcanzar materiales de propiedades únicas, esencialmente por las **siguientes** razones:

- a) Es posible combinar dos o más materiales en forma de polvos que no sería posible mezclar con los métodos corrientes obteniendo una aleación sin recurrir al fundido de sus componentes.
- b) Se puede obtener con facilidad combinaciones de elementos metálicos y no metálicos, como por ejemplo **compuestos metálicos y cerámicos**, que toman el nombre de "cermet"
- c) Permite combinar metales de alta y baja densidad

en estados sólidos en forma de polvos con un alto grado de uniformidad.

d) Como normalmente el proceso tiene lugar a **temperaturas** menores que los de fusión de los **materiales**, se pueden fabricar piezas a **temperaturas** que fluctúan dentro de los límites que permiten la formación de fases cristalinas **deseables**.

PRENSADO DE POLVOS METÁLICOS.- Para compactar polvos metálicos, **se pueden** seguir dos caminos fundamentales.

El primer camino es con aplicación de presión, **caracterizado** por una deformación plástica de las partículas, y que puede ser: prensado **unidireccional** de simple o doble acción; o bien prensado **isostático**, **extrusión** o laminación.

El segundo camino consiste en la compactación de los polvos, sin aplicación de presión y que **requiere** una cuidadosa selección de la distribución de tamaño de las partículas. Esto se puede lograr **mediante** la **sinterización** de polvos sueltos en un molde, dando por resultado un material denso con propiedades uniformes en todas direcciones, o **también** por compactación de los polvos **mediante** **vibración**.

Los sistemas de compactación mencionados anteriormente pueden cambiarse entre si con grandes ventaj

jas; por ejemplo se puede usar la compactación vibratoria como etapa preliminar para un prensado **sostático**.

SINTERIZACION.- Se denomina **sinterización** al fenómeno que se observa al calentar polvos metálicos - bajo condiciones apropiadas; se observa que las partículas se adhieren unas con otras, y que esto aumenta en intensidad directamente con la temperatura, de modo tal que la masa suelta inicial se convierte en un sólido poroso con cierta resistencia física.

La **sinterización** precisa la combinación de un horno y una fuente que proporciona una atmósfera adecuada, de manera que los polvos a tratar se **calienten** durante el tiempo y a la temperatura especificados, en atmósfera de composición tal, que se **produzca** la reacción química requerida en el interior del compacto.

OBTENCION DE PROPIEDADES ESPECIALES.- Una de las grandes ventajas de la **pulvometalurgia** es la posibilidad de mejorar las propiedades de los metales o aleaciones, como son por ejemplo: dureza, **ductibilidad**, propiedades magnéticas, propiedades de buena conducción del calor y electricidad, etc. Esta posibilidad se basa en que el proceso permite:

a) Obtener un compuesto de metales que es **imposible** alcanzar por los métodos normales de **derreti**

da y,

b) Ignorar los dictados de la regla de fases o estos.

De otro lado la pulvometalurgia posibilita la modificación de la estructura cristalina de los metales con propósitos definidos.

2.1.2.2.- OTROS USOS.

En el Cuadro 2.1. se pueden observar los diferentes usos que tienen los polvos de cobre en las diversas industrias.

2.1.3.- CARACTERISTICA DE LOS POLVOS DE ACUERDO A SU USO.

Los polvos de cobre presentan diversas características dependiendo del uso al que se destinen (2).

2.1.3.1.- INDUSTRIA GRAFICA.

Los polvos se utilizan para la producción de pastas y tintes, en las siguientes composiciones:

85% Cu + 15% Zn. denominado oro blanco

75% Cu + 25% Zn. denominado oro blanco
ario.

CUADRO 2.1.- USOS DE LOS POLVOS DE COBRE (1)

INDUSTRIA	USOS	FORMA
Abrasivos	aglutinante	puro
Agricultura	fungicidas, correctivos	puro
Construcción civil	Pisos, conductores, pinturas, plásticos decorativos	puro
Electro-electrónico	circuitos impresores, - contactos, escobillas.	puro
Automotriz	Bujes, bocinas, piezas estructurales	mezclado
Lubricantes	aceites y grasas	puro
Química	pigmentos, tintes	puro, mezclado.
Soldadura	revestimiento de electrodos	puro, mezclado.
Tintes, revestimientos	tinta tipográfica, decorativa	puro, mezclado.

70% Cu + 30% Zn denominado oro rico.

Para tintas se emplean granos de 43 μ m (malla Tyler 325) y para pastas tamaños menores a 10 μ m.

2.1.3.2.- INDUSTRIAS DE PINTURAS.

Se utilizan como aditivos en las pinturas anti-oxidantes, así como para dar tonalidades específicas.

Sus características más importantes son:

% total de Cu	99.5 min.
análisis granulométrico:	
malla + 250	1% máx.
malla - 325	99% min.
densidad aparente	2.0 a 2.5 gr/cc.

2.1.3.3.- INDUSTRIA TEXTIL.

Se emplean para efectuar estampados en telas con la finalidad de dar tonalidades doradas. Sus características son:

% total Cu	99.5 min.
análisis granulométrico:	
malla + 250	1% máx.
malla - 325	99% min.
densidad aparente	2.0 a 2.2 gr/cc.

2.1.3.4.- INDUSTRIA DE PLASTICOS.

El polvo de cobre es usado como pigmento de coloración para obtención de nacarados y marroquines de

diferentes tonalidades. Se caracteriza por:

% total Cu	99.5 mín.
análisis granulométrico:	
malla + 250 .	1 % máx.
malla - 325	84 % mín.
densidad aparente	1.4 a 1.7 gr/cc.

2.1.3.5.- OTRAS INDUSTRIAS.

En industrias como la automotriz, de electrodomésticos y maquinarias agrícolas se utiliza el polvo de cobre en la fabricación de piezas sinterizadas como bujes, bocinas, filtros etc.

La sinterización es un proceso que abarca etapas como: la selección de polvos metalúrgicos, la preformación de las piezas por compresión en frío y finalmente la sinterización propiamente dicha, que equivale a la soldadura total de las partículas la cual se realiza por acción del calor en hornos a atmósfera controlada.

Las características de los polvos varían según las piezas que se deseen obtener, así se puede observar en el Cuadro 2.1.3.5.

ANALISIS DE LA DEMANDA.

PERU

En la actualidad, en el Perú el polvo de cobre **elec**
trolítico es totalmente importado por las **diferen** -
tes industrias que lo utilizan como insumo.

Algunas de las principales empresas que importan
polvos de cobre, según datos de la Oficina de Esta-
dísticas del Ministerio de Economía, Finanzas y Co-
mercio son:

- **Pulvimetal S.A.**
- Industrias Vencedor
- Pinturas CPP
- Pinturas Aurora
- Pinturas **Fast.**
- Pinturas **Sherwin Williams.**
- **Grafex S.A.**
- **Cromox** Peruana S.A.
- **Carbonwatt.**
- Manufactura Algodonera Santa María.
- Explosivos S.A.
- **Empacsa S.A.**
- **Compañía** Peruana Soldaduras Especiales.
- El Cóndor S.A. Envolturas e Impresiones.

La demanda histórica de los polvos de cobre a nivel nacional, se puede observar en el Cuadro 2.2.1.

CUADRO 2.2.1.

DEMANDA HISTÓRICA DE LOS POLVOS DE COBRE EN EL PERU

<u>AÑO</u>	<u>Kg/año</u>	<u>PRECIO CIF(\$)</u>
1975	18,330	
1976	11,211	
1977	9,450	55,263
1978	8,952	60,940
1979	23,102	112,236
1980	12,970	88,240
1981	9,369	66,988
1982	8,014	42,856.

Fuente: Oficina de Planeamiento, Ministerio de Comercio, Oficina de Informática, Junta del Acuerdo de Cartagena.

Se puede notar que las importaciones han tenido un comportamiento irregular, observándose un alza extraordinaria en 1979 con más de 23 ton. En cambio, en los últimos años la tendencia es más o menos constante, ya que debemos considerar que los datos para 1982 sólo abarca Lima.

2.2.2.- GRUPO ANDINO

Se presenta el estudio de mercado para el Grupo **Andi** - no (sin considerar el Perú). El Cuadro 2.2.2. muestra el consumo histórico de polvos de cobre en el Grupo **Andino** desde el año 1975.

CUADRO 2.2.2 DEMANDA HISTORICA DE LOS POLVOS DE Cu EN EL GRUPO ANDINO.

<u>AÑO</u>	<u>BOLIVIA</u>	<u>COLOMBIA</u>	<u>ECUADOR</u>	<u>VENEZUELA</u>	<u>TOTAL</u>
1975		-	829	46,217	47,046
1976		11,943	1,237	31,907	54,087
1977		12,856	1,107	37,888	51,851
1978	13	13,714	1,871	57,597	73,195
1979	52	14,308	3,582	59,940	77,882
1980		24,944	12,120	39,803	76,887
1981		16,418	2,238		

Fuente: Anuarios de Comercio Exterior

Oficina de Informática, Junta Acuerdo de Cartagena.

Se observa que el consumo de Bolivia es prácticamente nulo; la demanda de Colombia es semejante a la del Perú; el consumo del Ecuador' es aproximadamente la cuarta parte del Perú, siendo Venezuela el país con mayor consumo de polvos en la Sub-región.

Colombia y Ecuador tuvieron una demanda **excepcionalmen** te alta en el año de 1980 con 25 y 12 ton. respectiva-

mente; mientras que Venezuela los tuvo durante 1978 a 1979, alcanzando una demanda de 60 ton. aproximadamente.

2.2.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA.

Argentina, Brasil y México se constituyen en los mayores consumidores de polvos de cobre en América Latina. En este estudio se ha descartado a Brasil porque a pesar de tener una gran demanda, ésta es satisfecha cada vez más con la oferta nacional, haciéndose por ello menos **significativo el volumen de sus importaciones.**

2.2.3.1.- ARGENTINA

En el cuadro 2.2.3.1. se muestran las importaciones de polvos de cobre en la Argentina.

CUADRO 2.2.3.1. IMPORTACIONES DE POLVOS DE COBRE EN LA ARGENTINA.

AÑO	<u>KG/año</u>	<u>PRECIO CIF_(\$)</u>
1975	4,137	12,352
1976	215	1,077
1977	5,869	16,963
1978	6,514	19,164
1979	10,182	33,527
1980	26,453	137,472
1981	16,905	75,457
1982	26,253	85,921

Fuente: Ministerio de Economía de la República Argentina

Instituto Nacional de Estadística y Censos (Correspondencia)

La demanda histórica tiene un comportamiento irregular, pero con tendencia creciente en los últimos años.

2.2.3.2.- MEXICO

El Cuadro 2.2.3.2. muestra las importaciones de polvos de cobre en México.

CUADRO 2.2.3.2. IMPORTACIONES DE POLVOS DE COBRE
EN MEXICO.

AÑO	KG/AÑO	PRECIO CIF (PESOS)
1975	312,834	13'036,186
1976	470,295	22'977,748
1977	198,588	17'477,710
1978	125,481	13'590,158
1979	113,436	14'210,072
1980	171,924	23'001,664
1981	124,006	16'205,622

Fuente: Anuario de Comercio' Exterior, México
Correspondencia.

En los últimos años las importaciones se mantienen - encima de las 100 ton. por año representando el ma -
yor mercado en América Latina.

2.3.- ANALISIS DE LA OFERTA.

2.3.1.- PERU

No existe oferta de polvos de cobre a nivel nacional; toda la demanda es cubierta por medio de las importaciones.

2.3.2.- GRUPO ANDINO

En ninguno de los países del Grupo Andino se tiene producción de polvos de cobre, de modo que al igual - que en el Perú la demanda está totalmente cubierta por las importaciones.

2.3.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA.

2.3.3.1.- ARGENTINA

No se ha podido determinar exactamente la producción nacional de polvos de cobre; sin embargo se puede asegurar que Argentina sólo produce polvos en pequeña escala. El resto de la demanda nacional es cubierta con las importaciones.

2.3.3.2.- MEXICO.

En el Cuadro 2.3.3.2., se muestran las exportaciones realizadas desde 1976, sin embargo en México la producción de polvos no satisface la demanda existente.

CUADRO 2.3.3.2.

EXPORTACIONES DE POLVOS DE COBRE DE MEXICO

AÑO	KILOS	PRECIO FOB (PESOS)
1976	11,003	561,105
1977	25	4,950
1978	3,887	286,593
1979	6,242	576,209
1980	392	124,055
1981	2,191	755,706

Fuente: Anuario de Comercio Exterior, MEXICO

Correspondencia.

2.4.- PROYECCION DE LA DEMANDA

2.4.1.- PERU

Del Cuadro 2.2.1 se observa que la demanda histórica - de los polvos de cobre ha tenido un comportamiento - demasiado irregular, así en 1979 la demanda sobrepasó - las 23 ton. (cifra extraordinariamente alta), mientras que en algunos años estuvo alrededor de las 10 ton.

Para la proyección de la demanda no se han considerado los años 1975 y 1979 para evitar que esta fuera demasiado optimista; tampoco 1982 por que esta información no representaba el 100% de la verdadera demanda en ese año.

Correlacionando los demás datos se ha estimado que la demanda de polvos de cobre en el Perú en los próximos años sería de 10 ton./año.

2.4.2.- GRUPO ANDINO

2.4.2.1.- BOLIVIA.

La información estadística que se tiene está muy atrasada, solamente se ha conseguido datos de importación para los años 1978 y 1979 y ellos muestran que la demanda ha sido muy pequeña. Por ello no consideramos el mercado boliviano para la proyección de la demanda potencial de polvos en los del Grupo Andino.

2.4.2.2.- COLOMBIA

Del Cuadro 2.2.2., se observa que la demanda de polvos de cobre para Colombia tiene una tendencia creciente (sin considerar 1979 donde la demanda fué extraordinaria entre alta). Correlacionando estos datos, podemos estimar la demanda para los próximos 8 años.

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.4.2.2.

CUADRO 2.4.2.2.

DEMANDA PROYECTADA PARA COLOMBIA (1 año)

AÑO	KILOS
1983	18,000
1984	18,900
1985	19,800
1986	20,700
1987	21,600
1988	22,400
1989	23,300
1990	24,200

2.4.2.3.- ECUADOR

Un primer estimado de la demanda futura de Ecuador se ha realizado sin considerar los datos de los años 1979 y 1980 pues se apartan bastante de la tendencia general observada.

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.4.2.3.

CUADRO 2.4.2.3

DEMANDA PROYECTADA PARA ECUADOR (1 año)

AÑO	KILOS
1983	2,800
1984	3,000
1985	3,300
1986	3,500
1987	3,700
1988	4,000
1989	4,200
1990	4,400

2.4.2.⁴.- VENEZUELA.

CUADRO 2.4.2.4

DEMANDA PROYECTADA PARA VENEZUELA

AÑO	KILOS
1983	56,800
1984	58.900
1985	60,900
1986	63,000
1987	65,000
1988	67,100
1989	69,100
1990	71,200

En el Cuadro 2.4.2.4., se presenta la demanda **proyectada** para Venezuela, se puede observar la tendencia-creciente de la demanda, constituyéndose ésta en la mayor del grupo andino.

2.4.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA.

2.4.3.1. ARGENTINA.

La demanda proyectada para Argentina se presenta en el Cuadro 2.4.3.1.

CUADRO 2.4.3.1.

DEMANDA PROYECTADA PARA ARGENTINA

AÑO	KILOS
1983	28,600
1984	33,300
1985	36,000
1986	40,000
1987	43,300
1988	47,000
1989	51,000
1990	54,300

Observando la proyección de la demanda en el mercado argentino y comparándola con la de los demás mercados se establece que el crecimiento de la demanda en este mercado constituye para nuestro estudio uno de los factores más importantes para un análisis de su viabilidad.

2.4.3.2.- MEXICO

De los Cuadros 2.2.3.2., y 2.3.3.2., donde se muestra tanto las importaciones como las exportaciones de polvos de cobre en México, se observa que su mercado es bastante grande; sin embargo la tendencia de las importaciones tiende a permanecer durante los últimos años en un promedio de 120. ton.

2.5.- DEMANDA PARA EL PROYECTO

2.5.1.- PERU

Considerando que la introducción de nuestro producto en el mercado nacional será en forma paulatina, asumimos que inicialmente el proyecto capturará un 50%, de la demanda nacional, y que este porcentaje se incrementará hasta un 85% en el año 1990.

El el Cuadro 2.5.1., se muestra la demanda para el proyecto.

CUADRO 2.5.1.

DEMANDA PARA EL PROYECTO PERU

AÑO	DEMANDA PROYECTADA -	CAPTACION %	DEMANDA PARA EL PROYECTO
1983	10,000	50	5,000
1984	10,000	55	5,500
1985	10,000	60	6,000
1986	10,000	65	6,500
1987	10,000	70	7,000
1988	10,000	75	7,500
1989	10,000	80	8,000
1990	10,000	85	8,500

(7)

2.5.2.- GRUPO ANDINO

La captación del mercado del Grupo Andino, también de berá ser en forma progresiva. Se considera que se podría captar en una primera etapa un 25% de la demanda e ir elevando este porcentaje hasta alcanzar un 55% en 1990.

En el Cuadro 2.5.2., se muestra la demanda del Grupo-Andino para el proyecto.

CUADRO 2.4.2.

DEMANDA PARA EL PROYECTO GRUPO ANDINO

AÑO	DEMANDA PROYECTADA	CAPTACION %	DEMANDA PARA EL PROYECTO
1983	77,600	25	19,400
1984	88,800	25	20,200
1985	84,000	30	25,200
1986	87,200	35	30,500
1987	90,300	40	36,120
1988	93,500	45	42,075
1989	96,600	50	48,300
1990	99,800	55	54,890

2.5.3.- OTROS PAISES DE AMERICA LATINA

2.5.3.1.- ARGENTINA

Se considera que paulatinamente se irá incrementando el porcentaje de captación del mercado argentino, desde 10% hasta 25%. En el Cuadro 2.5.3.1. se presentan los resultados de la demanda para el proyecto.

CUADRO 2.5.3.1.

DEMANDA PARA EL PROYECTO ARGENTINA

AÑO	DEMANDA PROYECTADA (Kilos)	CAPTACION	DEMANDA PARA EL PROYECTO (Kilos)
1983	28,600	10	2,860
1984	33,300	10	3,330
1985	36,000	15	5,400
1986	40,000	15	6,000
1987	43,300	20	8,660
1988	47,000	25	9,400
1989	51,000	25	12,750
1990	54,300	25	13,500

2.5.3.2.- MEXICO:

A pesar de que México es un gran mercado de polvos de cobre, se debe tomar en cuenta de que a su vez es también productor e inclusive exportador de polvos. Por esta razón se considera que sólo se puede captar un bajo porcentaje (5%) de este mercado.

De este modo, la demanda anual para el proyecto es de 6,000 Kg.

2.5.4.- **CONCLUSION.**

Considerando la proyección de la demanda nacional, la del Grupo Andino y la de Argentina y México, se **pre - senta** en el Cuadro 2.5.4., el resumen de la demanda - para el proyecto considerando un % de captación de di **chos** mercados.

CUADRO

DEMANDA DEMANDA PARA EL PROYECTO (EN TON.)

O	GRUPO ANDINO	M	00	ARGENTINA	O
1983	1 4	6		2 86	33 26
1984	2 2	6		3 33	35.03
1985	2 2			5.4	42.6
1986	3 52			6 0	9 2
1987	36 12	8		8 66	54.8
1988	42 1	6		9.4	65.0
1989	48 3	8		12 25	75 5
1990	5 9	0		13 5	82 0

3.- TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE PLANTA

3.- TAMAÑO Y LOCALIZACION DE PLANTA.

3.1.- TAMAÑO DE PLANTA

El tamaño sobre todo y la localización en menor proporción definen tanto la inversión inicial como el flujo de caja con que debe trabajarse, los mismos que deberán ser solventados por la comercialización del producto.

De otro lado, considerando que el proceso de producción es por lotes, y que el equipo requerido no está supeditado a tamaños standard en su mayor parte, ya que pueden mandarse fabricar sin mayor dificultad, se concluye que el principal factor que determina el tamaño de la planta lo constituye la demanda del producto. De acuerdo a esto, el tamaño de la planta está definido conforme a los resultados del estudio de mercado presentado en el Capítulo 2:

- Volumen de producción diaria: 280 Kg.
- Un turno de trabajo de 8 horas.
- 300 Días laborables anuales
- 6 días de trabajo semanal.

Se considera que un posible aumento de la producción puede ser cubierto aumentando el número de turnos, y para planes futuros se puede ir agregando unidades similares.

3.2.- LOCALIZACION DE PLANTA

Una adecuada localización de planta debe orientarse hacia la obtención de una máxima tasa de ganancia y un mínimo costo unitario del producto.

Los principales factores a estudiar son:

- 1.- Cercanía al mercado del producto.
- 2.- Disponibilidad de materias primas
- 3.- Disponibilidad de servicios.
- 4.- Otros factores (mano de obra, terrenos, clima , facilidades administrativas, etc).

3.2.1.- CERCANIA AL MERCADO DE PRODUCTOS.

A nivel nacional, se ha observado que más del 95% - de las industrias que emplean los polvos de cobre - como insumo, se encuentran localizadas en Lima. Por lo tanto, desde el punto de vista de la demanda interna es conveniente que la planta se instale en esta ciudad.

Igualmente, como un apreciable porcentaje de la producción deberá ser destinado a la exportación, la ubicación considerada tendrá la ventaja de su cercanía a la Aduana del Callao.

3.2.2.- DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS.

Los principales insumos empleados son: ácido sulfúrico, sulfato de cobre y cobre electrolítico. Los

dos primeros se consiguen con mayor facilidad en Lima que en provincias; no así el cobre **electrolítico** que se produce en las refineries de Ilo y La Oroya. En conclusión, desde el punto de vista de **disponibilidad** de materia prima, la localización de la planta no puede ser precisada en forma definitiva.

3.2.3.- DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS.

Para la instalación de la planta se requiere **principalmente** de servicios de energía eléctrica y agua.

Se sabe que en Ilo y La Oroya, las refineries de **minerales** cuentan con plantas propias de suministro de energía eléctrica. Como el presente trabajo **considera** la instalación de una planta nueva, independiente de las **refineries**, es necesario que en esos lugares (Ilo y La Oroya) donde los servicios de energía eléctrica para uso industrial son restringidos, se considere la necesidad de contar con un **equipo** electrógeno propio. Debe tomarse en cuenta, entonces los problemas, que esta alternativa **ocasionaría**, tales como: el precio del combustible, su transporte hasta la planta y el riesgo de su **almacenamiento**.

En Lima, por tratarse de una zona industrial, no se hace necesario que la planta cuente con un grupo electrógeno propio de modo que se evitarán los inconvenientes señalados en el párrafo anterior.

En conclusión, desde el punto de vista energético, la posibilidad de la localización de la planta en Lima resulta la más conveniente.

No hay mayor variación en la disponibilidad de agua en las tres alternativas mencionadas.

3.2.4.- OTROS FACTORES.

En cuanto a la mano de obra debe mencionarse que no se requiere mayor especialización, bastará con un mando medio para la supervisión y obreros para la parte operativa. Asimismo, en las condiciones actuales existe gran oferta de mano de obra, por lo que la disponibilidad de este tipo de recurso no constituye mayor problema y no influye en la decisión de la localización de la planta.

4.- ESTUDIO TEORICO EXPERIMENTAL DEL PROCESO ELEC-
TROQUIMICO EN LA PRODUCCION DE POLVOS DE COBRE.

4.- ESTUDIO TEORICO EXPERIMENTAL DEL PROCESO ELECTROQUIMICO EN LA PRODUCCION DE POLVOS DE COBRE.

Los polvos de cobre usados industrialmente deben cumplir rígidas especificaciones en sus características más importantes como son: densidad aparente , distribución del tamaño del grano, etc.

Para la producción competitiva de estos polvos, nos interesa ver cómo las variables comunes involucradas en el método de producción elegido influyen en las características antes mencionadas; por otro lado también es necesario conocer la eficiencia de la corriente usada.

VARIABLES como la densidad de corriente, el contenido de cobre y de ácido libre en el electrolito, el intervalo de cepillado, entre otros están directamente relacionados con la densidad aparente, la distribución de tamaño de grano y la eficiencia en la corriente utilizada.

4.1.- ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1.1.- ENSAYOS Y MATERIALES.

El equipo empleado durante las pruebas de laboratorio fue el siguiente:

Fuente de energía de 15 volt.c.c. 0-15 amp.c.c.

Vaso de precipitados de 600 ml

Cátodos de plomo antimonioso (Pb-Sb 6%) y de cobre 3.5 cm x 10 cm. x 2 mm.

Reóstato Cinco 22 ohms 5 amp.

Voltímetro Simpson 0-5 volts. c.c.

Amperímetro milano 0-5 a 0-10 A.

Termómetro 110°C.

Soportes y conexiones

Estufa

Balanza eléctrica Sartorius 0-160 gramos

Analizador de concentración de Cu Sargent.

Densímetro.

Materiales:

Sulfato de cobre q.p.

Acido sulfúrico 98%

Cobre electrolítico

Carbonato de sodio

Acido clorhídrico

Virutas de Zn.

4.1.2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento general para todas las corridas fue

el siguiente:

1. Preparar la solución electrolítica y colocar dentro del baño los ánodos y cátodos separados una distancia de 3 cm.
2. Conectar el circuito eléctrico según la figura - mostrada. Fig. 4.1.2.
3. Realizar la electrólisis durante un tiempo determinado, cepillando los cátodos a intervalos regulares.
4. Acondicionamiento de los polvos, consistente en el enjuague de los mismos con una solución de carbonato de sodio, y un posterior filtrado y secado.
5. Molienda de los polvos secos.
6. Determinación de las características de los polvos.

4.1.3.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

En el cuadro 4.1.3., se presentan los datos obteni-dos de las pruebas experimentales, donde se han mantenido fijos los siguientes valores:

Area Catódica	45	cm ²
Area Anódica	59.5	cm ²
Distancia entre electrodos	3	cm

4.2.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE.

En el Cuadro 4.2., se presentan los resultados **expe
rimentales** obtenidos para el estudio del efecto de la densidad de corriente sobre la eficiencia de **co
rriente**.

CUADRO 4.2.

EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE

	EFICIENCIA DE CORRA		DENSIDAD APARENTE	
(amp/m ²)			(gr/cc)	*
200	72	57	1.48	1.41
300	78	64	1.51	1.38
400	81	68	1.49	1.37
600	85	-	-	-
800	88	-	-	-
1000	90	-	-	-

Cátodos de Plomo **antimonial**

** Cátodos de cobre **electrolítico**.

Los datos mostrados en el cuadro anterior se han u
tilizado para preparar un gráfico de eficiencia de
corriente y densidad aparente versus densidad de
corriente (Fig.4.2.). Se puede observar un ligero
incremento de la eficiencia de corriente cuando la
densidad de corriente aumenta desde 600 hasta 1000

amperios/m². Este incremento de eficiencia varía - entre 85 y 90% (tendiendo a mantenerse en este va - lor), cuando la concentración del baño electrolíti - co es de 25 gr/lt de sulfato de cobre y 120 gr/lt . de ácido sulfúrico. Se observa asimismo que un in - cremento de la densidad de corriente ocasiona una - disminución de la densidad aparente de los polvos.

Las principales conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- Un aumento en la densidad de corriente hace que - el tamaño de partículas de polvo obtenido seas me - nor; ello podría explicarse considerando que un incremento de la densidad de corriente produce un rápido agotamiento de los iones Cu⁺⁺ alrededor del cátodo, favoreciendo con ello la evolución del hidrógeno gaseoso y por ende impidiendo el - crecimiento de las partículas de polvo en el cato do. (3,5,6)
- A mayor densidad de corriente, la densidad aparen te de los polvos disminuye debido a que las partí culas obtenidas son de menor tamaño.
- Existe una relación muy importante entre la densi dad y la eficiencia de la corriente usada. Se ob serva inicialmente un gran incremento en la efi ciencia de la corriente; sin embargo alrededor de los 1000 amp/metro² tiende a un valor constante -

de 90%. Es de esperar que un posterior incremento en la densidad de corriente por el contrario haga disminuir la eficiencia debido a que bajo estas condiciones una mayor proporción de la corriente se empleará en la reducción de los iones hidrógeno por el agotamiento de los iones Cu^{++} .

- La densidad de corriente óptima para la producción de polvos de cobre es de 800 amperios/metro², con una eficiencia de corriente de aproximadamente 88% y una densidad aparente de 1.38 gr/cc.

4.3.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL CONTENIDO DE COBRE.

En el Cuadro 4.3., se muestran los resultados obtenidos de las diferentes experiencias en las que se varió el contenido de cobre del baño electrolítico, manteniendo constantes los siguientes parámetros:

$$i_0 = 800 \text{ amp/metro}$$

$$H_2SO_4 = 120 \text{ gr/lt.}$$

Interv. cepillado = 30 minutos.

CUADRO 4.3.

EFECTO DEL CONTENIDO DE COBRE

Cu (grCuSO ₄ /lt)	EFICIENCIA CORR. (%)	DENSIDAD APAREN TE (gr/cc).
15	74	0.80
20	85	1.00
25	88	1.38
30	87	1.74
35	84	1.95

En la Figura 4.3., donde se gráfica la eficiencia - de corriente y la densidad aparente versus el conte nido de cobre del baño electrolítico se muestra que la eficiencia de corriente alcanza su mayor valor cuando el contenido de cobre varía entre 20 y 30 - gr/lt.

Puede explicarse este comportamiento de la **eficiencia** respecto al contenido del cobre, considerando que un contenido de cobre muy alto favorece la **formación** de un depósito adherente y compacto en vez de la deposición del polvo; por el contrario, un contenido de cobre demasiado bajo favorece una **mayor** evolución de hidrógeno. (3,4,6).

La conclusión final es que un baño **electrolítico** - con un contenido de cobre alrededor de 25 **gr/lt** dará mejores resultados para la obtención de polvos de cobre.

4.4.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL CONTENIDO DE ACIDO

El cuadro 4.4., muestra los resultados sobre el **efecto** del contenido de ácido, donde se mantuvieron **constantes** los siguientes valores:

densidad de corriente : 800 amp/metro
sulfato de cobre 25 gr/lt.
intervalo de cepillado 30 minutos.

CUADRO 4.4.

EFECTO DEL CONTENIDO DE ACIDO

<u>H₂SO₄</u> <u>(gr/lt)</u>	<u>EFICIENCIA DE</u> <u>CORRIENTE. (%)</u>	<u>DENSIDAD APARENTE</u> <u>(gr/cc)</u>
80	80	1.68
100	87	1.55
120	88	1.38
140	86	1.20

En la Figura 4.4., se **grafica** la eficiencia de **corriente** y la densidad aparente versus la **concentración** de ácido sulfúrico. Análogamente a lo hallado en el estudio del efecto de la **concentración** de **cobre** sobre la eficiencia de corriente, se encuentra un valor máximo para la eficiencia de corriente. Sin embargo ocurre lo contrario para la densidad aparente que disminuye conforme aumenta el contenido de **ácido**.

La disminución de la eficiencia de corriente después de un cierto contenido de acidez es debido a un fenómeno de pasivación producido por los iones sulfato que cubren el ánodo. (3,5,6).

Es importante establecer la doble función que cumple el ácido en el baño electrolítico:

- Evita cualquier película de hidróxido que tendería a formarse alrededor del cátodo debido a la copiosa evolución de hidrógeno.
- Aumenta la conductividad del electrolito, puesto que esta tiene relación con el rendimiento de corriente.

Se ha podido determinar que el contenido de acidez - óptimo para la producción electrolítica de polvos es de 120gr/lt. de ácido sulfúrico.

4.5.- ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DEL INTERVALO DE CEPILLADO

El intervalo de cepillado no tiene prácticamente influencia alguna en la eficiencia de corriente, pero si tiene efecto sobre el tamaño de las partículas - obtenidas.

A mayor intervalo de cepillado los polvos resultantes son más gruesos y de mayor densidad aparente puesto que los granos tienden a apelmazarse. (3,4).

4.6.- EFECTO DE LA TEMPERATURA

A mayor temperatura se obtiene una mayor eficiencia de corriente debido a que se favorece el desplazamiento de los iones Cu^{++} en la solución (mayor $D_{\text{Cu}^{++}}$): y, también se logra una reducción en el voltaje de la celda . Pero, por otro lado hay que considerar - que un aumento de T favorece la formación de polvos más densos y pesados al mismo tiempo que un aumento en su velocidad de disolución. (4,5)

En consecuencia, no serían convenientes altas **temperaturas** ya que no se lograría un mayor rendimiento-neto en la producción de polvos, puesto que el **au-**mento en la eficiencia de corriente se ve **contrarres-**tada por el efecto del aumento de la velocidad de disolución de los polvos formados.

Se recomienda que la temperatura de operación para la producción **electrolítica** de polvos de cobre sea 25°C .

4.7.- EFECTO DE LOS AGENTES DE ADICION.

Con el fin de aumentar la finura de los polvos se pueden usar diferentes agentes de adición; sin embargo, es necesario observar que ello ocasiona una **disminución** en la eficiencia de corriente y un aumento en el voltaje de la celda. Más importante aún es recordar que la influencia más adversa de estos aditivos es que decoloran a los polvos durante su almacenamiento.
(3).

4.8.- CONCLUSIONES

Después de las pruebas realizadas y de haber consultado la bibliografía disponible, se puede indicar que las mejores condiciones para la producción de los polvos de cobre son:

- CARACTERISTICAS DEL BAÑO ELECTROLITICO:

Contenido de cobre : 25 gr/litro.

Concentración de ácido: 120 gr/litro.

- CONDICIONES DE LA ELECTROLISIS:

Densidad de corriente: 800 amp/m²

Temperatura: 25°C.

Intervalo de cepillado: 1 hora.

5.- INGENIERIA DEL PROYECTO.

5.- INGENIERIA DEL PROYECTO

5.1.- TECNOLOGIAS DISPONIBLES

La obtención de polvos metalúrgicos aptos para aplicaciones industriales puede realizarse por diferentes métodos. Sin embargo, la elección final del método apropiado para obtenerlos estará condicionado no sólo por las consideraciones económicas muy importantes, lógicamente sino además también por las estrictas especificaciones impuestas al producto.

En general podemos agrupar los diferentes métodos conocidos para la obtención de los polvos metálicos en 2 grandes grupos : (6,7,8).

5.1.1.- PROCEDIMIENTOS MECANICOS.

5.1.1.1.- MOLIDO: Este método es adecuado solamente para materiales frágiles, mas no para aquellas que se aglutinan. Se pueden obtener polvos de Mn o Cr.

5.1.1.2.- LA ATOMIZACION: El método se basa en el simple hecho de que el metal en su estado líquido presenta una menor resistencia a la desintegración que cuando se encuentra en su estado sólido. El método consiste en hacer que el metal fundido bajo una capa sólida o gaseosa de protección a una temperatura cercana a la del punto de fusión, fluya a través de un orificio formando un chorro delgado de alta velocidad; en la

cámara el metal recibe la acción **desintegradora** de una corriente de agua, vapor a presión, aire o gas de composición especial, formándose de esta manera los polvos que solidifican antes de caer al colector. Nuevamente tenemos acá que diferentes variables influyen en las características del polvo obtenido. Las que controlan la distribución de tamaño de partículas son: la temperatura del metal, el tamaño del chorro del metal, la presión del medio **atomizante** etc. Este procedimiento puede ser aplicado a la **mayor** parte de los metales y aleaciones, pero se **utiliza** sobre todo para la producción de polvos de **Fe, Sn, Zn, Pb, Cd** y bronce.

5.1.1.3.- **PULVERIZACION:** Es un método similar al anterior. Se realiza dirigiendo un chorro fundido de metal sobre un disco que gira a gran velocidad provisto en su **periferia** de cuchillas metálicas que fragmentan el chorro del metal.

5.1.2.- **PROCEDIMIENTOS FISICO-QUIMICOS.**

5.1.2.1.- **REDUCCION DE OXIDOS:**

En este método se producen primero los polvos de los óxidos de los metales que, por lo general, son **frá**giles y pueden fragmentarse con más facilidad que los metales puros.

En general, dependiendo de la calidad de la **materia-**

prima se le deberá someter a algunas operaciones previas antes de que el material oxidado se pueda desmenuzar con facilidad en molinos de tipo convencional para continuar con la etapa de reducción gaseosa. Esta etapa se realiza en hornos continuos a una temperatura menor que la de fusión del metal, y con la atmósfera adecuada para favorecer la descomposición del óxido. El producto de los hornos es un queque aglomerado que tiene que ser quebrado, molido y clasificado para obtener el polvo comercial.

5.1.2.2.- PROCEDIMIENTO ELECTROLITICO:

La teoría electroquímica básica de deposición electrolítica de polvos es idéntica a aquella de electrorefinación y electrodeposición.

Las condiciones electroquímicas afectan el tipo de depósito; sin embargo, son controladas en la producción del polvo, de modo que se obtiene un depósito que es el contrario a aquel deseado en refinación y recubrimiento donde el objetivo es un depósito adherente, duro, denso y liso.

En un baño electrolítico, donde el cobre es el ánodo y el plomo actúa como cátodo, el paso de la corriente eléctrica (a una densidad de corriente mucho mayor que la de refinación) ocasiona la formación de un depósito esponjoso de cobre sobre el cátodo. Las características de esas partículas pueden variarse controlando diversos parámetros, tales como contenido de Cu y de ácido, temperatura, densidad de co

riente, distancia entre los electrodos, etc. Periódicamente se restriegan los cátodos con escobillas de goma, y se retiran los polvos que caen al fondo del estanque. El polvo obtenido es muy activo debido a su gran área superficial y por ello es propenso a oxidarse; esto hace necesario un tratamiento adicional para estabilizarlo.

El tratamiento consiste en operaciones de lavado y secado. Este ha de realizarse en un horno con atmósfera adecuada para reducir los óxidos, aglomerar las partículas muy finas y también alterar sus propiedades físicas. Luego se somete el producto seco a molienda y clasificación para finalizar con el mezclado de los polvos de diferentes tipos hasta obtener el lote comercial.

5.1.2.3.- PRECIPITACION DE COBRE EN SOLUCION:

Consiste en la deposición de cobre metálico de soluciones cuprosas mediante hierro. Aunque las reacciones químicas son conocidas, en la práctica pueden ocurrir otras, dependiendo el proceso de los siguientes factores: acidez de la solución, cantidad de iones ferrosos, férricos y de cobre presentes, gasto de la solución.

Este método es utilizado cuando no interesa tanto la pureza química sino la fineza y reactividad de los polvos, por ejemplo, cuando son usados como catalizadores.

5.1.2.4.- PROCESO DE EXTRACCION METALURGICA:

Se podría definir como el proceso de obtención **directa** de polvos a partir de sus minerales, sin pasar por operaciones de fundido del metal. Si este tipo de proceso permitiese la obtención de polvos en forma competitiva, se obtendría una economía sustancial en la fabricación 'de piezas terminadas.

Por ejemplo, para el caso del cobre, se puede **obtener** polvos por precipitación, mediante lixiviación de concentrados con sulfato de **amonio** o de cementos de cobre con carbonato de **amonio**.

5.2.- TECNOLOGIA A DESARROLLARSE

De las diferentes alternativas que se tienen para producir polvos de cobre, se ha elegido la producción por el método electrolítico por las siguientes razones.

- 1° La pureza del producto obtenido mediante este método es mayor que la lograda con los otros métodos.
- 2° La principal materia prima (ánodos de cobre electrolítico) se consigue fácilmente en nuestro medio por existir en el país plantas de refinación de cobre electrolítico.
- 3° Se logra mediante este proceso un preciso control del proceso y de las propiedades del polvo.
- 4° Es posible disminuir el costo de inversión utilizando con ciertas modificaciones celdas de una planta de refinación electrolítica de cobre.

5.2.1.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE PRODUCCIÓN.

Para la producción de polvos de cobre por el método electrolítico se usan celdas electrolíticas que contienen el baño electrolítico, éste consiste en una solución de sulfato de cobre y ácido sulfúrico; cobre refinado electrolíticamente es usado como ánodo y plomo antimonial (Pb-Sb 6%) como cátodo

La energía necesaria para la electrólisis deberá ser

suministrada a las celdas a través de un sistema de conexiones a partir de una fuente de energía de 2200 amp. de corriente a 20 voltios.

Parte de los polvos depositados durante la electrólisis caen al fondo de la celda; sin embargo con el fin de evitar que la densidad de corriente en el cátodo caiga debido a la variación del área (producida por los polvos que quedan adheridos al cátodo) , los cátodos se cepillan periódicamente usando para ello mangos de jebe,

Al finalizar un ciclo de operación se corta el suministro de energía eléctrica a la celda, la electrólisis es detenida y la siguiente operación consiste en retirar los polvos obtenidos de las celdas electrolíticas.

Para retirar los polvos lo primero que se hace es drenar la solución electrolítica hasta un nivel sobre el tope del polvo, los ánodos y cátodos son entonces lavados y removidos de las celdas. El polvo que se obtiene de la celda está en forma de un lodo y es removida de ésta mediante baldes para ser colocado en un tanque donde deberá ser ahora sometido a una subsecuente operación que es una de las más importantes en el proceso total.

En el tanque los polvos son sometidos a una opera -

ción de lavado a fin de remover las trazas de **electrolito** del polvo húmedo; para el lavado, al lodo - colocado en el tanque se le añade agua, se le agita y después de haberlo dejado sedimentar el líquido es drenado; esta misma operación se repite otra vez pero ahora la solución agitada es bombeada a través de un filtro prensa en el que el lodo es liberado de parte de su agua, en el mismo filtro el lodo es lavado nuevamente con agua y luego se escurre hasta un 20% de humedad.

El polvo así obtenido es muy activo y algunas de sus propiedades han sido ya dadas en la **electrólisis**; sin embargo, las subsecuentes operaciones a las que debemos someterlo son también importantes para obtener un polvo de grado aceptable.

El queque de polvo obtenido en la filtración deberá ser secado, para ello es colocado en unas bandejas y transportado a un horno; la operación en el horno se realiza bajo una atmósfera reductora, con este fin se usa una mezcla gaseosa cuya composición es: **CO** 12%, **CO₂** 2%, **H₂** 17% y **N₂** 69%, esta mezcla se obtiene quemando gas natural y aire en una relación de 1:6.

Con el fin de mejorar tanto la reducción como el enfriamiento del queque el gas es alimentado en **contracorriente**; además del secado y reducción del polvo en el horno también se produce la **sinterización** -

de los finos y se alteran algunas propiedades físicas de los polvos como son su densidad aparente y características de sinterizado.

Dependiendo de la temperatura del horno (900-1450°F) como del tiempo de permanencia del queque en éste puede descargarse como queque duro o suave; es importante que la temperatura de descarga se mantenga lo suficientemente baja de modo que se evite la reoxidación del polvo.

El queque obtenido en el horno es luego llevado a un sistema de molienda, para ello se usan molinos de bolas de alta velocidad. Con el fin de obtener las características del polvo deseado puede variarse la velocidad del molino, la abertura de la malla bajo el molino, etc.

El polvo molido debe ser ahora clasificado, para ello se usa un sistema de tamices vibratorios, los gruesos son retornados al sistema de molienda; los polvos van siendo clasificados sucesivamente a través de todo el sistema. El polvo que se descarga de la sección de clasificación es almacenado en barriles cerrados a los que se le añade sílica gel para controlar la humedad y evitar su oxidación.

Para producir una cantidad de polvo terminado de acuerdo a las especificaciones de los clientes, se

selecciona el tipo correcto de polvo de los barri-
les y se mezcla en proporciones adecuadas.

5.2.2.- En la Figura 5.2.2.1., se muestra el diagrama de -
flujo para la obtención de polvos de cobre por el
método **electrolítico**.

En la Figura 5.2.2.2., se presenta un Balance de Ma-
teria para el cobre durante cada una de las etapas-
del proceso, para ello se ha tomado como base **100Kg.**
de cobre.

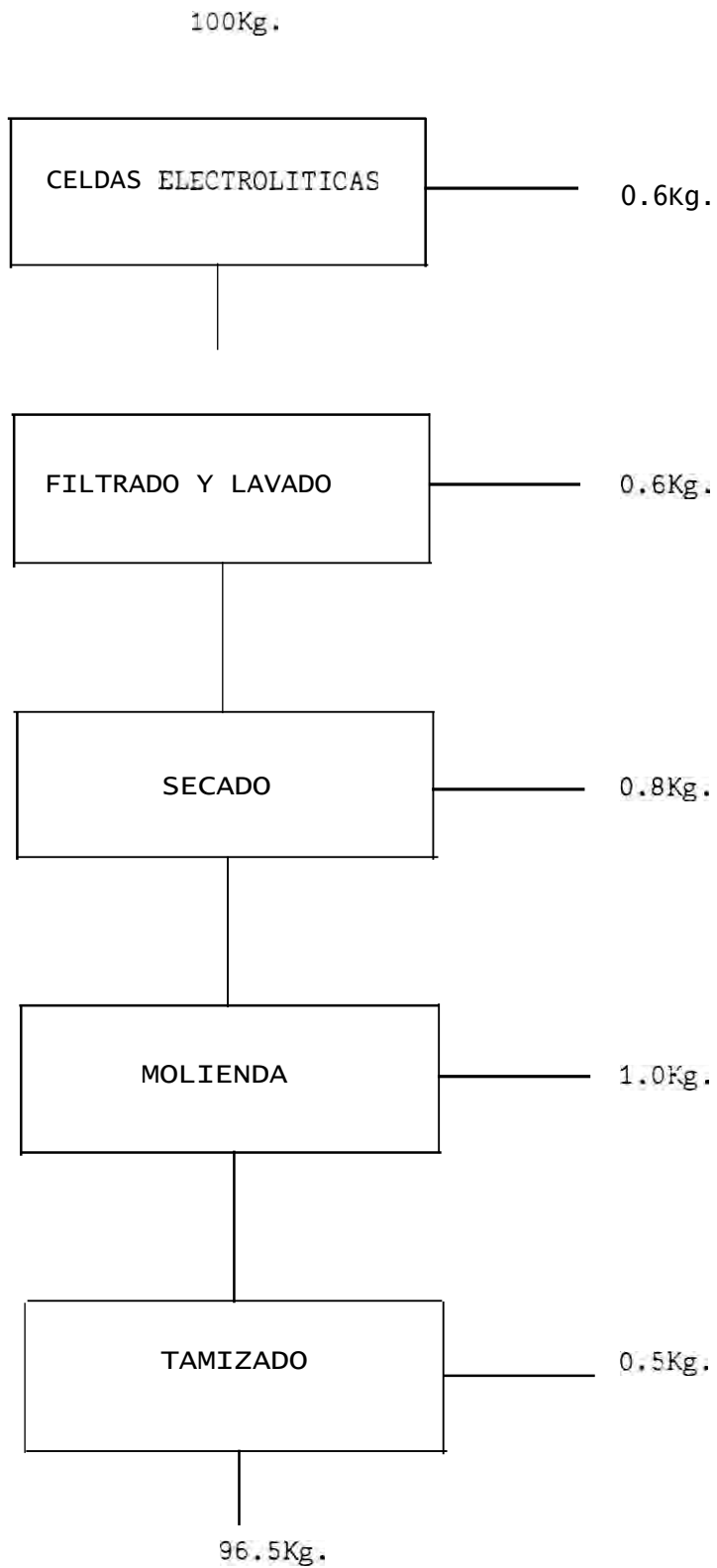


FIGURA 5.2.2.2.- BALAN:E DE MATERIA.

5.3.- MAQUINARIAS Y EQUIPOS.

Para la producción de los polvos de cobre por el método **electrolítico** se necesitan los siguientes **equi**pos.

1.- Tanques para Celdas **Electrolíticas.**

Capacidad : 1000 galones

Dimensiones : 3.5 x 1.15 x 0.92 metros.

Material : Concreto recubierto con **polies** -
ter reforzado con fibra de vidrio

Accesorios : Barras de soporte para los **ápo** -
dos y cátodos.

Válvula de drenaje

- Equipos auxiliar para la suspen-
sión de las barras.

2.- Tanque auxiliar para almacenamiento de la solu-
ción **electrolítica.**

Capacidad : 2500 galones

Dimensiones : 2 mt. de diámetro, 3 mt. de **altu**
ra.

Material : Concreto recubierto con **polies** -
ter reforzado con fibra de vi
drío.

3.- Tanque para lavado y enjuague de los polvos.

Capacidad : 500 galones

Dimensiones : 1.2 mt. de diámetro, **1.7mt.** de -
altura.

Material : Igual a 2.

- Accesorios : sistema auxiliar de agitación.
- 4.- Filtro prensa de placas y marcos:
Area total de filtración : 20 ft²
Número de marcos : 10
Dimensiones de las marcos: 12 x 12 pulgadas.
Material : fierro fundido.
- 5.- Horno:
Capacidad : 150 lbs. por carga.
Temperatura de operación : hasta 820°C.
Accesorios : sistema auxiliar para
circulación de atmós-
fera de secado.
- 6.- Molino de Bolas:
Capacidad : 80 lb/carga
Dimensiones : 24 pulgadas de diáme-
tro.
Motor : Velocidad de giro has
ta 1300 RPM potencia-
1/3 HP.
- 7.- Tamices:
Capacidad : 160 lbs/carga.
Dimensiones : 18 pulgadas de diáme-
tro.
Motor : Velocidad de giro has
ta 1250 RPM, potencia
1/4 HP.
- 8.- Juego Rectificador/Transformador de Corriente:
Capacidad : 44 Kilowatts.

Características de la corriente:

* Salida.

- Amperaje : 2200 amperios **c.c.**

- Voltaje 20 voltios **c.c.**

Alimentación.

- Corriente **trifásica** : 220 voltios/60Hz

- Corriente por línea : 136 amperios/60Hz

10.- Bomba Centrifuga:

Capacidad : 30 GPM/90 pies.

Potencia : 3/4 HP.

Material : Fierro revestido con
Teflón.

5.4.- REQUERIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS.

Las principales materias primas requeridas para la producción de polvos de cobre son:

- Láminas de cobre electrolítico de 99.999% de pureza.
- Acido sulfúrico de grado industrial, acidez total de 95% en peso, densidad 1.834 gr/cc a 20°C y de aspecto ligeramente turbio.
- Sulfato de cobre de grado técnico.
- Otros:

Carbonato de Sodio.

Sílica gel.

En el cuadro 5.4. se muestra una estimación de los requerimientos de materia prima para una producción de polvos de 280 kg/día durante un mes. (22 días)

CUADRO 5.4.

REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA POR MES

	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOT.
		UNIDAD	
	<u>Kg.</u>	<u>US\$/Kg.</u>	<u>US\$</u>
Cobre elect.	6270	1.33	8340
Acido sulfúrico	500	0.52	260
Sulfato de cobre	125	1.80	220
Carbonato de sodio.	85	2.00	<u>170</u>
			8990 \$U.S.

Del cuadro 5.4. se tiene que el costo de materiales por Kg. de polvos es de 1.46US\$/Kg.

5.5.- REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS.

En el Cuadro 5.5., se muestran los principales servicios necesarios para la producción de polvos así como el costo de los mismos.

CUADRO 5.5.

REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS POR MES

SERVICIO	CONSUMO ESTIMADO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Energía Eléctrica (1.45kw-hr/kg)	8930kw-hr	0.19 \$/ kw-hr	1700
Agua	500 m ³	0.33W	170
Atmósfera para secado			<u>200</u>
		TOTAL:	US.\$2070

Del cuadro 5.5. se tiene que el Costo por servicios es de 0.344 US 5/kg.

5.6.- REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA.

Se han realizado estudios para la estimación de la mano de obra necesaria, llegándose a la conclusión que se necesitan:

- Sección de electrólisis, y lavado de los polvos:
2 obreros.
- Sección de filtrado y secado: 2 obreros.
- Sección de molienda, tamizado y empaque: 2 obreros.

El costo de la mano de obra requerido asciende en total a 390 US\$ por mes (65 US\$/obrero al mes).

Adicionalmente se debe pagar los servicios de un supervisor (un técnico especializado o de mando medio) 100 US\$/mes, y al ingeniero jefe de producción 400 US\$/mes.

El costo total para el pago del personal de producción se ha estimado finalmente en 890 US\$/mes.

6.- DETERMINACION DE LA INVERSION

6.- DETERMINACION DE LA INVERSION

6.1.- ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE LA PLANTA

Para la determinación del costo total de la planta, se ha utilizado el método de estimación factorial, en el que se parte de los costos sin instalar de los principales equipos del proceso para luego aplicar un factor experimental en el cálculo de los costos adicionales. (9).

6.1.1.- COSTO DE LOS EQUIPOS SIN INSTALAR I'_E

En el cuadro 6.1., se presenta el resumen de los costos de los principales equipos del proceso sin instalar.

6.1.2.- COSTO TOTAL DEL EQUIPO INSTALADO.-

En este punto pueden considerarse dos grupos:

- COSTOS DIRECTOS ADICIONALES:

	Factores : f_1
Mano de obra	0.15
Estructuras	0.05
Instalación eléctrica	0.15
Pintura y Limpieza	<u>0.06</u>
Σf_1	= 0.41

Costo Directo total = 1.41 (28,000) = **39,480 US\$**

- COSTOS INDIRECTOS:

	Factores: f_1	
Gastos Generales. Gerencia		0.20
Servicios Técnicos		<u>0.10</u>
Imprevistos		<u>0.10</u>
	Σf_1	= 0.40

Costo Total del **Equipo** Instalado: $I_E = 1.40 \times$
 $39480 = 55270 \text{ US\$}$

6.1.3.- COSTO TOTAL DE LA PLANTA

Los factores a considerarse son:

COSTOS DIRECTOS:

	Factores: f_1	
Tuberías		0.10
Instrumentación		0.03
Edificio de Fabricación		0.60
Plantas de Servicios (trat.de agua)		<u>0.01</u>
	Σf_i	= 0.74

Costo Físico Total: $1.74 \times I_E = 96170 \text{ US\$}$.

COSTOS INDIRECTOS:

	Factores: $f.$	
Ingeniería y Construcción		0.15
Factores de Tamaño		0.05
Contingencias		<u>0.10</u>
	Σf_1	= 0.30

Costo Total de la Planta (I): $1.30 \times 96170 =$
 $125,000 \text{ US\$ (OFC)}$.

6.2.- ESTIMACION DE LOS COSTOS DE FABRICACION. *5X /Jou/*

Para la estimación de los costos de fabricación, estos se dividen en tres términos: términos **proporcionales** al costo total de la planta I, términos **proporcionales** al volumen de producción Q y los **términos** proporcionales a la mano de obra $L^{(n)}$. Así:

$$C(\text{U.S.}\$/\text{AÑO}) = aI + bQ + cL.$$

COSTOS PROPORCIONALES AL COSTO TOTAL DE LA PLANTA:

De la bibliografía consultada se tiene que éstos constituyen de un **10 a un 20%** del costo total -de **fa**

u plan (,)

Para este caso se asume un valor para el factor a = 0.10

COSTOS PROPORCIONALES AL VOLUMEN DE PRODUCCION:

En los Cuadros 5.4. y 5.5. se mostraron los costos-totales de materiales y servicios para una **produc**
ción total de 6160 Kg. de polvos de cobre. Con estos datos se halla que el factor $b = 1.80 \text{ US}\$/\text{kg}$ **pol-**
y o. *x 22 do (1 un)*

COSTOS PROPORCIONALES A LA MANO DE OBRA:

Del **ácapite** 5.6. se tiene que el costo de mano de obra requerida asciende a **890 US\$/mes.**

De este modo el costo de fabricación por año para un volumen de producción Q es:

$$C = 0.10 (125,000) + 1.8Q + (890) 12$$

$$C(\text{US}\$/\text{año}) = 23,180 + 1.8Q$$

Donde Q es la producción anual **en Kg/año.**

En el cuadro 6.2., se resumen los costos de fabricación para los diferentes volúmenes de producción hasta el año 1990.

CUADRO 6.2.
COSTOS DE FABRICACION

N	AÑO	VOLUMEN DE PRODUC. (Kg)	COSTOS DE FA BRICACION.US
1	1984	17,515	43,100
2	1985	42,600	99,860
3	1986	49,020	111,400
4	1987	57,780	127,180
5	1988	65,000	140,180
6	1989	75,050	150,270
7	1990	82,900	172,400



6.3.- ESTIMACION DEL COSTO DEL TERRENO.

Los requerimientos de terreno y **construcciones estimados** son:

Area Total de terreno : 300 m²

Area Techada : 220 m²

Area para Oficinas y Almacén 80 m²

Patios, vía de acceso y jardines

80 m²

De acuerdo a esto el costo del **terreno y principales construcciones** asciende a:

Terreno (300 m² , 20 U.S.\$/m) 6000 U.S.\$

Construcciones (200m², 120 U.S.\$/m) 24000 U.S.\$

Finalmente la inversión total requerida para la adquisición del terreno se estima en 30,000 U.S.\$

6.4.- ESTIMACION DEL CAPITAL DE TRABAJO.

El capital de trabajo requerido está constituido por el costo total que ocasiona la producción de los **pol**vos de cobre durante los primeros tres meses de producción, en los cuales se estima no habrá ningún tipo de ingreso por ventas.

El costo total de producción comprende además de los gastos de fabricación, los gastos adicionales en que se incurren por la comercialización y venta del producto **así** como también los gastos administrativos. Se considera que estos costos adicionales **constitu**-yen aproximadamente un 10% de los costos de fabricación.

Finalmente, de acuerdo a lo anotado previamente, el capital de trabajo requerido se ha estimado en **25,000** US.\$.

6.5.- INVERSIÓN TOTAL ESTIMADA.

La inversión total requerida comprende, el costo total de la planta, el del terreno y el capital de trabajo.

Resumiendo entonces la información presentada en 6.1, 6.3 y 6.4 se tiene que:

Costo total de la planta	125,000 US\$
Costo de Terreno	30,000 US\$
Capital de Trabajo	25,000 US\$
Inversión total estimada	180,000 US\$

7.- EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

7.- EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

De los muchos métodos que se tienen para la evaluación económica de un determinado proyecto, se ha elegido en este caso el método basado en el valor actual neto de los beneficios totales.

Para esto se hace primero un estimado del flujo neto de fondos FNF, durante los años de vida económica del proceso; luego con estos datos se calculará el valor actual neto VAN, de los beneficios totales:

$$VAN = \sum_{n=1}^n FNF (1 + i)^{-n}$$

FNF : Monto imponible - Impuestos + depreciación - inversión + R - Amortización.

Monto Imponible = Ingresos - Costos Totales - depreciación - C_f

Siendo R = otro tipo de ingreso

C_f = Costo financiero.

e i = tasa de corte.

7.1.- DETERMINACION DE INGRESOS Y EGRESOS POR AÑO.

En el Cuadro 7.1. se muestran tanto los ingresos como los costos totales por año, estimados para diferentes volúmenes de producción hasta el año 1990.

CUADRO 7.1.

INGRESOS Y COSTOS TOTALES POR AÑO

Nº	AÑO	INGRESOS TOTALES (U.S.\$)	COSTOS (U.S.\$)		TOTALES
			DE FABRICAC.	POR VENTAS y ADMINISTRAT.	
1	1984	131,340	43,100	4,310	47,410
2	1985	319,550	99,860	10,000	109,960
3	1986	379,950	111,450	11,140	122,540
4	1987	447,230	127,180	12,720	139,900
5	1988	520,000	140,180	14,020	154,200
6	1989	600,330	158,270	15,830	174,100
7	1990	663,000	172,400	17,240	189,640

7.2.- CONDICIONES DE FINANCIAMIENTO.

Para la realización del presente proyecto se **necesita** realizar una inversión ascendente a 180,000 U.S. \$.

Para el análisis financiero presentado se está considerando como fuente de financiamiento al Banco Industrial del Perú; dicha entidad en la actualidad , otorga préstamos para financiar proyectos industriales como el que es objeto del presente estudio, bajo las siguientes condiciones:

- Monto del préstamo : hasta un 75-80% de la inversión total requerida.
- Condiciones
Puede incluir el 100% del capital de trabajo y un 100% del inmovilizado (equipos y maquinarias instalados).
No incluye la inversión destinada a la compra del terreno y la infraestructura.
- Tasa de interés : 63% anual, con capitalización trimestral.
- Plazo de amortización de la deuda: 5 años.
- Plazo de gracia : 1 año con pago de interés.

Para el presente estudio se considerará que un 25% de la inversión total requerida, debe ser colocada como inversión propia, y el resto será obtenida me-

diante un préstamo del Banco Industrial.

También, se determinará la forma en que se va amortizando la deuda, mediante montos anuales fijos, e **quivalentes** a los pagos trimestrales de los intereses más la amortización de la deuda.

Para hacer lo anterior, se determina primero la tasa efectiva de interés anual:

$$i_{\text{efectiva}} = 1 - (1 + 0.63/4)^{-4}$$

$$i_{\text{efectiva}} = 0.7951 \text{ (79.51\% anual)}$$

El monto de las anualidades pueden ser calculadas entonces usando la siguiente relación:

$$\text{Anualidad} = \frac{P i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 356'295,450 \text{ Soles.}$$

i = tasa efectiva anual

P = monto del préstamo = 135,000 U.S.\$

n = tiempo de amortización = 4 años.

en soles : $P = 405'000,000.$ = Soles.

Con esta información se ha elaborado el cuadro 7.2. - en el que se muestran tanto los intereses (el costo financiero C_f) como la amortización anual de la deuda, para una modalidad de pago del **tipo** cuotas **fijas anuales**.

7.3.- DETERMINACION DEL FLUJO NETO DE FONDOS.

En este punto debe indicarse de que la estimación - del flujo neto de fondos, se ha preferido hacerla - en dólares; la razón para ello es que de tener que trabajar en soles sería necesario hacer una proyec- ción del tipo de cambio en los próximos siete años, ya que la producción esta destinada en un gran por- centaje para la exportación.

De los datos del estudio de mercado presentado en - el capítulo 2, se estima que el precio por kilogra- mo de polvo de cobre se mantiene en 7.5 dólares. *revisó*

La información del aspecto financiero presentada en el cuadro 7.2 es requerida en dólares para el **cálcu** lo del Flujo neto de Fondos; se está haciendo el - cambio a dólares con un tipo de cambio constante, aún cuando se conoce de que ello no es exactamente- real, sin embargo con esta asunción estaremos colo- cados en el caso más crítico, lo cual es **precisamen** te lo deseado para este tipo de análisis.

Respecto a la depreciación, se debe señalar de que- se está utilizando para su **cálculo** el método de de **preciación** en línea recta; considerando un valor de de **salvataje** de 20,000 US\$, lo cual hace que la de- preciación sea de 15,000 US\$ anuales.

En el Cuadro 7.3., se ha resumido toda la información requerida para el cálculo del monto imponible anual.

En base a los datos de la Tabla 7.3, se determinan los impuestos, y junto con la inversión y otros tipos de ingresos (R) y la amortización se determina finalmente el flujo neto de fondos. Toda esta información esta presentada en el Cuadro 7.4, en él se puede apreciar además que a fines del año 1984- se hace necesario realizar otra inversión **adicional** por un monto de 25,000 dólares.

Con los datos de flujo neto de fondos por año **indicado** en el Cuadro 7.4., puede determinarse la tasa interna de retorno para el proyecto o también el - valor actual neto de los beneficios; para este último, debe elegirse la tasa de corte adecuada.

Para el presente estudio se han determinado ambas- cantidades y se encontró que:

Tasa Interna de Retorno **TIR** = 0.745

Valor Actual Neto **VAN*** = 179,000 US\$.

La tasa de corte usada para este cálculo se fijó en $i = 25\%$.

El criterio que se toma para fijar este valor es estar trabajando con los flujos netos de fondos- evaluados en dólares y debe confrontarse la bon- dad del proyecto frente a la alternativa de que- el dinero en dólares gane los intereses que sue- len pagar los bancos. La tasa de interés para a- horros en dólares no pasa el 15%; de modo que pa- ra este estudio se elige una tasa algo mayor.

8.- APENDICES.

APENDICE 1.-

TAMAÑO DE LAS CELDAS ELECTROLITICAS

A.1.1.- Determinación del área catódica.

Se define eficiencia de corriente como:

$$\eta = \frac{\text{corriente usada en la producción de polvos}}{\text{corriente total suministrada.}} \quad (1)$$

La corriente total suministrada puede calcularse a partir de: $i_c \times A_{cat} \times t$, donde

i_c = la densidad de corriente en amp/dm².

A_{cat} = el área catódica en dm²

t = tiempo de circulación de la corriente.hr.

Además se sabe que cuando 1 eq-gr de Cu^{+I-} se deposita en el cátodo, una carga eléctrica equivalente a un Faraday (1F = 26.8 amp-hr) debe haberse consumido.

Para la producción de w gr. de Cu durante un tiempo t, la carga eléctrica consumida será:

$$\frac{w \times 2 \times F}{M}$$

puesto que cada mol.gr. de cobre tiene 2eq-gr de Cu⁺⁺ y siendo M el peso molecular del cobre.

La expresión final para la eficiencia de corriente quedará entonces como:

$$\eta = \frac{2F}{M \cdot i_c} \frac{w}{A_c \cdot t} \quad (2)$$

Despejando A_{cat} se tiene:

$$A_{cat} = \frac{2F}{j \cdot n} \frac{w}{t}$$

Si las condiciones a las cuales se van a llevar a cabo la electrólisis están fijadas, la eficiencia de corriente tendrá un valor determinado y por lo tanto:

$$a_j = \frac{2F}{M \cdot j \cdot n}$$

finalmente:

$$A_{cat} = a_j \times P. \quad (3)$$

donde $P. = (w/t)$ es la producción de polvos de cobre en gr/hr.

De lo anterior se deduce que existe una relación directa entre el área catódica y P.

Sin embargo, para fines de determinación del área catódica real necesaria en una planta, donde aparte de la electrólisis se realizan operaciones adicionales para obtener determinada calidad de polvos, es necesario que a la ecuación (3), se le haga una **corrección** de modo que tenga en cuenta las diferentes **pérdidas** de material a través de todo el proceso de **producción**.

Una expresión final que **permita calcular** el área catódica requerida para una determinada producción será:

$$A_{cat} = \frac{a_j}{a} \times P_i \quad (4)$$

donde a es el factor de corrección.

Experimentalmente se ha hallado que:

$$i_c = 8 \text{ amp/dm}^2$$

$$\eta = 0.88$$

además,

$$F = 26.8 \text{ amp-hr.}$$

$$M = 63.4$$

entonces

$$a_c = \frac{2 \times 26.8}{63.4 \times 8 \times 0.88} = 0.119$$

Un valor para el factor de corrección a puede ser de terminado a partir referencias bibliográficas. Se ha encontrado que un buen valor para a es 0.85.'

Para una producción de 280 Kg/día y considerando que se va a trabajar un turno de 8 horas, puede calcularse el área catódica total a partir de la ecuación (4) y con los valores hallados para a_c y a .

$$A_{cat} = \frac{0.119 \times 280 \times 10^3}{0.85 \times 8}$$

$$A_{cat} = 4,900 \text{ dm}^2.$$

A.1.2.- DETERMINACION DEL TAMAÑO DE CELDAS.-

Una vez fijada el área catódica, el siguiente paso es determinar las dimensiones de los cátodos y las celdas.

Se considera que el área total requerida va a ser distribuida en 54 cátodos utilizando 3 celdas.

Se asume que la relación alto a ancho de cátodo es 1.45, que el espesor de cada cátodo es 1 cm.

Por lo tanto:

$$\text{Superficie activa por cát.} = \frac{4,900}{54} = 90.74 \text{ dm}^2$$

se sabe que la superficie activa es igual a la suma de todas las áreas expuestas al medio electrolítico así:

$$90.74 = 0.1 \times A + 2 \times 0.1 \times H + 2 \times A \times H.$$

y $H/A = 1.45$, donde H es la altura de cada cátodo en dm.

A es el ancho de cada cátodo en dm.

Resolviendo:

$$H = 80 \text{ cm.}$$

$$A = 55.5 \text{ cm.}$$

$$e = 1 \text{ cm.}$$

(5)

Para hallar las dimensiones de las celdas electrolíticas se considera:

$$\text{Altura celda/altura cát} = 1.4$$

$$\text{Ancho celda/ancho cát} = 1.66$$

$$\text{espaciamiento entre ánodos y cát} = 9 \text{ cm.}$$

Aplicando los resultados obtenidos en (5) y conociéndose que en cada celda se tienen 18 cátodos y 19 ánodos, se halla que:

H ' = altura celda = 115 cm
A ' = ancho celda = 99 cm
L ' = largo celda = 350 cm.

Nota.- Las diferentes proporciones asumidas que relacionan las dimensiones para los cátodos y celdas se han basado en datos para instalaciones similares.

APENDICE 2.

EQUIPO ELECTRICO.

A.1.- RECTIFICADORES.

Para la electrólisis se requiere una fuente de corriente continua de bajo voltaje; que en la generalidad de los casos es un juego transformador/rectificador (llamado simplemente rectificador).

El transformador reduce el voltaje principal o de entrada a aproximadamente el voltaje de salida requerido y también aísla eléctricamente la salida de corriente continua del suministro principal; mientras que los elementos del rectificador (que presentan una alta resistencia al paso de corriente en un sentido y una resistencia despreciable en el otro), convierte esta corriente alterna de bajo voltaje en una corriente continua de bajo voltaje.

Los rectificadores tienen varios voltajes de salida. Las normas aceptadas son de 7.5 u 8 v. para la mayoría de procesos de electrodeposición y de limpieza y de 20 a 24 voltios para la producción de polvos metálicos.

En general se prefieren rectificadores trifásicos ya que son más económicos, sin embargo, para salidas de hasta 150 amperios, rectificadores monofásicos son los más adecuados.

Los rectificadores no requieren cimientos especiales y con la excepción del engranaje de control, no tiene partes móviles.

Los rectificadores pueden ser de selenio, germanio o silicio. Este último ocupa menos espacio y pesa menos que los otros. En el siguiente cuadro se compara el comportamiento de un rectificador de silicio con uno, de selenio para una intensidad nominal de 1000 amperios.

Temperatura	Tiempo de Operación	Rectificador de:	
		Silicio	Selenio

Hasta 30°C	24 h. continuas	1000A.	750 A
	16 h. ON/8h OFF		1000 A.
Hasta 45°C	24 h. continuas	800A	600 A.
	16 h. ON/8h OFF		800 A.

Del cuadro anterior se observa que los rectificadores de silicio son más eficientes, sin embargo, es necesario tener en cuenta que se debe evitar cualquier sobrecarga en estos rectificadores y que el incremento de temperatura que ello origina puede producir serias dificultades debido a que por su pequeño tamaño no puede disipar fácilmente el calor producido.

El voltaje de salida de un transformador/rectificador es controlado mediante ajustes en el voltaje de

entrada al transformador, utilizando para ello un autotransformador que puede ser de regulación continua o por pasos. El autotransformador permite disminuir el voltaje de salida; pero al mismo tiempo ocasiona una caída de aproximadamente un 20% en la carga total.

En la figura A.1.1., se muestra una conexión típica de una unidad transformador/rectificador de silicio provista de un regulador tipo step.

En los sistemas rectificadores no es posible obtener una corriente totalmente continua; es decir de intensidad y voltaje constantes; sino que se presenta siempre una fluctuación en ambas características debido a la naturaleza sinusoidal de la corriente alterna primaria.

Dependiendo del montaje del equipo es posible obtener fluctuaciones del orden del 5% con respecto al valor rms, que en la práctica tiene un comportamiento que no distingue de una corriente continua-pura.

En la figura A.1.2., se muestran las formas de las ondas obrenidas para diferentes conexiones, tanto en corriente monofásica como en trifásica.

Los rectificadores no son el único medio para convertir corriente alterna en corriente continua; puede emplearse también por ejemplo un sistema motor-generador, sin embargo la eficiencia de conversión

de corriente es bastante más baja en éste último -
tal como se puede apreciar en la figura A.1.3.

BARRAS CONDUCTORAS (BUSBARS)

Para minimizar las pérdidas eléctricas entre el **rectificador** y las celdas **electrolíticas** es necesario hacer **un** buen diseño de barras conductoras.

En la actualidad se emplean varillas de cobre de alta - conductividad o cables flexibles para corrientes **meno -** res a 150 amperios y barras de cobre o aluminio para **co -** rrientes mayores.

En las siguientes tablas se presentan la capacidad **de** corriente normal **para** diferentes secciones transversa - les standard de barras de cobre y de aluminio, así como el número de barras recomendadas.

COBRE		ALUMINIO		CAPACIDAD APROX. EN AMPERIOS.
mm.	pulg.	mm.	pulg.	
22 x 6	1 x 1/4	32 x 6	1 ₄ x 1/4	420
38 x 6	1 ¹ / ₂ x 1/4	38 x 8	1 ¹ / ₂ x 5/16	690
51 x 6	2 x 1/4	51 x 8	2 x 5/16	775
76 x 6	3 x 1/4	76 x 8	3 x 5/16	1125
102 x 6	4 x 1/4	102 x 8	4 x 5/16	1500

NUMERO Y SECCION TRANSVERSAL DE BARRAS

RECOMENDADAS

AMPERIOS	COBRE Sección Transversal de la Barra	NUMERO DE BARRAS EN PARALELO
1500	3 x 1/4in (76 x 6mm)	2
2500	4 x 1/4in (102 x 6mm)	2
3000	4 x 1/4in (102 x 6mm)	3
4000	4 x 1/4in (102 x 6mm)	5
5400	4 x 1/4in (102 x 6mm)	6
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	2
6900	4 x 1/4in (102 x 6mm)	8
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	3
8000	4 x 1/4in (102 x 6mm)	9
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	4
	ALUMINIO	
1500	3 x 5/16in (76 x 8mm)	2
2500	4 x 5/16in (102 x 8mm)	2
3000	4 x 5/16in (102 x 8mm)	3
4000	4 x 5/16in (102 x 8mm)	5
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	2
5400	4 x 5/16in (102 x 8mm)	6
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	3
6900	4 x 5/16in (152 x 8mm)	8
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	4
8000	4 x 1/4in (102 x 8mm)	9
	6 x 3/8in (152 x 10mm)	5

NOTA :

- 1.- Estos valores son válidos para el rango de temperatura desde 35-77°C.
- 2.- Es recomendable que el pintado de barras se haga con pintura mate no metálica de modo que se mejore la disipación de calor y con ello reducir el aumento de temperatura en las superficies de las barras.
- 3.- Un tamaño mayor que el indicado en la tablas anteriores debe emplearse cuando:
 - Se necesite minimizar la caída de voltaje en la línea.
 - Se necesite que las barras operen con un aumento de temperatura menor a 42°C.

APENDICE 3.

SUMINISTRO DE ENERGIA PARA LA ELECTROLISIS: CALCULO DEL VOLTAJE Y EL AMPERAJE DEL RECTIFICADOR-DE CORRIENTE.

En la figura se muestra la disposición de las **cel - das electrolíticas** respecto a la fuente de energía, donde se observa que están en paralelo.

Para el cálculo del amperaje total de la fuente de energía son necesarios los siguientes datos:

Area catódica por cátodo: 90.74 dm²

Densidad de corriente catódica: 8 amperios/dm²

Número de pares ánodo-cátodo por **cel:18**

da.

Los pares ánodo-cátodo están colocados en serie de modo que la corriente total que debe circular por cada celda es:

celda: $90.74 \times 8 = 730$ amperios.

Como las tres celdas son iguales y están colocadas en paralelo, el suministro de corriente total es:

Total : celda $\times 3 = 2180$ amperios.

De otro lado, se ha hallado experimentalmente **que** - la caída de tensión en un par ánodo-cátodo es de **un volíto**; entonces la caída de tensión total en cada-celda es de:

V : $18 \times 1 = 18$ voltios.

La caída de potencial total en el **rectificador es - igual a la calda de tensión en las celdas más las -**

que se tienen en las barras conductoras. Para **minimizar** las pérdidas eléctricas entre el rectificador y las celdas es muy importante considerar el tamaño, diseño y material de las barras conductoras.

En (10)"**The Canning Handbook of Electroplating**" se indica que para corrientes mayores a 2000 amperios- debe usarse más de una barra conductora (para **evitar** problemas de **sobrecalentamiento**). Para el caso que se tiene, se utilizará una barra conductora por cada celda.

La misma obra indica que pueden emplearse barras de cobre de 2 x $\frac{1}{4}$ pulgadas o barras de aluminio de 2 x $\frac{5}{16}$ pulgadas. Se ha optado por el uso de barras conductoras de aluminio aún cuando tienen menor **conductividad** que las de cobre, ya que tienen la ventaja de ser más ligeras y presentan menos tendencia a la corrosión.

Se estima que la longitud de las barras conductoras será de 12 metros.

Con esta información y conociéndose la resistencia-eléctrica del aluminio, se determina la caída de tensión en las barras.

$$R = \frac{L \times P}{A}$$

donde : L : 12 metros.

A : $\frac{5}{8}$ pulgadas

P : 2.5×10^{-8} ohmetro

luego: $R = 8 \times 10^4$ ohms.

además, $V = I \times R$

$V = 0.58$ voltios

Se tiene entonces que la caída de tensión total por cada celda es de:

$V_{total} = 18.58$ voltios.

Se ha decidido que el suministro de corriente a las celdas sea de forma que éstas estén dispuestas en paralelo, de modo que se debe emplear una **barra conductora** por cada celda. Por lo tanto, la caída de tensión que debe proporcionar el rectificador es de 18.58 voltios.

En conclusión, el rectificador debe proporcionar **corriente** continua con las siguientes características:

$V = 20$ voltios c.c.

$I = 2200$ amperios c.c.

Carga Total: 44000 watts.

Se ha mencionado **así** mismo en el apéndice 2, que **el** rendimiento de un rectificador está alrededor del 80%, para un rectificador que trabaje con corriente **trifásica**. Las características de **la corriente** necesarias en el proceso de obtención de polvos de **co**bre por la vía **electrolítica**, hacen que se **recomien**de el uso de la corriente **trifásica**, tanto por el **elevado** amperaje requerido como por la forma de la-

onda de salida que proporciona cuando se le usa como fuente primaria de un rectificador.

En las zonas industriales se puede disponer de corriente trifásica de 220 voltios. Con esta información se calcula el amperaje total de corriente alterna necesario como fuente primaria de energía.

$$I_{\text{total}}^{\text{c.a.}} = \frac{\text{Carga total (vatios)}}{220 \text{ voltios} \times \text{Rendimiento}}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{44000}{220 \times 0.85}$$

$$I_{\text{total}}^{\text{c.a.}} = 235.5 \text{ amperios c.a.}$$

Puede calcularse igualmente la corriente por línea de la fuente trifásica:

$$I_{\text{línea}}^{\text{c.a.}} = \frac{I_{\text{total}}^{\text{c.a.}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{línea}}^{\text{c.a.}} = 136 \text{ amperios c.a.}$$

En resumen se tiene que,

Características del Rectificador.

- Características de salida:

Amperaje total , 2200 amperios c.c.

Voltaje total , 20 voltios c.c.

- Características de la alimentación:

Corriente trifásica de 220 voltios c.a.

Corriente por línea, 136 amperios c.a.

- Carga total : 44 kilovatios.

9.- BIBLIOGRAFIA

9.- BIBLIOGRAFIA,

ESTUDIO DE MERCADO

- 1.- Catálogos diversos
- 2.- INDUPERU. Estudio de Mercado; proyecto de planta de polvos metalúrgicos de cobre y aleaciones. Lima, 1977.

ESTUDIO TECNICO

- 3.- Kumar, Dharmendra & A.K.Gawr. Electrochemical studies on production of electrolytic copper powders. J.Electrochem. Soc. India, 22(3), 1976.
- 4.- Wills, Franks Production of Electrolytic Copper - Powder. J.Electrochem. Soc., 1959.
- 5.- Pomosov, A.V. Effect of certain electrolysis factors on the current efficiency and dispersity of copper powder. Poroshkovaya Metallurgiya, 2(2) , 1962.
- 6.- Rahman, A. C M.H. Khundkar. Electrolytic production of copper powder. Pakistan J. of Scientific Research, 4(2), 1952.

INGENIERIA DE PROYECTO

- 7.- Eyzaguirre, Ramón, La pulvometalurgia, Cuprum 1964.
- 8.- Mantell, C.L. Ingeniería Electroquímica. Barcelona, Reverté, 1962.

DETERMINACION DE LA INVERSION.

- 9.- Rudd, Dale F. f Charles C. Watson. Estrategia en Ingeniería de procesos. Madrid, Alhambra, 1976.

APENDICES

- W. Canning Ltd. The canning handbook of electroplating. Birmingham, 1978.
- 11.- ASTM. Standard test for flow rate of metal powders. ASTM B213-73.