

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Estudio de factibilidad para producir Zinc metálico
en Guatemala.

Trabajo de investigación presentado por
Mayra Ivonne Méndez Arriaza
para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

1997

Estudio de factibilidad para producir Zinc metálico
en Guatemala.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



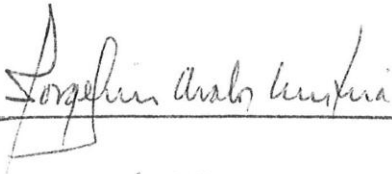
Estudio de factibilidad para producir Zinc metálico
en Guatemala.

Mayra Ivonne Méndez Arriaza

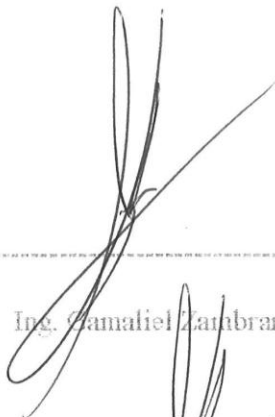
Guatemala

1997

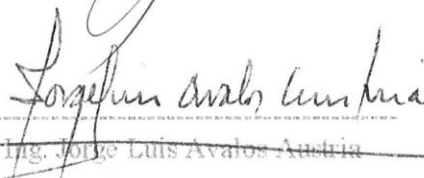
Vo Bo.

(1) 
Asegor
Ing. Jorge Luis Avalos Austria

Tribunal:

(1) 
Ing. Samatiel Zambrano

(1) 
 Ing. Eduardo Calderón

(1) 
Ing. Jorge Luis Avalos Austria

Fecha de aprobación: Guatemala, 28 de octubre de 1997

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
A. CARACTERÍSTICAS DEL ZINC METÁLICO	2
1. Propiedades físicas	3
2. Minerales del Zinc.....	4
3. Utilización del Zinc	6
B. LA MINERÍA EN GUATEMALA	8
1. La minería en la economía	8
2. Principales exportaciones	8
3. Ambiente geológico	9
4. Minerales metálicos.....	10
5. Complejo metamórfico	11
6. Provincia volcánica	11
7. Garantías sobre la inversión	12
C. PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE ZINC METÁLICO.....	13
1. Pirometalurgia del Zinc	13

2. Hidrometalurgia del Zinc	30
III. JUSTIFICACIÓN	46
IV. OBJETIVOS.....	47
A.OBJETIVO GENERAL:	47
B.OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	47
V. PROBLEMA A RESOLVER	48
VI. METODOLOGÍA	49
VII. RESULTADOS	50
A. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	50
1. Programa de producción	50
2. Presentación del producto.....	50
B. ESTUDIO DE MERCADO.....	51
1. Importaciones de Zinc	52
2. Exportaciones de Zinc	56
3. Materia prima y materiales	63
4. Energía eléctrica	63
5. Agua	63
6. Diseño de la planta y su distribución en el terreno	64
7. Personal de producción	68
c. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE ZINC	69
D. INGRESOS PROYECTADOS.....	73
E. UTILIDADES PROYECTADAS	73
F. RENTABILIDAD DEL PROYECTO	74
VALOR ACTUAL NETO	74

TASA INTERNA DE RETORNO	75
G. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL.....	77
H. PUNTO DE EQUILIBRIO	77
VIII. DISCUSION DE RESULTADOS.....	79
IX. CONCLUSIONES	81
X. RECOMENDACIONES.....	82
XI. BIBLIOGRAFÍA	83
XII. ANEXOS.....	84
Anexo 1	85
Anexo 2	89
Anexo 3	93

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 2.1	3
Tabla 2.2	4
Tabla 2.3	5
Tabla 2.4	28
Tabla 7. 1	52
Tabla 7. 2	53
Tabla 7. 3	55
Tabla 7. 4	57
Tabla 7. 5	58
Tabla 7. 6	59
Tabla 7. 7	60
Tabla 7. 8	62
Tabla 7. 9	68
Tabla 7. 10	70
Tabla 7. 11	71
Tabla 7. 12	71
Tabla 7. 13	71
Tabla 7. 14	72
Tabla 7. 15	73
Tabla 7. 16	73
Tabla 7. 17	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 2. 1.....	7
Figura 2. 2.....	10
Figura 2. 3.....	14
Figura 2. 4.....	19
Figura 2. 5.....	24
Figura 2. 6.....	25
Figura 2. 7.....	34
Diagrama 1.....	61

RESUMEN

En Guatemala se está empezando a fomentar la explotación y exploración de minerales por medio de leyes que favorecen la minería. Entre los minerales a explotarse se encuentra la smithsonita, que contiene un alto porcentaje de zinc en forma de carbonato, del cual se puede obtener zinc puro por medio de un proceso hidrometalúrgico. El consumo de zinc ha aumentado en los últimos años en el área centroamericana, por lo que la planta para la producción de este metal, objeto de la presente evaluación, se diseñó para una capacidad de 280 Tm de zinc mensuales. La planta estará ubicada en Escuintla, lugar donde la empresa Sales, Ácidos y Solventes S.A. posee la infraestructura y el terreno para este proyecto y adicionalmente brindó su experiencia para la realización de este estudio.

Según los requerimientos del proceso y la capacidad a instalarse para cubrir la producción deseada, se seleccionó el equipo necesario y la distribución de éste en la planta.

El costo inicial de la planta es de 4,360,981.50 Quetzales.

Para el presente proyecto se determinó un ingreso anual por concepto de ventas de Q. 25,032,000.00 lo cual generará una utilidad de Q. 5,241,633.03 al año. El retorno de la inversión se estimó en un periodo de 1.81 años, después de iniciadas las operaciones.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con una gran riqueza en recursos mineros, entre los cuales se encuentra el mineral de zinc. Dicho mineral no ha sido explotado ni explorado en su totalidad debido a la poca demanda de éste en el mercado local. Usualmente los minerales de zinc contienen pequeñas cantidades de otros metales, por lo que el proceso de obtención de zinc metálico se vuelve más complicado.

Actualmente se consumen en nuestro país cantidades considerables de zinc metálico, las cuales son importadas de otros países, ya que no se ha implementado un proceso de obtención de este metal a partir del mineral de zinc extraído de minas nacionales.

Al conocer la constante demanda de zinc así como las fuentes de materia prima, surge la idea de desarrollar un proceso favorable para elaborar zinc de alta pureza.

En este trabajo de investigación se realizó un estudio de mercado por medio del cual se estableció el tamaño de la planta de procesamiento de zinc, así mismo se hizo un estudio técnico para determinar las variables involucradas en el proceso productivo y una evaluación financiera para determinar la rentabilidad del proyecto a un mediano plazo. Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron como producto del trabajo realizado.

II.ANTECEDENTES

A. Características del Zinc Metálico

El Zinc es un metal relativamente activo y sus compuestos son estables, ya que éste no se encuentra en forma pura en la naturaleza, se descubrió mucho después que otros metales menos reactivos como cobre, oro, plata, hierro y plomo. En tiempos antiguos, la fundición de minerales de cobre conteniendo zinc llevó a la obtención de latón, el cual se conoce mucho antes del tiempo de los romanos (200 A.C.). Luego, el latón se fabricó por medio del calentamiento de cobre con óxido de zinc o carbonato y carbón. La pieza más antigua de zinc es un ídolo encontrado en un sitio prehistórico en Transylvania, el cual contenía 87.52% de zinc, 11.41% plomo y 1.07 % de hierro. Se cree que la fundición del zinc se originó en China, en donde en el siglo séptimo D.C. ya se conocían las técnicas para malearlo. Para el siglo XVII, se importaba a Europa desde Asia y en 1743 se construyó un fundidor de zinc para producir óxido de zinc en Bristol, Inglaterra. A principios del siglo XIX, su fundición se estableció en Alemania y Bélgica. El zinc se produjo por primera vez en Estados Unidos en el arsenal en Washington D.C. en 1835 y para 1860 la compañía “The New Jersey Zinc Company” ya había establecido operaciones de fundición en Bethlehem, Pennsylvania.

En 1758 en Inglaterra, a John Champion se le otorgó la patente para fabricar zinc a partir de sulfuro de zinc, el principal mineral de este metal. Esta ruta es aún el método principal para su fabricación en la actualidad.

1. Propiedades físicas. Zinc, es un metal azul-blanco, lustroso, que puede moldearse a cualquier forma por medio de técnicas de enrollado, estirado, etc. La estructura hexagonal del cristal domina el comportamiento del zinc durante la fabricación.

La historia mecánica, calor e impurezas afectan grandemente las propiedades mecánicas. El zinc puro es dúctil a temperatura ambiente y no tiene un punto de sometimiento como la mayoría de metales estructurales. Las impurezas del zinc comercial y sus aleaciones son controladas cuidadosamente para obtener las propiedades mecánicas deseadas.

Tabla 2.1
Propiedades físicas del Zinc

Propiedad	Valor
Radio iónico, Zn ²⁺ , nm	0.074
Radio covalente, nm	0.131
Radio metálico, nm	0.138
Potencial de ionización, eV	
Primero	9.39
Segundo	17.87
Tercero	40.0
Densidad sólida, g/cm ³	
25°C	7.133
419.5°C	6.830
Densidad líquida, g/ml	
419.5°C	6.620
800°C	6.250
Punto de fusión, °C	419.5
Punto de ebullición, °C	907
Calor de fusión a 419 °C, kJ/mol	7.387
Calor de vaporización a 907°C, kJ/mol	114.8
Coefficiente de expansión térmica, mm/mk	
Volumen	8.9
Lineal, policristalino	39.7
Conductividad térmica W/(mK)	
Sólido	
18°C	113.0
419.5 °C	96.0
Líquido	
419.5°C	60.7
750 °C	56.5
Resistencia eléctrica nΩ/m	
Policristalino	R=54.6 (1+0.0042t) ^a
Líquido a 423°C	_{369.55}
Capacidad calorífica, J/(molK)	
Sólido	22.39+10 ⁻² t ^b
Líquido	31.39
Gas	20.80

(a) t= 0-100°C

(b) T= 298-692.7K

(3)

2. Minerales de Zinc. Zinc, como todos los metales, se encuentra en todas las aguas naturales, abonos así como en la atmósfera, además es un importante elemento de traza en plantas y animales. Rocas de varios tipos contienen de 20-200 ppm de zinc y abonos normales de 10-30 ppm en áreas no contaminadas. El contenido promedio de zinc en el carbón es de 33 ppm. El agua de mar contiene 1-27 µg/L y agua fresca no contaminada contiene usualmente menos de 20 µg/L.

Los minerales de zinc son ampliamente distribuidos en todo el mundo; 55 minerales de zinc se conocen actualmente. El único mineral importante de sulfuro de zinc es la blenda o sphalerita (ZnS). Este mineral es la principal fuente de zinc en el mundo. Una modificación de este mineral es la denominada marmita, que contiene cantidades variables de FeO y ZnO.

A continuación se listan aquellos minerales de zinc con mayor importancia comercial:

Tabla 2.2

Minerales comunes de Zinc

Nombre	Composición	% Zinc
Sphalerita	ZnS	67.0
Hemimorphita	Zn ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ H ₂ O	54.2
Smithsonita	ZnCO ₃	52.0
Hydrozincita	Zn ₅ (OH) ₆ (CO ₃) ₂	56.0
Zincita	ZnO	80.3
Willemita	Zn ₂ SiO ₄	58.5
Franklinita	(Zn,Fe,Mn)(Fe,Mn) ₂ O ₄	15-20

(1)

De los anteriores la sphalerita provee un 90% del zinc producido actualmente. Los minerales que contienen oxígeno se encuentran frecuentemente en depósitos ricos con un contenido de 35% de zinc, comúnmente smithsonita y hemimorphita. Estas son fuentes pequeñas

de zinc en la actualidad. A pesar de esto, en un principio la industria estadounidense de zinc se basó en los depósitos de franklinita, sincita y willemita en Sussex, New Jersey.

En los Estados Unidos, el distrito más rico en zinc es el Valle de Mississippi; a pesar de ello Canadá posee la reserva mundial más grande y los Estados Unidos la segunda.

Tabla 2.3

Reservas mundiales de Zinc, 10⁶ Toneladas Métricas

País	Reservas	Total (a)
Canadá	28	56
Estados Unidos	22	45
Australia	19	40
URSS	11	22
República de Sudáfrica	4	17
Perú	7	11
Brasil	5	11
España	5	10
Irlanda	8	9
Japón	5	7
Irán	4	6
República Popular de China	1	5
India	3	4
México	3	4
Yugoslavia	2	4
Zaire	1	2
Total	128	253

(a) Incluye reservas inferidas y algunas fuentes subeconómicas.

(3)

Los minerales de zinc tienden a ser asociados con aquellos de otros metales; los más comunes son zinc-plomo o plomo-zinc, dependiendo del material dominante, zinc-cobre o cobre-zinc, y metal base como plata. Es posible encontrar zinc solo, mayormente en el nordeste de los Estados Unidos, y aquí, como en todos lados, se presentan cantidades recuperables de cadmio (mayor de 0.5%). Otros metales que se recuperan en menor cantidad son el indio, germanio y el talio. (4)

3. Utilización del Zinc. El zinc, aleado con cobre, forma las aleaciones denominadas latones que tiene una gran importancia industrial. Aleado con aluminio, el zinc forma aleaciones con alta fluidez y un punto de fusión relativamente bajo, utilizadas ampliamente para fundición. El zinc laminado, se utiliza como material para cubiertas y tejados. Debido a su alta resistencia a la corrosión atmosférica, los recubrimientos de zinc se usan para proteger el hierro y el acero. Los principales sectores de consumo del zinc son:

- Protección contra la corrosión (recubrimiento de acero)
- Fabricación de latones y bronces (aleaciones cobre/zinc)
- Aleaciones para fundición a presión (aleaciones Zn/Al/Cu/Mg)
- Zinc laminado (aleaciones zinc/cobre/titanio)
- Pilas eléctricas (polvo de zinc)
- Productos químicos (óxido, sulfato, cloruro, ...)

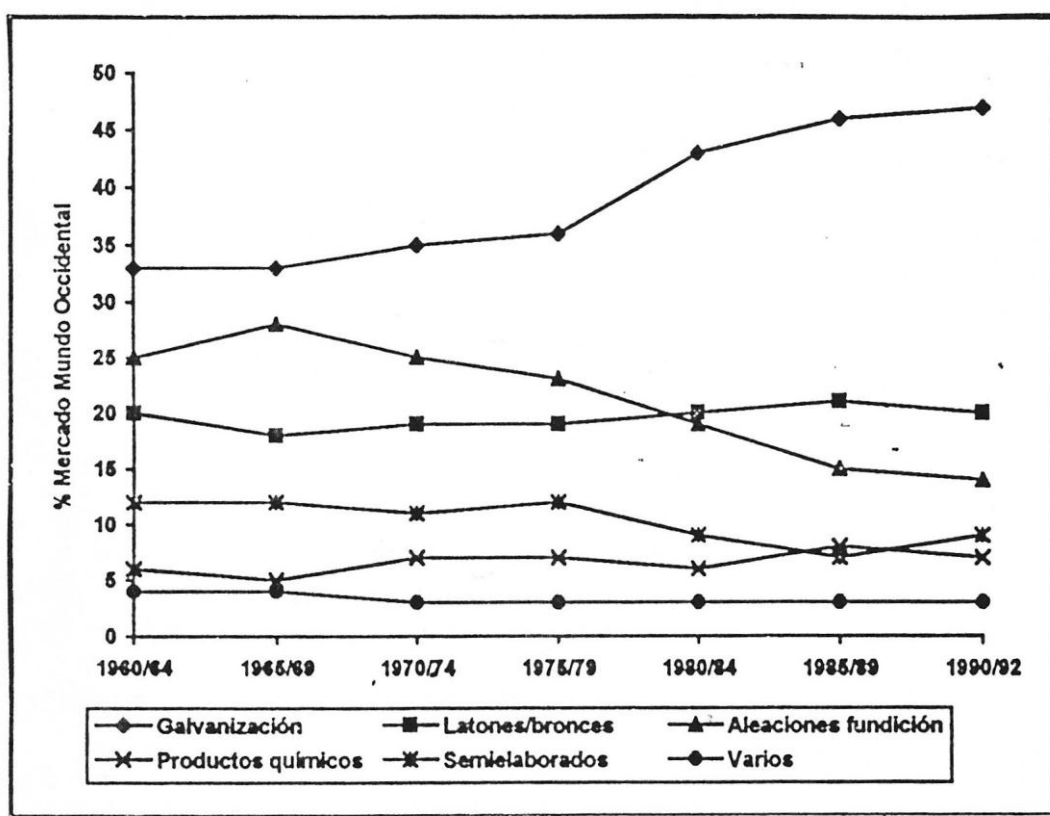
La mayoría de los sectores de consumo conservan su cuota de mercado, con la excepción de la galvanización que ha experimentado un crecimiento espectacular, y de las aleaciones para fundición que retrocede marcadamente. Ambos fenómenos pueden encontrar, al menos de forma parcial, una explicación ya que la galvanización se ha introducido intensamente en el mercado de los vehículos a motor, mientras que las aleaciones en este mercado han sido substituidas parcialmente por componentes de menor peso.

Debido al aumento constante de la demanda de zinc en el mundo, se ha llegado a explotar yacimientos con gran variedad de impurezas, muchas veces en grandes cantidades, mientras que los consumidores se vuelven más exigentes en cuestión de pureza del metal. En el caso del zinc, la industria de galvanizado, debido al continuo desarrollo de las técnicas de

galvanizado continuo, ahora demanda materia prima con 0.1% de plomo, mientras que hace unos años se exigía únicamente 0.2 a 0.4% de plomo. En otra sección importante del mercado del zinc las especificaciones en relación al plomo se han reducido de 6 ppm a 3 ppm, el estaño de 3ppm a 1 ppm y el hierro de 5 ppm a 3 ppm en los Estados Unidos y Gran Bretaña (1).

Figura 2. 1

Estructura del consumo de zinc en el mundo occidental



B.La Minería en Guatemala

1. La minería en la economía. La economía guatemalteca en los últimos años ha evolucionado positivamente, elemento que es un claro indicador de la estabilidad que presenta el país para los inversionistas.

Para 1995 la economía creció en un 4.9%, teniendo un papel importante en este crecimiento el sector minero, el cual se constituye como el sector de mayor crecimiento de aquellos que conforman el PIB. Para 1995 su crecimiento en relación al año anterior fue de 11.9%, superando por varios puntos porcentuales a sectores tradicionales de la economía guatemalteca.

Los estudios realizados por la Dirección General de Minería indican que este sector ha mantenido un crecimiento sostenido en su contribución en la conformación del PIB, ya que para 1990 su equivalente al PIB fue de 0.21% y para 1995 fue de 0.4% creciendo aproximadamente en un 56% para el período 1990 a 1995.

En relación al empleo, el sector de minas y canteras genera el 0.3% del total; sin embargo, en 1995 este sector empleó a 31.2% más personas que el año anterior. Los datos preliminares de 1996 indican que existió un considerable aumento de las exportaciones mineras del país.

Lo expuesto anteriormente constituye un claro indicador para interpretar que en los próximos años este sector mantendrá su tendencia de crecimiento, sobre todo si se toma en cuenta que los acuerdos de paz crean condiciones favorables para las inversiones nacionales y extranjeras.

2. Principales exportaciones. Dentro de los principales productos que se exportaron al resto del mundo se deben mencionar: mármoles, fedespalto, caolín, bentonita, yeso y piedra pómez. Para el caso de los minerales metálicos el principal producto de exportación lo constituyó el antimonio.

Cabe mencionar que en la actualidad son explotados los siguientes minerales metálicos: oro, plata, galena, hematita, malaquita, antimonio, estibina y zinc.

3. Ambiente geológico. La geología de Guatemala es diversa como resultado principalmente de la interacción de las placas tectónicas de Cocos, Caribe y Norte América, las cuales concurren en este país. El ambiente es propicio para la formación de diferentes tipos de depósitos minerales, ya sea de carácter hidrotermal, segregación magmática, ígneo metamórficos, sedimentarios y otros. En forma general el país puede ser dividido en cuatro provincias fisiográficas importantes, las cuales definen las características geomorfológicas.

a. Planicie Costera del Pacífico. Consiste de depósitos aluviales provenientes de la Provincia Volcánica, básicamente formada por guijarros y conglomerados de andesita y basalto. Arena y grava es extraída para propósitos de construcción.

b. Provincia volcánica. El área sur está representada por una cadena de volcanes activos del Cuaternario y al norte por rocas ígneas del Terciario. En el área del Terciario afloran ignimbritas y riolitas como también tobas ácidas y varios intrusivos. La provincia volcánica, tiene un gran potencial para la búsqueda de depósitos de oro-plata en granitos y vetillas de cuarzo dentro de tobas. A este ambiente geológico se relacionan depósitos de tipo epitermal de metales preciosos y básicos, así como elementos litofílicos. Cabe mencionar que la mayor parte de esta provincia no ha sido explorada ni evaluada, pero es una de las zonas de mayor interés debido a su ambiente geológico favorable para mineralizaciones.

c. Complejo metamórfico. Ubicada al norte de la Provincia Volcánica, constituida por las rocas más antiguas en Guatemala, rocas metamórficas, rocas sedimentarias clásticas y marinas, del paleozoico superior y mesozoico.

d. Tierras Bajas del Petén. Compuesta por carbonatos del Cretácico superior al reciente, evaporitas, mármol, depósitos clásticos y aluviales, los que se vuelven más jóvenes y menos deformados hacia el norte.

Figura 2. 2

Provincias fisiográficas



4. Minerales metálicos. En Guatemala existe una cantidad considerable de afloramientos de minerales metálicos; sin embargo, de la mayoría de ellos no se conoce aún con certeza su valor económico y la factibilidad de explotación.

Entre los minerales metálicos, se pueden mencionar por su importancia económica los siguientes: oro, antimonio, níquel, hierro, zinc, plomo, plata, cromo, magnesio y manganeso, entre otros.

Algunos de estos depósitos han sido estudiados y cuentan con informes preliminares de geología, geofísica, geoquímica y perforaciones, principalmente los depósitos de: oro, plata, cobre, plomo y zinc.

La Provincia Costera del Pacífico se distingue por grandes volúmenes de arenas ricas en magnetita y titanio. Los depósitos minerales de mayor importancia se localizan en la Provincia Volcánica y en el Complejo Metamórfico, de la forma siguiente:

5. Complejo metamórfico. En esta provincia se distinguen claramente dos regiones, de acuerdo a su mineralización. Hacia el oeste ocurren una serie de yacimientos cercanos que manifiestan una secuencia constante en la depositación de minerales. Se destacan los depósitos de plomo-zinc con asociaciones de plata y cobre. El orden paragenético aparente en la mayoría de los depósitos es pirita-esfalerita-galena. Se han localizado importantes depósitos de antimonio asociado con tungsteno y arsenopirita aurífera, obteniéndose un concentrado de mineral del 60% de antimonio con un grado de hasta 8% de óxido de wolframio, así como concentrados de arsenopirita conteniendo 125gr/T de oro. Actualmente se exporta antimonio a países como USA, México, Australia, Inglaterra y otros países europeos, alcanzando el 23.5% del total de las exportaciones minerales de Guatemala.

Al este la mineralización la constituyen una serie de yacimientos de plomo-zinc-plata, níquel-cobalto y cobre. Los depósitos de plomo-zinc-plata se localizan principalmente en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, así como Huehuetenango. Revisten en importancia, también los depósitos de níquel-cobalto, en el departamento de Izabal.

6. Provincia volcánica. Los estudios sobre esta provincia se han concentrado hacia el este, destacando en importancia la mineralización económica de oro con pequeñas cantidades de plata

en venas de cuarzo y zonas silicificadas emplazadas en fracturas. La mineralogía más común en piritita y arsenopiritita con calcopiritita, covelita y oro nativo como minerales asociados, la cual está relacionada a procesos epitermales y actividad volcánica, asociados a intrusiones de cuerpos ígneos. Se localizan también depósitos de antimonio.

Depósitos importantes de cobre-plomo-zinc-plata, oro-plata y mineralización de plomo-zinc ocurren en forma de vetas emplazadas en fracturas dentro de rocas volcánicas del terciario, características típicas de depósitos epitermales rellenando fisuras originadas por esfuerzos tensionales. La mineralización consiste principalmente en sulfuros de zinc, plomo-plata y cobre con calcita y cuarzo como minerales de ganga. Otros yacimientos de importancia económica que se encuentran lo constituyen una serie de cuerpos de óxidos de hierro.

La porción central y occidental de esta región no ha sido estudiada, pero el potencial económico de la provincia se considera alto.

Áreas con mineralizaciones importantes de zinc, cobre, plomo, plata y oro, han sido definidas en tres regiones diferentes del país, las cuales han sido declaradas Áreas de Reserva Nacional, con el objeto de que empresas con capacidad técnica complementen los trabajos de evaluación inmediata del mineral.

7. Garantías sobre la inversión. *La Constitución de la República de Guatemala, La Ley de Minería*, las actuales políticas de gobierno y otras leyes del país, garantizan la inversión nacional y extranjera de la forma siguiente:

- Igual trato al inversionista nacional y extranjero, ambos están sujetos a los mismos requerimientos.

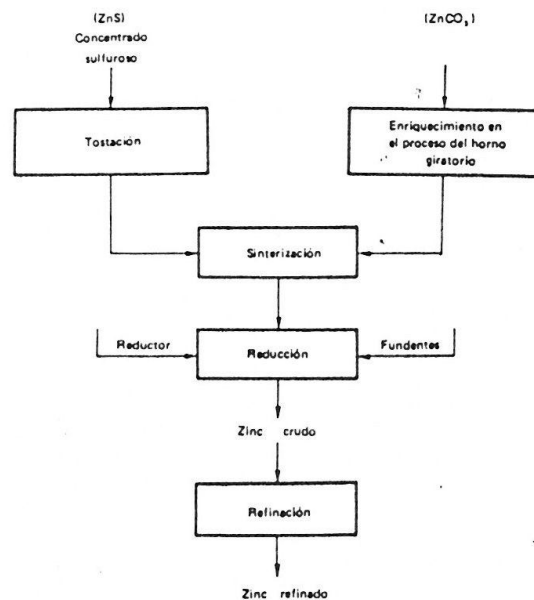
- No es necesario un socio local para realizar inversiones, permitiendo el 100% de capital propio para una empresa extranjera.
- No existen restricciones para la repatriación de beneficios o capitales, sobre inversionistas.
- Empresas extranjeras establecidas en Guatemala, pueden realizar compras en moneda extranjera sin restricciones y tener acceso a líneas de crédito local.
- *La Constitución de la República* reconoce el derecho a la propiedad privada.
- La concesión para realizar la exploración y explotación de minerales se realiza a través del Ministerio de Energía y Minas. *La ley de Minería* permite la participación de empresas nacionales y extranjeras.
- El titular de un derecho minero, puede importar libre de tasas y derechos arancelarios los insumos que sean utilizados en las operaciones mineras, tales como: maquinaria, equipo, repuestos, accesorios y materiales, así como los explosivos, siempre que no se produzcan en el país en las cantidades y calidades requeridas.
- Políticas de libre mercado que promueven y garantizan la inversión extranjera a través de incentivos fiscales, acuerdos internacionales y convenios bilaterales.

C. Procesos para la obtención de Zinc Metálico

1. Pirometalurgia del Zinc. La técnica de producción del zinc a partir de minerales sulfurosos fue dominada en Europa relativamente tarde, casi en el siglo XIX. El consumo mundial de zinc crece continuamente (últimamente alrededor del 10%) y la creciente demanda lleva implícita la necesidad de aumentar el rendimiento de las plantas existentes, así como también la construcción de otras. Esto último atañe también lógicamente a las funciones de zinc. En la metalurgia de este metal, además de él, se producen adicionalmente otros metales y productos como plomo, plata,

cadmio, bismuto, selenio, ácido sulfúrico y blanco de zinc. El esquema tecnológico pirometalúrgico de obtención del zinc se presenta en la figura siguiente:

Figura 2. 3



En los últimos años se puede observar un aumento en la producción de zinc electrolítico y a través de la reducción del óxido de zinc en hornos de cuba según el método más moderno I.S.P. (Imperial Smelting Process). Existen algunos métodos para obtener zinc metálico por reducción térmica de su óxido. El anteriormente nombrado método I.S.P. es sin duda uno de los más nuevos en lo que se refiere al procesado pirometalúrgico de los minerales oxidados de zinc.

En México existen muchos yacimientos de minerales de zinc, principalmente en forma de sulfuro, aunque también se encuentran algunos en forma de carbonatos. Estos yacimientos sirven de base a la industria del zinc en este país, la cual produce este metal partiendo de métodos

pirometalúrgicos en Saltillo y nueva Rosita, Coahuila e hidrometalúrgicos de Torreón, Coahuila y San Luis Potosí.

La producción del zinc refinado en México en 1980 fue de 145,363 toneladas.

a.Materias primas para producir zinc y su preparación. Los métodos pirometalúrgicos de producción de zinc se basan en los minerales sulfurosos y calaminas ($ZnCO_3$). Estos procesos son precedidos por operaciones preliminares; el mineral sulfuroso luego de ser enriquecido por medio de la flotación, se tuesta y sintetiza generalmente en una sola operación. Los minerales de smithsonita ($ZnCO_3$) se enriquecen por medio de un proceso pirometalúrgico llamado “proceso del horno giratorio”, ya que no flotan de manera satisfactoria.

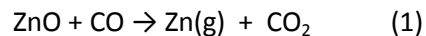
b.Proceso de horno giratorio. Los hornos giratorios utilizados en este proceso tienen una longitud de 60m y un diámetro de 2,5 a 3,5m. Se calientan con polvo de carbón por medio de quemadores especiales y sirven para enriquecer minerales oxidados pobres. La ventaja que tiene el horno giratorio es que también permite el procesado de desechos con contenido apreciable de zinc, como las escorias y cenizas que pueden contener sulfuros de este metal. En ese caso se liga al azufre mediante la adición de CaO. El principio del “proceso del horno giratorio” es el siguiente: inicialmente los carbonatos de zinc y otros metales se descomponen, después a continuación en la zona de altas temperaturas del horno, los óxidos ZnO, PbO y CdO se reducen. En seguida, los productos de la reducción, o sea el Zn, Cd y parcialmente el Pb, destilan, se oxidan nuevamente con formación de óxidos en la atmósfera del horno (CO_2) y finalmente, en forma de polvo, son arrastrados mecánicamente por los gases de combustión. Este polvo llamado óxido de zinc y plomo (40-60% Zn), ya que se compone casi en su totalidad de los óxidos de dichos metales. El

polvo antes de ser reducido se sinteriza en la máquina DL y sirve como materia prima del proceso pirometalúrgico de obtención del zinc que se realiza mediante la reducción por el carbono.

Aproximadamente la mitad de la producción mundial de zinc proviene de la reducción por el carbono de minerales tostados y sinterizados. La otra mitad se produce mediante la electrólisis de soluciones acuosas de sulfato de zinc.

c. Características del proceso de reducción del óxido de zinc por el carbono. El zinc es un metal de óxido difícilmente reducible. El proceso de reducción se complica por el hecho de que la temperatura de ebullición de zinc 1179 K (906°C) es menor que la temperatura de reducción. Entonces es necesario considerar la reducción del ZnO en un sistema ternario, debido a que los productos CO y Zn son gaseosos.

Antes de describir la tecnología se tratarán los principios que rigen la reducción del óxido de zinc según la reacción.



La constante de equilibrio de esta reacción está dada por la relación:

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2} P_{\text{Zn}}}{P_{\text{CO}}}$$

Para describir este sistema se cuenta además con la ecuación

$$P = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}} + P_{\text{Zn}} \quad (2)$$

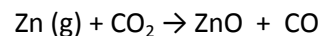
Ahora se analizará los grados de libertad de la reacción (1) por medio de la regla de fases de Gibbs:

$$F = C - P + 2 = 3 - 2 = 1 \quad P \text{ y } T = \text{cte.}$$

El sistema analizado posee tres componentes independientes y dos fases (sólida, ZnO y gaseosa), o sea que a P y T constante se cuenta con un grado de libertad, es decir que, en cierto intervalo de composición el equilibrio de los gases se puede cambiar independientemente.

Si se redujera al ZnO por el carbono en presencia de otro metal no volátil como el cobre, en el que se disuelve el zinc, se podría obtener una aleación de los dos metales a temperaturas de reducción más bajas. En este caso, en la ecuación de la constante de equilibrio se coloca la actividad del zinc por el hecho de que ya no interviene en la reacción en forma pura, sino disuelto en el cobre. Esta actividad es menor que la unidad y por eso a temperatura constante se observa un aumento en el relación $P_{\text{CO}_2} / P_{\text{CO}}$. Las curvas de las composiciones de equilibrio de la reacción de Boudouard y de la reacción de reducción del ZnO se cortan a la temperatura de 890°C y la actividad del zinc, $a_{\text{Zn}} = 0,1$. El punto en el que se cortan las curvas determina la temperatura teórica de reducción T. De esta manera se puede explicar la posibilidad de la obtención directa del latón a partir de minerales mixtos de cobre y zinc, la cual ya se conocía en la antigüedad mucho antes que los métodos de obtención de zinc metálico.

La reacción de reducción del óxido de zinc es endotérmica y, por tanto, más eficiente a altas temperaturas. Al disminuir la temperatura, puede tener lugar la reacción inversa de oxidación del metal, en el sitio en el que los vapores de zinc se condensan, de acuerdo a la ecuación:



A fin de evitar las pérdidas de metal como consecuencia de la reoxidación, es necesario enfriar rápidamente los gases que contienen vapor de zinc en presencia de CO_2 en los mismos, al mínimo posible. El planteamiento anterior es válido en sistemas abiertos con flujo de gases.

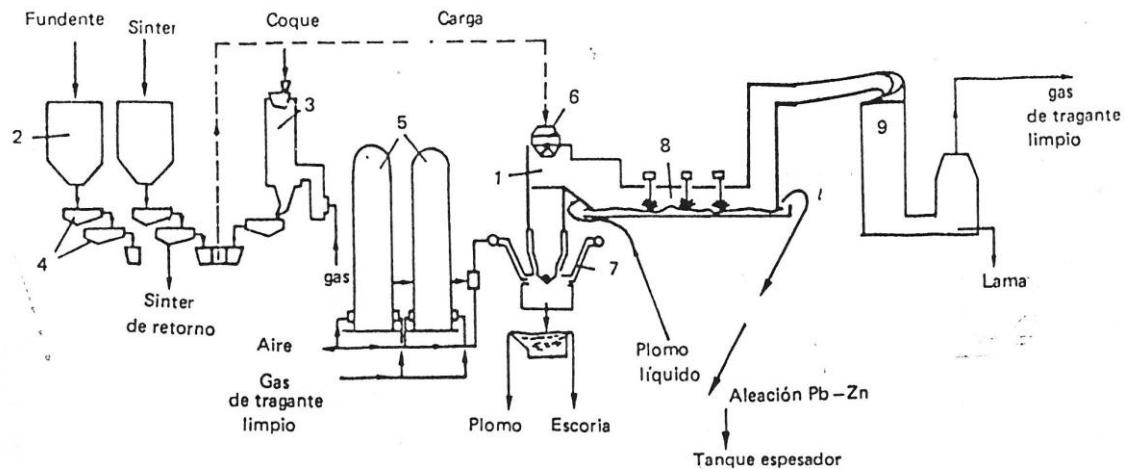
En el proceso I.S.P. este problema es de trascendental importancia y se ha resuelto a través del rápido enfriamiento de los gases en una niebla de plomo mecánicamente pulverizada, en que el zinc que se condensa queda disuelto, formando una aleación de Pb y Zn en estado líquido. Desde el punto de vista del equilibrio, la condensación del metal tiene lugar en el momento en el cual la presión de vapor saturado del zinc líquido se iguala a la presión parcial del zinc en los gases. Si la presión exterior $P = 1 \text{ atm.}$ y la concentración del zinc en la fase gaseosa $X_{\text{zn}} = 0.005$, esto alcanza a temperaturas inferiores a los 873 K (600°C). En la práctica, en el condensador existe una temperatura de aproximadamente 800K (500°C). El monóxido de carbono que sale del condensador junto a los gases se descompondría produciendo hollín y CO_2 . Gracias a la baja velocidad de esta reacción a bajas temperaturas, la cantidad de hollín que se produce al enfriar los gases es pequeña, aunque a veces es posible acelerar su cinética catalíticamente.

La reducción de un óxido como el de zinc requiere gran cantidad de energía térmica por ser éste difícilmente reducible. La reacción general $\text{ZnO} + \text{C} \rightarrow \text{Zn(g)} + \text{CO}$ tiene un calor $\Delta H^\circ = + 57 \text{ Kcal}$. A esto hay que agregar la capacidad térmica de los productos de reducción a la temperatura de aproximadamente 1300 K (1000°C), además el calor de evaporación del zinc, lo que de más o menos 33 kcal . La cantidad total de calor necesario para producir un mol de zinc es de casi 90 kcal , o sea 1350 kcal por kilogramo de zinc. Al mismo tiempo, es necesario evacuar del condensador grandes cantidades de calor ya que los vapores de zinc al condensarse emiten más o menos 400 kcal/kgZn .

d.Producción del zinc en hornos de cuba según el método Imperial Smelting Process. El método I.S.P. últimamente es el preferido entre las diversas técnicas pirometalúrgicas de producción de zinc. Es también muy interesante desde el punto de vista teórico. El esquema del horno de cuba utilizado en el proceso I.S.P. se representa a continuación:

Figura 2. 4

Esquema del proceso Imperial Smelting



Este proceso se desarrolló en Inglaterra después de la Segunda Guerra Mundial por la Imperial Smelting Corporation. El método I.S.P. presenta la ventaja de que permite la producción simultánea de zinc y plomo a partir de minerales polimetálicos o de mezclas de concentrados de los dos metales. De esta manera, en el proceso I.S.P. se puede producir plomo de manera mucho más económica que a través de cualquier tecnología de producción separada de este metal.

El horno de cuba tiene un diámetro de más o menos 3.6 m y de altura aproximadamente 9 m. En la zona de altas temperaturas, al nivel de las taberas, el revestimiento refractario ha sido sustituido por caja metálicas refrigeradas por agua. La capa de escoria solidificada que cubre a las cajas suple al revestimiento refractario. En las últimas versiones tecnológicas estas cajas se han eliminado.

La carga, la cual se compone de coque, sinter y fundente se introduce en el horno a través de una doble campana. El sinter se criba y las fracciones menores de 20 mm se llevan

nuevamente a la cinta D.L. para su sinterización. La eliminación de los granos menudos permite el aumento de la homogeneidad de la circulación de los gases del horno. A fin de evitar la reoxidación de los vapores de zinc en las superficies frías de la carga, esta última se calienta hasta 1100 K (800 °C) antes de cargar en el horno. Esto también previene el excesivo enfriamiento de los gases que van hacia el condensador, los cuales contienen vapores de zinc. La proporción entre el carbono y el zinc en la carga (C/Zn) es muy importante, ya que controla las pérdidas de zinc en las mismas. Usualmente la carga del horno contiene cerca 50% de Zn y cerca 20% Pb y 30% C.

Las toberas de soplado, en total 16, son refrigeradas por agua, y alimentadas con aire a la temperatura de 400 K (600°C). En la parte superior del horno de cuba se aplica un soplado adicional a fin de quemar una parte del CO y de esta manera elevar la temperatura de los gases por encima del punto de reoxidación del vapor de zinc. La temperatura del proceso es de más o menos 1600 K (1300 °C). El CO que se produce en el horno, reacciona con los óxidos de zinc y plomo, así como también con otras sustancias al pasar por entre la carga. Como resultado de la reacción $PbO + CO \rightarrow Pb(l) + CO_2$ se forma plomo líquido que fluye hasta la parte inferior del horno. En el plomo líquido se juntan metales como Ag, Cu, Au, Sb y Bi. La reacción de reducción del óxido de plomo, por ser un óxido fácilmente reducible, tiene lugar a bajas temperaturas, es decir en las partes superiores del horno.

La relación P_{CO_2}/P_{CO} en los gases de salida, a la temperatura más o menos de 1300 K (1000 °C), es aproximadamente igual a $\frac{1}{2}$, junto a una $P_{Zn}=0.05$. La composición media de los gases es 5% Zn(g), 10% CO₂ y 20% CO; esta mezcla se halla en equilibrio a la temperatura de 1200 K – 1300 K (950-1000 °C). La magnitud de la relación CO₂/CO en los gases depende también de la reactividad del coque y disminuye al aumentar esta última, lo que en consecuencia disminuye la reoxidación del zinc gaseoso.

El rápido enfriamiento de los gases en el condensador hasta 800 K (500°C) impide la reoxidación del zinc. Si no hubiera niebla de plomo líquido en el condensador, el zinc que se condensara, formaría un polvo fino de superficie oxidada, del cual sería difícil obtener el metal. El rápido enfriamiento de los gases en el condensador se realiza poniendo en contacto los vapores de zinc con una niebla de plomo líquido, formada mecánicamente. Los gases luego de ser enfriados parcialmente se dirigen a un colector de polvos y luego son utilizados para calentar el coque y el aire necesario para el proceso.

En el condensador siempre se forma una insignificante cantidad de producto oxidado, al que se llama ceniza, el cual contiene alrededor de 40% de Zn y 35% de Pb y que se procesa posteriormente en las bandas de sinterización. En el condensador el zinc se disuelve en el plomo líquido y su solubilidad disminuye a medida que desciende la temperatura. El diagrama de fases Zn-Pb tiene una monotéctica; se forman dos fases líquidas de diferente peso específico, compuestas ambas de solamente uno de los metales con una pequeña cantidad del otro disuelta.

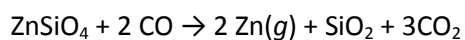
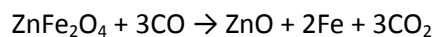
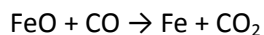
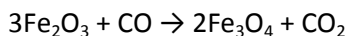
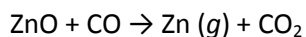
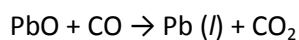
La aleación de zinc y plomo fundida se separa en dos capas líquidas, luego de ser enfriada en el sedimentado hasta aproximadamente 723 K (450°C), de las cuales la inferior está constituida de plomo con 1% de Zn y la superior de zinc impurificado con plomo, llamado "zinc crudo" (zinc fundido). El plomo que decanta en el sedimentador es continuamente bombeado hacia el condensador del horno de cuba en donde disuelve nuevas porciones de zinc, volviendo nuevamente al sedimentador. Parte del zinc así producido se utiliza para galvanizar y en manufactura de ciertas aleaciones. Sin embargo, para producir aleaciones de mayor calidad es necesario disponer de zinc más puro.

El I.S.P. produce el zinc con menor grado de pureza en el mercado, del cual una gran cantidad debe ser refinado en el futuro. Debido a esto muchas plantas existentes de I.S.P. están

instalando y expendiendo sus instalaciones para el refinado. El hecho de que el I.S.P. tenga la unidad más grande disponible para la producción de zinc puede ser una ventaja en países industrializados con grandes mercados y el acceso a grandes inversiones de capital, pero puede ser una desventaja en países en desarrollo donde es prudente empezar con una planta de tamaño modesto. Además el I.S.P. es apto para países con grandes adelantos en la industria, porque es un proceso complicado que requiere un nivel alto de supervisión técnica y equipo sofisticado de control para obtener buenos resultados.

El I.S.P. obtendrá de todos modos, probablemente una participación importante en el futuro del zinc, particularmente en los países desarrollados donde se dispone de materias primas ricas en plomo y zinc en cantidades considerables. En este contexto se debe tomar en cuenta que aún hay posibilidad para el desarrollo del I.S.P., y en su funcionamiento se desarrollará sin duda en un futuro próximo.

e.Reacciones que tienen lugar en el horno de cuba según el método I.S.P. En la composición del sinterizado que se destina a la redacción, intervienen además de los óxidos de plomo y de zinc, ciertos compuestos como los ferritos de zinc $ZnFe_2O_4$ y silicatos $ZnSiO_4$. Además de la combustión del carbono, en el horno de cuba tienen lugar las siguientes reacciones de reducción:

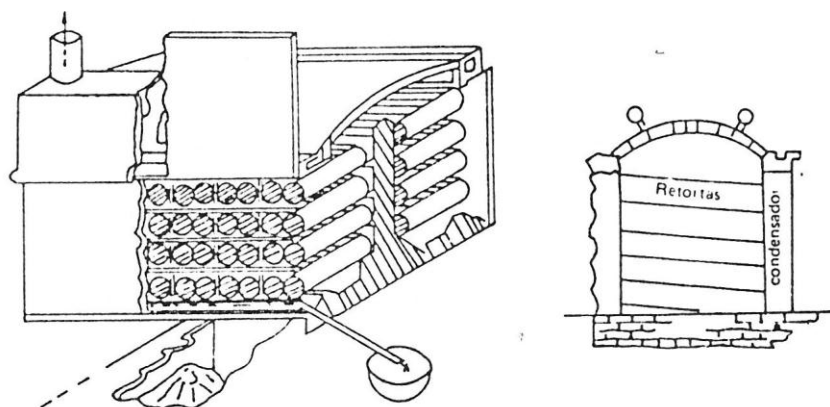


Con base en la posición de las curvas de los valores de las relaciones PCO_2/PCO de algunas mezclas en equilibrio, se puede llegar a las siguientes conclusiones: la reducción de compuestos tales como el $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$ y el $PbO \rightarrow Pb$ ocurre fácilmente desde bajas temperaturas y a bajas concentraciones de CO en los gases. Por esta razón, la reducción del PbO a Pb y de los ferritos de zinc a ZnO tiene lugar fácilmente desde la parte superior del horno. El calor en las zonas altas del horno proviene de los gases de combustión ascendentes e inclusive parcialmente de la reoxidación del vapor de zinc. La reducción del ZnO requiere altas temperaturas y gran concentración de CO en los gases. Pero la reducción del SiO_2 en estas condiciones aún es prácticamente imposible. La presencia de ferritos de zinc no dificulta el proceso de reducción. La reducción de los ferritos $ZnFe_2O_4$ es más fácil que la del óxido de zinc puro, ya que el hierro es metalúrgicamente más noble que el zinc. De esta manera, de acuerdo con el esquema de reacción visto, el ZnO se libera y posteriormente se reduce.

Es necesario subrayar, que la virtud del proceso I.S.P. es su elasticidad. En los hornos de cuba existentes se ha aumentado la producción anual en más de 100% y aún hay más posibilidades de incrementar la eficiencia de los mismos. Esto se puede lograr mediante la automatización del proceso.

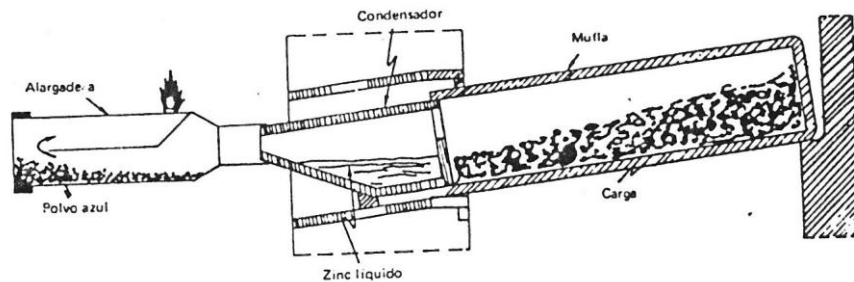
f. Obtención del zinc en hornos de retortas horizontales. La reducción en dichos hornos se lleva a cabo en retortas cerradas las cuales se colocan en los dos lados de un horno rectangular.

Figura 2. 5



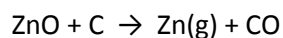
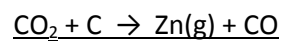
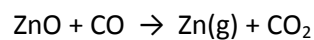
La carga se compone de blenda granulada y tostada y de reductor. El calentamiento del material se realiza desde afuera de las retortas y a través de sus paredes, las cuales evitan el contacto con los combustibles. El ZnO se reduce muy rápidamente por arriba de 1300 K y el Zn reducido escapa en forma de vapor por la boca de la retorta y se licúa en condensadores de arcilla refractarios que se colocan en el extremo abierto de cada retorta. Una alternativa para llevar a cabo la condensación de los vapores de Zn es el uso de cortinas refrigeradas que actúan como cámaras de condensación común a todas las retortas de un lado del horno. Entre los países que todavía usan la reducción en hornos de retortas modificados, están por ejemplo Francia y México.

Figura 2. 6



En la figura se muestra el esquema de una retorta con su condensador y recipiente para la colección del polvo azul (alargadera) originado por los vapores de zinc que no lograron condensarse. El proceso reductor en retorta se lleva a cabo en una atmósfera fuertemente reductora que es posible por la total ausencia del aire y gran exceso de carbón en la carga para que el CO_2 , en el interior de la retorta, se mantenga bajo. Solamente en el inicio del proceso cuando se encuentra poco aire en la retorta se puede formar alguna cantidad de CO_2 , la cual disminuye hasta 0.5 – 0.8% y la cantidad de CO alcanza 98%. Debido a esto, los gases que salen de la alargadera se queman en forma de llama.

La reducción del ZnO ocurre ante todo por medio del monóxido de carbono, CO. La reducción del óxido de zinc procede según las reacciones



Esta última reacción representa el resultado general de las reacciones anteriores. La segunda reacción suministra el agente reductor para que se efectúe la reacción de reducción, influyendo de ese modo sobre la velocidad del proceso.

Se sabe que para el más completo y rápido transcurso de la segunda reacción son indispensables las condiciones siguientes:

- Una temperatura superior a 1300 K, porque de acuerdo con la gráfica de equilibrio a esta temperatura el CO_2 se reduce en 100% a monóxido de carbono.
- Un exceso de carbón que asegure la mayor superficie de contacto posible con el CO_2 .

Sin embargo, aún el rápido transcurso de la segunda reacción no asegura un eficaz y rápido proceso. Para que la reacción de reducción pueda ser lo bastante rápida, es indispensable además, una buena remoción de los vapores de Zn formados por la reducción de la carga, o sea una buena permeabilidad de la carga al paso de los gases. La reducción del óxido de zinc se empieza a una temperatura superior a 1250 K y requiere de una concentración de casi puro monóxido de carbono. La concentración de CO requerida disminuye hasta 92% a la temperatura de 1400 K.

Como es la industria se trabaja fuera de las condiciones de equilibrio, hay que mencionar que existen muchos otros factores que influyen en las condiciones del proceso. Entre las principales causas, se puede mencionar la calidad del agente reductor (su reactividad), composición y tamaño de la carga, propiedades térmicas del sistema, condiciones de difusión y de flujo; todos estos factores no influyen en el equilibrio, pero si controlan la velocidad de las reacciones y por esta razón influyen sobre el panorama real del proceso.

Cuando se toma en cuenta la reducción de otros óxidos presentes en la carga como el de cadmio, plomo, cobre y hierro, la concentración de monóxido de carbono necesaria es considerablemente menor.

Es necesario explicar que junto con la reducción del zinc con monóxido de carbono, CO, también será teóricamente posible la reducción directa con carbón sólido. Sin embargo, debido a la pequeña superficie de contacto de las sustancias en estado sólido ella podría proceder en mucho menor grado.

Como las proporciones de cadmio en la carga son pequeñas, entonces su presión parcial de vapor en los gases también es pequeña y en los condensadores no se licúa y pasan adelante en forma de polvo, el cual precipita en la alargadera de la retorta. Por esto las primeras porciones de polvo de zinc sirven como fuente de obtención del cadmio. Los vapores de zinc mezclados con CO y otros gases que pasan de la retorta al condensador, empiezan su condensación a la temperatura en que los vapores de zinc llegan a alcanzar el estado saturado.

Para calcular las presiones de los vapores saturados del zinc, P_{zn} para el sistema $Zn(l) \rightarrow Zn(g)$ para el cual $\ln K_p = -\Delta G^\circ/RT$.

El cambio de la presión del zinc en equilibrio con sus aleaciones se determina por medio de la relación:

$$P_{zn} = P_{zn}^\circ * a_{zn}$$

Donde a_{zn} significa la actividad (concentración) del zinc en solución. Es necesario obtener los datos acerca de las actividades de literatura especializada para diferentes soluciones.

Los valores de las presiones de P_{zn}° se calculan para algunas temperaturas según la relación $\log P^\circ = AT^{-1} + B\log T + CT + D$.

Tabla 2.4

T (K)	P_{zn}^e
800	2.6
900	18.9
1000	90.0
1100	319.0
1150	553.0

Cuando en el condensador se encuentra solamente vapores puros de zinc su condensación se empezará debajo de su punto de ebullición, 1179 K. En realidad, de la retorta sale una mezcla gaseosa y por esto la temperatura de condensación de los vapores de zinc es mucho más baja, porque está determinada por la presión del Zn gaseoso en la mezcla. La reacción general de balance de la reducción del óxido de zinc muestra que los volúmenes que se forman de monóxido de carbono y de zinc, son iguales. En realidad, la carga contiene también otros metales y esto disminuye la presión parcial de zinc por la cantidad adicional de los gases que se forman a partir de las otras reacciones de reducción. También influye en la disminución de la temperatura de condensación la posible penetración de los gases combustibles en las paredes del crisol cuando sus paredes no son herméticas.

La concentración de los vapores de zinc mezclados con monóxido de carbono disminuye constantemente durante el proceso, con aumento consecuente en la concentración de CO. Entonces debido a esto, la condensación tiene lugar a diferentes temperaturas durante el transcurso del proceso.

Los vapores de Zn, que salen del condensador, al llegar a la alargadera, donde la temperatura disminuye repentinamente, se precipitan en forma de polvo, lo mismo que sobre la superficie de zinc en el condensador.

La temperatura del condensador determinará la cantidad de polvo, ya que cuando es mucho más baja que la temperatura de la retorta, parte de los vapores puede pasar al estado sólido (polvo azul). En el caso contrario, cuando la temperatura del condensador es demasiado alta, se corre el riesgo de que los vapores pasen por el condensador sin condensarse, haciéndolo más adelante en forma de polvo.

Para mayor precisión se debe decir que el límite inferior de temperatura de condensación dependerá del contenido de CO_2 en los gases, el cual oxida los vapores de zinc.

Las principales causas de formación de polvo azul son las siguientes:

- Condensación incompleta de los vapores de zinc causada por temperatura elevada del condensador, ya que parte de los vapores atraviesan la zona de condensación para precipitarse más adelante como polvo.
- Los vapores de zinc se condensan en forma de niebla cerca de las paredes del condensador donde el enfriamiento es muy rápido, y de allí puede ser transportada por los gases hacia fuera del condensador.
- Otro factor es la formación de la capa de óxido de zinc sobre la superficie de las gotas pequeñas, que dificulta su unión para formar la fase líquida. La adición de sal, como NaCl , en la carga previene la formación de la capa de óxido, ya que puede formar ZnCl_2 más volátil.
- Para la formación de polvo azul contribuyen también las pequeñas partículas de la carga, en el flujo gaseoso de la retorta, las cuales actúan como núcleos de condensación.

En este tipo de proceso las retortas tienen un importante papel en la economía de la obtención del zinc. Para su fabricación se usa arcilla refractaria de buena calidad. Muy importante también es la buena preparación de la retorta y su recubrimiento interior, para disminuir la penetración de gases y darle mayor durabilidad.

El proceso de retortas horizontales pertenece al pasado y perdió su importancia ante la presencia de otros procesos como las retortas verticales, horno de cuba I.S.P. y otros.

Los procesos de retortas horizontales no son tan eficientes, son discontinuos, usan excesiva cantidad de carbón, tiene grandes pérdidas de zinc en forma de polvo y en los residuos de la carga, además más duras condiciones de trabajo.

2. Hidrometalurgia del Zinc. En la actualidad no existe ninguna técnica por la cual se pueda precipitar zinc de una solución, por medios económicamente viables. Se ha requerido exhaustivos estudios antes de llegar a establecer las condiciones satisfactorias para la electrodeposición. Fue, bajo la presión de la segunda guerra mundial, cuando se establecieron métodos hidrometalúrgicos de obtención de zinc, ya que este se utilizaba como material para armamento.

La hidrometalurgia del zinc es un proceso combinado de procesamiento de las menas por lixiviación con la consiguiente deposición electrolítica del zinc, a partir de soluciones acuosas de sulfato de zinc. En estos procesos no se puede evitar algunas operaciones pirometalúrgicas como la tostación de sulfuros y la fusión con refinación simultánea de los cátodos de zinc.

En este proceso complejo de la hidroelectrometalurgia del zinc se distinguen las tres principales operaciones siguientes:

- Lixiviación de las menas preparadas con solución de ácido sulfúrico, para obtener el Zn en forma de solución de $ZnSO_4$

- Purificación de la solución de ZnSO_4
- Electrólisis de la solución de ZnSO_4

Estos procesos también están relacionados con las operaciones auxiliares de procesamiento de subproductos que conducen a la recuperación de Cd, Cu, Ag, Pb, Co, entre otros.

La participación del zinc electrolítico en la producción mundial es cada vez mayor como consecuencia de las ventajas que presenta el método húmedo. Este método no contamina tanto el ambiente con gases y polvos y permite la obtención de zinc de alta ley, con un grado elevado de recuperación de subproductos metálicos. El continuo desarrollo del proceso electrolítico permite disminuir costos de producción del zinc. Los más nuevos esquemas tecnológicos de la electrólisis de este metal incluyen alto índice de automatización. Un factor importante en el desarrollo de la electrólisis son las fuentes baratas de energía, como la hidroeléctrica, lignito y otras.

a.Preparación de las menas de zinc. El contenido de zinc en las menas varía de 4 al 8% y generalmente es acompañado con Fe, Pb, Ag, Cu, Cd, As, Sb, Ge, In, entre otros.

Las menas sulfuradas son procesadas inicialmente por métodos de enriquecimiento (concentración por flotación). Los concentrados sulfurados son destinados a tostación donde se oxidan a bajas temperaturas (1020-1120K), en forma parecida a los procesos pirometalúrgicos.

Las condiciones del proceso de tostación para la electrólisis son antagónicas. Por un lado, se desea remover totalmente el azufre, lo cual solo es posible a temperaturas muy elevadas y por otra parte, se desea obtener la menor cantidad posible de compuestos perjudiciales como son los silicatos y ferritos, lo cual sólo es posible a más bajas temperaturas. A más bajas temperaturas y con un exceso de aire, una menor cantidad de óxido de hierro se combina con los óxidos de zinc y

forman $\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, difíciles de disolver durante la lixiviación. A temperaturas de tostación más bajas se forma sulfato de zinc ZnSO_4 , lo cual es ventajoso para la electrólisis.

También se aprovechan en la lixiviación, las menas oxidadas de zinc después de un enriquecimiento de horno giratorio, donde se efectúa la remoción del Pb, Cd y el Cl que pueden contener dichas menas.

El contenido permitido de cloro en las menas de zinc para el proceso electrolítico, es limitado hasta 0.03%. Cuando el contenido de plomo aumenta crece la cantidad de lamas de lixiviación, las cuales aumentan las pérdidas por el zinc ocluido.

b.Lixiviación de menas de zinc. La lixiviación de las menas tostadas de zinc se realiza en dos etapas, una ácida y otra neutral. Del esquema tecnológico resulta que las operaciones de lixiviación, purificación y electrólisis forman un circuito cerrado.

El material tostado entre el tanque de lixiviación neutra, al cual también se dirige la solución ya neutralizada proveniente de la lixiviación ácida. Antes de la lixiviación ácida el electrolito de retorno contiene de 80 a 100g $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{l}$ y sale de ella aproximadamente con 5g $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{l}$.

Se denomina electrolito de retorno a la solución que después de pasar por la operación de electrólisis, donde se precipita la mitad de su contenido de Zn y el H_2SO_4 es regenerado, se retorna de nuevo a la sección de lixiviación.

Es necesario mencionar que en el proceso de lixiviación se emplean proporciones adecuadas de material tostado sólido (T), y solución lixivante líquida (l) a esta mezcla se le llama pulpa.

Al inicio de la lixiviación se usa la relación T/L= 1/14 en peso y al final de la lixiviación esta proporción cambia a 1/25.

En la práctica industrial algunas compañías establecen sus propios esquemas tecnológicos que dependen de la composición de las menas y tipo de equipo usado.

La arena obtenida en la operación de decantación se retorna para someterla a otra disolución neutra adicional. El derrame del clasificador se decanta para separar los sólidos insolubles que acompañan todavía a la solución y el descantado se envía al circuito de lixiviación ácida para disolver los restos de zinc que pueda contener.

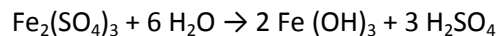
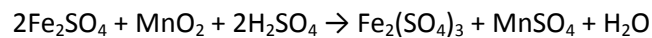
Los tanques de lixiviación ácida también son alimentados de vez en cuando con solución acuosa de H_2SO_4 fresca, para regenerar las pérdidas de ácido.

En la etapa de lixiviación neutra se disuelve cerca del 50% de zinc del mineral tostado. El fin de esta lixiviación es remover las impurezas contenidas en la solución, las cuales entran al circuito neutro con el derrame de la lixiviación ácida debido a que estos derrames contienen muchas impurezas (12).

hierro que entra en la solución proviene principalmente del FeO y más pequeña parte del Fe₂O₃ libre, permaneciendo los ferritos, ZnO.Fe₂O₃, sin disolver. El PbO forma del PbSO₄ insoluble.

Cerca de la mitad del cobre contenido en la mena entra en la solución. El Cd, y el Sb se disuelven fácilmente, y no así el Ni y Co, que se disuelven solo parcialmente durante el transcurso de la lixiviación. Es necesario señalar que el As y Sb pertenecen a las impurezas más dañinas en la electrólisis de la solución de ZnSO₄. Los metales preciosos no se disuelven y se quedan en los lodos.

Parte de las impurezas como Fe, Al, Sb, As, se remueven inicialmente durante la lixiviación neutra, la cual es conducida con un pH = 5. En estas condiciones, el Fe y Al se precipitan en forma de hidróxidos. Para su completa oxidación se adiciona un oxidante como el MnO₂, ilustrado por la reacción:



Los efectos de la lixiviación neutra son:

- Todo el material tostado entra al proceso y casi $\frac{3}{4}$ partes de zinc se disuelven.
- Los componentes de hierro se oxidan a Fe³⁺ y se precipitan
- Además del hierro y aluminio, también se remueve la sílice, la cual parcialmente se disuelve en forma coloidal y en forma coloidal y en solución neutra se coagula.
- Parte de hidróxido de cobre se precipita.
- Junto con los hidróxidos mencionados precipitan casi completamente el As y Sb, cuyos compuestos se absorben sobre una gran superficie de los hidróxidos.

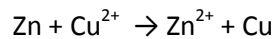
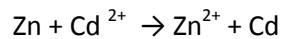
Los hidróxidos ayudan a la coagulación de la sílice, la cual en forma coloidal dificulta mucho la filtración subsecuente.

Después los residuos sólidos de la lixiviación neutra son dirigidos en la Lixiviación ácida, cuyos efectos son:

- Disolución del Zn y Cu residuales.
- Disolver el hierro en la cantidad apropiada para la remoción posterior del As y Pb, en el circuito de purificación.

La solución clara de la lixiviación neutra se conduce a la purificación, donde por medio de cementación con polvo de zinc se precipitan Cd y Cu.

La cementación es un proceso en el cual es precipitado, de una solución, un metal por otro menos noble, según las reacciones redox:



La condición termodinámica del proceso de cementación radica en la diferencia entre los potenciales de equilibrio de los electrodos metálicos mencionados, por ejemplo

$$E_{\text{Cd}} > E_{\text{Zn}}$$

La efectividad de la cementación también depende del pH de la solución, cuyo valor evita la precipitación de los hidróxidos y otros complejos básicos del metal, los cuales pueden pasivar el metal reductor, frenando la cementación. La velocidad de la cementación depende de la agitación de la solución.

Después de filtrar el producto de la cementación se obtiene una torta que contiene Cu y Cd, que después se procesa para obtener dichos metales y una solución clara que se conduce al proceso de electrólisis.

La eficiencia en el proceso de lixiviación del Zn es alrededor del 90%.

c. Equipo empleado en lixiviación. El proceso de lixiviación se puede conducir en forma intermitente y continua usando agitadores mecánicos y neumáticos. El agitador neumático denominado tanque de Pachuca, trabaja con un sistema de inyección de aire comprimido a 200 KPa (2atm.) a la pulpa, lo que origina un movimiento de agitación que acelera la disolución del metal deseado. Un agitador mecánico también acelera la velocidad de disolución de la mena. El revestimiento interior de los agitadores debe ser resistente a la acción corrosiva de la solución, así como también resistente a la abrasión de la pulpa.

El equipo empleado después de las operaciones de lixiviación para llevar a cabo la separación líquido-sólido, son los tanques espesadores, filtros y bombas. Los espesadores son tanques de gran diámetro y poca altura que se emplean para decantar por gravedad los sólidos que acompañan a la solución. Los filtros de vacío de tambor o de discos se usan para la filtración de tipo continuo y los filtros-prensa para trabajo intermitente.

d. Electrólisis de la solución de sulfato de zinc. La solución filtrada y clara obtenida por la lixiviación de las menas de zinc es el electrolito casi neutro, a base de solución de $ZnSO_4$, con una concentración de 100 a 120g Zn/l. De este electrolito, durante la electrólisis, se extrae entre la mitad y dos tercios del contenido de zinc (prácticamente, cuando se aumenta la concentración de H_2SO_4 hasta 100 g/l. El electrolito usado regresa a lixiviación.

El éxito del proceso electrolítico depende ante todo de la pureza del electrolito. En la práctica, el electrolito siempre contiene impurezas, debido al hecho de que periódicamente regresa a la lixiviación, aumentando así su contaminación.

Las impurezas más dañinas son, principalmente, aquellas más electropositivas que el zinc, las cuales se depositan simultáneamente con este metal en el cátodo. Estas impurezas corroen el zinc catódico, porque las microceldas locales formadas por ellas, sobre la superficie del zinc, provocan la disolución de este metal en el electrolito.

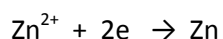
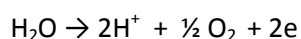
El arsénico, antimonio y germanio, así como también níquel y cobalto, causan fuerte corrosión de los cátodos de zinc disminuyendo la eficiencia de la corriente η . Estas impurezas forman en el depósito de zinc las microceldas de más intensa acción disolvente. Las impurezas más electronegativas que el zinc influyen menos en la electrólisis. Por ejemplo, el cloro en forma de anión causa la corrosión de los ánodos y las espirales de refrigeración, disminuyendo también, por su transporte, la eficiencia de corriente. La acumulación de impurezas más electronegativas que el zinc pueden conducir al aumento de la viscosidad del electrolito y su resistencia, elevando la tensión de trabajo de la celda.

En general las contaminaciones del electrolito causan la corrosión secundaria de los cátodos, forman protuberancias en la superficie del cátodo ocasionando cortocircuitos, disminuyendo la del proceso, dificultan la deposición del zinc, causan la fragilidad del depósito, etc.

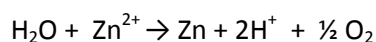
e. Curso de la electrólisis. La electrólisis se lleva a cabo en recipientes denominados celdas o cubas electrolíticas donde son colocados suspendidos los electrodos insolubles: cátodos de lámina de aluminio y ánodos de láminas de plomo con 1% de plata. En el electrolito están presentes principalmente los iones Zn^{2+} , H^+ , OH^- , y SO_4^{2-} .

El flujo de la corriente a través del electrolito causa la transportación de los cationes hacia el cátodo donde se descargan, cediendo sus electrones al cátodo. Simultáneamente en el ánodo se descargan los aniones con desprendimiento de oxígeno. En el electrolito tiene lugar la generación del H_2SO_4 en una cantidad equivalente al zinc depositado.

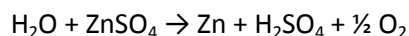
Entre las posibles diferentes reacciones más importantes son las reacciones anódicas y catódicas:



Siendo la reacción sumaria de la electrólisis:



Esta reacción también se puede expresar según la reacción molecular



De esta reacción resulta que durante el transcurso del proceso disminuye el contenido de zinc conforme aumenta la concentración de H_2SO_4 . El cambio de entalpía libre ΔG° de esta reacción es mayor que cero, lo cual significa que el proceso electroquímico no se lleva a cabo espontáneamente y para impulsarla es necesario, teóricamente, suministrar el potencial de descomposición ED, calculado de la relación $\Delta G^\circ = -zEF$. Este potencial, en condiciones de equilibrio, resulta ser de 2.35 V. La tensión de trabajo de la cuba es igual a $U_e = 3.5 \text{ V}$.

La práctica de la electrólisis de las soluciones acuosas de ZnSO_4 es posible gracias al sobrepotencial de hidrógeno cuyos iones, para depositarse, deben vencer un alto sobrepotencial

de cerca de 0.8V, que sobrepasa el potencial normal del zinc y debido a este sobrepotencial, el potencial de deposición de los iones hidrógeno va a ser más negativo que los iones de zinc.

Cualquier factor controlable que pueda causar una disminución en el sobrepotencial de zinc debe ser eludido, si la eliminación de dicho factor aumenta los gastos económicos en el sistema. De esta manera, todos los factores que tienden a incrementar el sobrepotencial deben ser utilizados donde sea posible. ⁽¹²⁾

Algunos de los factores más conocidos que afectan el sobrepotencial son los siguientes:

- Superficie del electrodo: El sobrepotencial es menor en una superficie rugosa que en una lisa. El efecto es acumulativo mientras transcurre la deposición y esto se justifica por la extrema sensibilidad de la celda de zinc. La rugosidad inicial puede ser producida por cualquier otro factor pero, una vez formada contribuye a la disminución del sobrepotencial.
- Concentración de iones: La carencia de iones en el electrolito produce un efecto similar a la disminución del sobrepotencial. Este efecto llamado “concentración de polarización”, puede disminuirse por la agitación del electrolito y por el uso de ánodos de rejilla para incrementar la circulación. Un incremento en la densidad de corriente incrementa la necesidad de una mejor circulación.
- Pureza del metal del electrodo: cualquier impureza perjudicial, por mínima que sea, puede causar una seria disminución en el sobrepotencial en este punto. Se debe implementar una acción de “celda local” para prevenir el plateado del zinc en el área inmediata y también contribuye a la disolución del zinc.
- Tiempo de deposición: El máximo sobrepotencial puede no ser alcanzado inmediatamente y puede variar considerablemente en el transcurso de la deposición.

El tiempo de deposición puede variar de 8 a 72 horas en el sector comercial. Bajo condiciones de laboratorio, el tiempo de deposición se ha extendido a 30 días o más, con excelentes resultados.

- **Temperatura:** La temperatura a la cual se lleva a cabo la electrolisis puede afectar apreciablemente el sobrepotencial. Un aumento en la temperatura de la electrólisis del zinc, usualmente disminuye el sobrepotencial y también aumenta los efectos perjudiciales de otros factores. Al considerar todos los factores, se ha encontrado que el rango adecuado de la temperatura está entre 30 y 40 °C.
- **Presencia de coloides:** El sobrepotencial de una celda electrolítica de zinc, se incrementa con la presencia de coloides. La teoría aceptada, dice que, las partículas coloidales migran por la acción llamada electroforesis, debido a las cargas que se encuentran en su superficie.
- **Presencia de sustancias orgánicas:** La presencia de sustancias, tiende a disminuir el sobrepotencial.
- **Densidad de corriente:** Un incremento en la densidad de corriente tiende a aumentar el sobrepotencial. Otros factores, como el incremento de la temperatura, el incremento en la actividad de las impurezas y una reducción en la concentración del ion, pueden acompañar el incremento en la densidad de corriente.
- **Impurezas en el electrolito:** este es el factor más importante que afecta el sobrepotencial y también es el menos comprendido hasta ahora. El efecto de cada una de las impurezas ha sido estudiado con detalle y sus efectos bajo condiciones estándar pueden ser predichos con exactitud. El efecto de dos o varias impurezas, es un problema mucho más complicado. El gran número de combinaciones posibles de

impurezas convierte a este factor en uno de los problemas más grandes de la electrólisis del zinc. Una solución pura de sulfato de zinc, da excelentes resultados en la electrólisis, pero dicha solución es imposible de obtener durante el proceso. (5)

La electrólisis se realiza en cubas que generalmente son de concreto con un recubrimiento interior anticorrosivo (lámina de plomo, hule). En las cubas se colocan alternadamente alrededor de 30 electrodos de láminas de Pb y Al de gran pureza.

Los electrodos se conectan en paralelo por medio de barras de soporte. Las cubas se conectan en serie en forma de grupos que a su vez son conectados en paralelo. La colocación de las cubas puede ser en forma de cascada o en un mismo nivel. En cascada el flujo de electrolito se realiza gravimétricamente. La circulación del electrolito disminuye la polarización por concentración. En el sistema de un nivel, todas las cubas son alimentadas individualmente y este sistema facilita la remoción del depósito de zinc en los cátodos y por esto actualmente este sistema tiene preferencia en la industria.

La necesidad de enfriamiento del electrolito durante la electrólisis por medio de espirales, de refrigeración, resulta no solamente del temor de la disminución del sobrepotencial de hidrógeno con el aumento de la temperatura, sino también a la fuerte intensificación de la corrosión del zinc catódico con la temperatura. Las modernas plantas metalúrgicas conducen la electrólisis con densidades de corriente cercanas a los 400 A/m^2 y a una temperatura hasta de 310K . La eficiencia de corriente en la electrólisis del zinc varía de 87 a 94%, con el correspondiente consumo de energía eléctrica de 3300 kWh/t de zinc.

Para disminuir la tensión, la distancia entre los electrodos es del orden de pocos centímetros. El consumo del H_2SO_4 resulta ser aproximadamente de 250kg/t de zinc.

Durante el proceso los electrodos se consumen y por ejemplo, y para una tonelada de zinc, este consumo es alrededor de 1.5 kg de Pb y 0.5 kg de Al.

Durante la electrólisis es necesario controlar la composición y temperatura del electrolito y la tensión en las cubas, la cual durante los cortocircuitos disminuye. Periódicamente las cubas se desconectan para remover las lamas que pueden causar los cortocircuitos. Estas lamas contienen MnO y sirven como oxidante del hierro ferroso Fe^{++} , en el proceso de lixiviación.

Para mejorar la calidad de la superficie catódica se añade al electrolito cerca de 0.1% de gelatina o goma. El zinc se remueve de los cátodos cada 24 horas. Y se conduce a la zona de fusión.

La electrólisis del zinc requiere de corriente directa, la cual, en la mayoría de los casos debe ser convertida de corriente alterna. La cantidad de energía requerida es tan grande, que una pequeña diferencia en la eficiencia de conversión entre diferentes tipos de equipo de conversión, puede causar grandes pérdidas económicas.

Es necesario mencionar que la electrólisis de zinc está relacionada con la electrólisis del cadmio, ya que en las menas también está presente este último metal y durante la purificación de la solución de lixiviación de las menas de zinc se obtienen las lamas de cementación que contiene Cd y Cu. Estas lamas sirven de materia prima para la obtención.

Los mercados disponibles son usualmente los que determinan que productos secundarios pueden ser recuperados a bajo costo de una planta de zinc electrolítico. Además del cadmio, el plomo, el oro, la plata y el cobre pueden ser considerados productos secundarios, ya que estos se venden usualmente a otros productores. Cuando el indio, galio y germanio se encuentran presentes en minerales de zinc, se debe considerar su recuperación dependiendo de la cantidad presente de cada uno de ellos. (12)

f.Fusión del zinc catódico. La placa de zinc catódico obtenida durante la electrólisis se funde en hornos y se moldea en lingotes de formas comerciales.

El zinc removido de ambos lados de los cátodos de aluminio tiene la forma de delgadas placas de 2 a 3 mm de espesor. Estas placas se funden en hornos, bajo una capa fundida de cloruro de amonio NH_4Cl , el cual sirve como protector contra la oxidación y por otro lado como un agente refinador. Dicho cloruro disuelve el zinc y facilita la aglomeración de las gotas de zinc fundido en una capa integrada.

Debido a que metalúrgicamente el zinc es un metal poco noble con gran afinidad por el oxígeno, entonces durante la fusión del zinc catódico se forma una grasa la cual es una mezcla de zinc oxidado y sus impurezas, antes de la fusión se deben sacar las hojas de zinc. La fusión puede llevarse a cabo en hornos reverbero, pero últimamente se usan más frecuentemente los hornos eléctricos de inducción tipo canal. El principio de trabajo de estos hornos es igual al principio de trabajo de un transformador.

La bobina secundaria está formada por el metal fundido dentro de un canal conectado con el baño metálico y la bobina primaria está formada por un bloque refractario.

En el canal existe gran agitación que se extiende hasta el baño metálico. Por esto el zinc fundido circula constantemente del canal al baño y viceversa. Debido al sobrecalentamiento del zinc en el canal sube hacia el baño y el metal frío de éste desciende al canal. Cuando se inicia el proceso se debe cargar zinc fundido antes de llenar el horno con el zinc catódico.

La pureza del zinc electrolítico obtenido después de la fusión llega a 99.99%. La grasa formada durante la fusión del zinc catódico se debe procesar para recuperar el zinc atrapado. Uno de los métodos consiste en calentar las grasas con NH_4Cl en un tambor rotatorio, donde el zinc se funde y se desliza hasta un pequeño horno de refinación.

g. Industria del zinc electrolítico. Algunos autores creen que el futuro de la industria del zinc está orientado hacia el proceso electrolítico, particularmente en países en desarrollo. Las razones son las siguientes:

- El proceso electrolítico produce directamente zinc de alta pureza y esto es muy importante debido a las constantes exigencias del mercado.
- El proceso electrolítico es apto para producciones relativamente pequeñas y una planta electrolítica puede ser ampliada según las necesidades.
- Ninguna metalurgia del zinc es sencilla, pero el proceso electrolítico es probablemente el más fácil de operar en países en desarrollo con limitado personal técnicamente calificado.
- Las construcciones y una gran parte del equipo requerido para una planta electrolítica pueden ser conseguidos localmente en países en desarrollo.

III.JUSTIFICACIÓN

Guatemala posee una variedad y riqueza de yacimientos de minerales metálicos entre los que sobresalen los de plomo, zinc y plata.

En la actualidad, el plomo es el único metal que se obtiene a partir de minerales en el país, mientras que no hay procesos para obtener zinc metálico. Sales, Ácidos y Solventes S.A. produce una pequeña cantidad de sulfato de zinc a partir de smithsonita.

Tomando en consideración que la Ley de Minería, Decreto Ley 48-97, las políticas de gobierno y otras leyes del país, favorecen actualmente la exploración y explotación de minerales en Guatemala, es de importancia la realización de un estudio para desarrollar un proceso de obtención de zinc metálico, evitando la fuga de divisas que genera la importación de dicho metal, fomentando las exportaciones y creando a su vez nuevas fuentes de trabajo.

IV.OBJETIVOS

A.OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar y evaluar el proceso de producción económicamente rentable, para la obtención de zinc metálico a partir de minerales de zinc extraídos de las minas que se encuentran en las zonas sedimentarias de Guatemala.

B.OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Realizar un estudio de mercado.
2. Realizar un estudio técnico del proceso.
3. Determinar la inversión necesaria para la puesta en marcha de la fábrica de zinc.
4. Determinación de los costos de producción
5. Evaluación de la factibilidad económica del proyecto.
6. Disminución de las importaciones y fomento de las exportaciones de zinc metálico.
7. Crear nuevas fuentes de trabajo, tanto con la planta, como con la reactivación de las minas inactivas vigentes y/o abandonadas.

V.PROBLEMA A RESOLVER

El mal aprovechamiento de los recursos mineros con los que cuenta Guatemala, considerando que durante años no se han utilizado en forma significativa los minerales de zinc que podrían ser materia prima para la producción de zinc metálico logrando así evitar la fuga de divisas que provoca la importación de dicho metal.

VI.METODOLOGÍA

1. Elaboración de un estudio de mercado:

Análisis de exportaciones e importaciones del producto

2. Desarrollo de un proceso de obtención de zinc metálico:

Evaluar diferentes alternativas de procesamiento de zinc.

3. Estimación de equipo por medio de cotizaciones:

Búsqueda de información en empresas que distribuyen el equipo a utilizarse.

4. Estimación de costos de producción:

Determinar costos en base a todos los elementos que intervendrán en el proceso de producción.

5. Determinación de rentabilidad:

La evaluación financiera del proyecto determinará la rentabilidad del proyecto.

VII.RESULTADOS

A.Descripción general del Proyecto

Instalación de una planta productora de zinc metálico. El producto se comercializará en lingotes con un peso de 3 kg. La planta tendrá una capacidad de procesar 280 toneladas de zinc mensuales trabajando 24 horas diarias 26 días al mes, produciéndose en el primer año 3360 toneladas de zinc con un contenido en peso superior al 99.99%, para lo cual se utilizarán 817.19 Tm de Pache mensuales. El tamaño de la planta fue determinado por el estudio de mercado, tomando como base las importaciones de zinc en Centroamérica y Panamá en los años 94 y 95. La localización de la planta se encuentra en el departamento de Escuintla en donde la empresa Sales, Ácidos y Solventes S.A. (SAYSSA), cuenta con terreno disponible en su planta de proceso para la implementación de ese proyecto. Con esta planta se espera fomentar la explotación de mineral de zinc en Guatemala con lo cual se crearán nuevas fuentes de trabajo y asimismo se contribuirá a la economía del país por medio de la disminución de las importaciones de zinc hacia Guatemala.

1.Programa de Producción. Por medio de estequiometría se determinaron las cantidades a utilizar de cada una de las materias primas involucradas en el proceso (ver anexo 1). Se tendrá una producción anual de 3360 Tm de zinc en lingotes de 3 kg.

2.Presentación del Producto. El producto se ofrecerá a las industrias en lingotes de 3 kg.

B. Estudio de Mercado

La investigación de mercado es un sistema formalizado para obtener información y adquirir un conocimiento del mercado, facilitando el proceso de la toma de decisiones. Además es la función que relaciona al consumidor, al cliente y al público con el especialista en mercadeo a través de la información.

Al estudiar el mercado de un producto es preciso reconocer todos los agentes, que con su actuación, tendrán algún grado de influencia sobre las decisiones que se tomarán al definir su estrategia comercial. Cinco son, en este sentido, los submercados que se reconocerán al realizar un estudio de factibilidad: el proveedor, competidor, distribuidor, consumidor y externo. Este último puede obviarse y sus variables incluirse, según corresponda, en cada uno de los cuatro anteriores.

En este proyecto el mercado consumidor constituye un factor más crítico que el mercado proveedor, ya que se tienen muchos oferentes alrededor del mundo en relación a los demandantes en el mercado centroamericano. Un proyecto de tal magnitud, como lo es el zinc, requiere de posibilidades de ofertar el producto para exportaciones, por lo que este estudio se enfoca a nivel del Istmo.

Con base en la formación recaudada, se observa que son tres los principales productos del zinc que se exportan e importan en la actualidad (partidas de importación 79.01.00.00, 79.01.11.00, 79.01.12.00), siendo el de mayor interés para este estudio el producto con contenido de zinc superior o igual a 99.99% (partida de importación 79.01.11.00). La información que se presenta a continuación representa el comportamiento del mercado en los últimos cinco años, ya que es en este de tiempo donde se ha incrementado la utilización de zinc en la industria

centroamericana. Así mismo, el sistema actual de importaciones y exportaciones se inició en el año 92 con el nombre de SAC, el cual es más específico en lo que se refiere a la pureza de los productos, lo cual es de sumo interés en la investigación del mercado del zinc. En los sistemas anteriores de partidas de importaciones y exportaciones se puede encontrar información más general en donde se mencionan únicamente los minerales de zinc.

1.Importaciones de Zinc. Las importaciones de un producto específico se utilizan en un estudio de mercado para cuantificar los posibles compradores de nuestro producto y así poder programar la producción estipulada que se debe tener anualmente para satisfacer la demanda. Aquí nuevamente se presentan datos de toda Centroamérica, ya que el mercado guatemalteco es aún muy pequeño para tomarse individualmente.

Tabla 7. 1

Importaciones de Zinc

Contenido en Peso superior o igual al 99.99%

Guatemala

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1993	17058	50441	Estados Unidos
1993	106014	100270	México
1993	11350	20000	Honduras
1993	699773	598481	Brasil
1993	298222	249761	Argentina
1993	54733	40059	Perú
1993	460000	400	Sudáfrica, Rep.
1994	1945	5115	Estados Unidos
1994	188889	181501	México
1994	7815	20000	Honduras
1994	68820	60287	Perú
1994	212762	229765	Alemania Unificada
1994	29035	25277	Bélgica - Luxemburgo
1995	111636	99232	Estados Unidos
1995	1534217	1286677	México
1995	77580	60045	Perú
1995	177972	151057	Bélgica - Luxemburgo
1995	65684	50722	Rusia
1996	216119	182029	Estados Unidos
1996	1056556	908553	México
1996	418916	369077	Perú

Continuación Tabla 7. 2

El Salvador

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1994	38227	20132	Estados Unidos
1994	19253	16109	México
1994	12900	10182	Perú
1994	14988	13485	Holanda
1995	3372	5139	México
1995	24972	20330	Holanda
1996	19011	15843	Estados Unidos
1996	8841	7000	México
1996	6167	5000	Guatemala
1996	48331	39656	Nicaragua
1996	1378	430	Panamá
1996	30656	25052	Perú
1996	11157	6448	Alemania Unificada
1996	66488	56009	Bélgica-Luxemburgo
1996	51718	41590	Otros de Europa

Honduras

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1993	915	83	Estados Unidos
1993	25504	19930	México
1993	121448	99141	Alemania Federal
1993	579686	487131	Portugal
1994	234110	98503	Bélgica-Luxemburgo
1995	94897	80127	México
1995	186302	150808	Alemania Dem.
1995	235367	200825	Bélgica-Luxemburgo
1995	191535	150986	No identificados

Nicaragua

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1995	81496	59321	México
1995	10300	10000	Bélgica-Luxemburgo
1995	28200	19888	Holanda
1995	51672	50850	Unión Soviética
1996	22597	21997	México
1996	40723	38861	Bélgica-Luxemburgo

Costa Rica

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1994	281	292	Estados Unidos
1994	799947	837185	México
1994	783457	796335	Brasil
1994	2574254	2539539	Perú
1995	417164	359633	México
1995	1198036	1021254	España
1995	257672	200953	Holanda

Panamá

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1995	74	14	Estados Unidos
Total	74	14	

Fuente: SIECA

Tabla 7. 3

Importaciones de Zinc

Contenido en peso inferior al 99.99%

Guatemala

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1993	11600	20000	Honduras
1993	323266	274324	Argentina
1994	404993	400248	México
1994	407656	400434	Holanda
1996	159	4	Alemania Unificada

El Salvador

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1994	17504	11103	Estados Unidos
1994	8629	5987	México
1994	42126	39760	Bélgica-Luxemburgo
1995	8060	4008	Estados Unidos
1995	3130	2000	México
1995	24026	20988	Bélgica-Luxemburgo
1995	64865	50321	Otros de Europa
1996	6167	5000	Guatemala

Honduras

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1993	187825	199814	Brasil
1994	170793	175530	Reino Unido
1995	12750	9888	El Salvador

Costa Rica

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País origen
1994	576	500	Estados Unidos
1994	597400	650139	México
1994	60621	47829	Bélgica-Luxemburgo
1994	349490	380513	Rusia
1995	340789	300654	Estados Unidos
1995	818096	399842	México
1995	4544	4106	Colombia
1995	99638	84703	Perú
1995	1172593	1034758	Bélgica-Luxemburgo

Fuente: SIECA

Las cantidades de zinc que se importaron en los últimos años no tienen una tendencia fija, ya que entre 1993 y 1994 hubo un gran aumento, siendo éstas de 1665.697 Tm y 4853.707 Tm respectivamente. Se creería que la tendencia sería al aumento, pero en 1995 se produjo una disminución a 4051.847 Tm. En el año 1996 se obtuvieron datos del primer trimestre, por lo que no pueden utilizarse como dato de comparación. Aún así las cantidades de zinc son altas a nivel centroamericano para considerar la posibilidad de invertir en un proyecto de esta magnitud.

Las importaciones de zinc con contenido en peso inferior al 99.99% son menores a las importaciones correspondientes al zinc con contenido en peso superior o igual al 99.99%. Esto se debe principalmente a que la industria que utiliza el zinc como materia prima exige parámetros de pureza más altos.

Tomando como base los precios de importación del zinc con contenido en peso superior o igual 99.99%, se determinó un precio promedio de venta de zinc para este proyecto, que es de \$ 1.22 (Q.7.45) por kilogramo.

2.Exportaciones de Zinc. Un estudio sobre las exportaciones que se realizan actualmente de un producto que se pretende introducir al mercado, brinda información sobre las cantidades de producto que se producen en un país determinado. En la Tabla 7.3 se muestran las exportaciones de zinc en bruto de Guatemala y Centroamérica para los desperdicios y desechos de zinc.

Tabla 7. 4

Exportaciones de Zinc en Bruto

Desperdicios y desechos de Zinc

Guatemala

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1990	6187	43182	Estados Unidos
1991	45553	40480	México

El Salvador

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1992	2195	10228	Honduras

Honduras

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1990	27885	79070	Estados Unidos
1990	8772805	12202468	Bélgica-Luxemburgo
1990	4924436	5931061	Reino Unido
1990	3087237	3339859	Japón
1990	2793637	3389	Australia
1991	85848	362780	Estados Unidos
1991	2776	44365	Argentina
1991	3084744	15183901	Bélgica-Luxemburgo
1991	3042827	8114659	Reino Unido
1991	8815	23931	Corea del Sur
1992	546587	22448	Estados Unidos

Nicaragua

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1990	133426	361901	Estados Unidos
1990	10273	16650	México
1990	6000	20000	Honduras
1990	18630	36000	Alemania Federal
1990	31050	108000	Bélgica-Luxemburgo
1991	29100	100025	Estados Unidos
1991	6000	20000	México
1991	7425	13517	El Salvador
1991	3575	6514	Honduras
1991	6000	20000	India
1992	48526	152502	Estados Unidos

Continuación Tabla 7. 5

Costa Rica

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1990	68800	80590	España
1990	37200	40295	Reino Unido
1990	43600	40305	Hong Kong
1991	15840	41590	Estados Unidos
1991	88200	121818	Corea del Sur
1992	91200	120000	Estados Unidos
1992	36000	40000	México
1993	21425	40708	Estados Unidos

Fuente: SIECA

Los datos de la Tabla 7.3 brindan información sobre las cantidades de mineral de zinc que se exportan, en Guatemala se tienen registros únicamente de los años 90 y 91, lo cual da un parámetro para afirmar que el mineral está siendo poco explotado en nuestro país. El Salvador tiene un comportamiento parecido al de Guatemala, mientras que Honduras, Nicaragua y Costa Rica tienen cifras mayores de exportación hacia varios países, lo cual hace suponer que la explotación minera tiene un mayor desarrollo comparado con Guatemala y El Salvador.

A continuación se presentan los productos del zinc con un contenido en peso superior o igual al 99.99% y con un contenido en peso inferior al 99.99%, siendo el de mayor importancia el primero de éstos.

En este caso fue poca la información que pudo recaudarse, ya que varios países no se cuentan con información de partidas de exportación. En las Tablas 7.3, 7.4 y 7.5 se muestran las cantidades de zinc exportadas en los últimos cinco años y el país de destino.

Tabla 7. 6

Exportaciones de Zinc

Contenido en peso Superior o Igual al 99.99%

Guatemala

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1995	51	300	El Salvador
1996	6000	5000	El Salvador
Total	6051	5300	

El Salvador

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1994	105988	103108	Guatemala
1995	12750	9886	Honduras
Total	118738	112994	

Nicaragua

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1993	16000	60	Estados Unidos
1996	15000	60	India
Total	31000	120	

Únicamente 3 países centroamericanos producen actualmente zinc de alta pureza, siendo el mayor exportador El Salvador. Guatemala produjo 5.3 Tm en dos años y Nicaragua 120 Tm, lo cual lo coloca como el segundo mayor exportador.

Con los datos presentados anteriormente se puede deducir que la industria del zinc metálico es poca en el área centroamericana, lo cual presenta una ventaja ya que se tendrá poca competencia en el medio.

Tabla 7. 7

Exportaciones de Zinc

Contenido en Peso Inferior al 99.99%

Guatemala

Año	Valor en US \$	Volumen (kg)	País destino
1995	12750	9886	Honduras
Total	12750	9886	

Fuente: SIECA

Como se observó anteriormente la industria de zinc en el área centroamericana ha principiado a tomar importancia en los últimos tres años, y el mercado potencial del producto aún no se ha saturado, por lo que se tienen muchas ventajas que favorecen este proyecto. Los años y los países que no aparecen carecen de información de partidas de exportación para este producto en particular.

C.Estudio Técnico.

Con base al proceso de obtención zinc, como se muestra en los antecedentes (página No.42), se muestra el diagrama de la línea de producción modificado, en donde no se incluye el proceso de cementación debido a las características del mineral a procesar (ver Anexo 3), además se tiene una etapa de enfriamiento después de la electrólisis, así como una segunda electrólisis en donde se pretende recuperar el zinc que no se depositó en los cátodos de la primera electrólisis. La planta operará con dos procesos simultáneos de obtención de solución de sulfato de zinc, para cubrir el programa de producción de 280 Tm de zinc mensuales. Se presenta el diagrama actual de la distribución de SAYSSA, en donde se va a implementar la producción del zinc y el diagrama propuesto para este proyecto.

Tabla 7. 8
Maquinaria y equipo

Equipo	Cantidad
Molienda	
Molino de martillo 75 Hp	1
Molino de quijadas 20 Hp	1
Lixiviación neutra	
Tanque de 8 metros cúbicos	2
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2
Agitador con motor 3 Hp 120 rpm	2
Decantación 1	
Tanque 9 metros cúbicos	2
Agitador con motor 3 Hp 10 rpm	2
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2
Bomba de desplazamiento pos. 5 Hp	2
Decantación 2	
Tanque 7 metros cúbicos	2
Agitador con motor 3 Hp 10 rpm	2
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2
Bomba de desplazamiento pos. 5 Hp	2
Lixiviación ácida	
Tanque de 8 metros cúbicos	2
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2
Agitador con motor 3 Hp 120 rpm	2
Decantación 3	
Tanque 8 metros cúbicos	2
Agitador con motor 3 Hp 10 rpm	2
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2
Bomba de desplazamiento pos. 5 Hp	2
Purificación ZnSO₄	
Tanque ZnSO ₄ 6 metros cúbicos	2
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2
Electrólisis	
Cubas 1.25 metros cúbicos	24
Cátodos por cuba	25
Ánodos	26
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	1
Almacenamiento H₂SO₄	
Tanque H ₂ SO ₄ 9 metros cúbicos	1
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	1
Sistema de enfriamiento	
1	
Filtración	
Filtro prensa capacidad 2000 lt/hr	4
Fusión	
Horno capacidad 10 Tm por día	1

3. Materia prima y materiales. Para cubrir el programa de producción, la planta de obtención de zinc demanda las siguientes cantidades de materia prima en el primer año de operaciones.

a) Pache (Mineral de Zinc)	9806.28	Tm
b) Ácido sulfúrico	2999.40	Tm
c) Floculante	2.19	Tm
d) Óxido de Manganeso	11.16	Tm

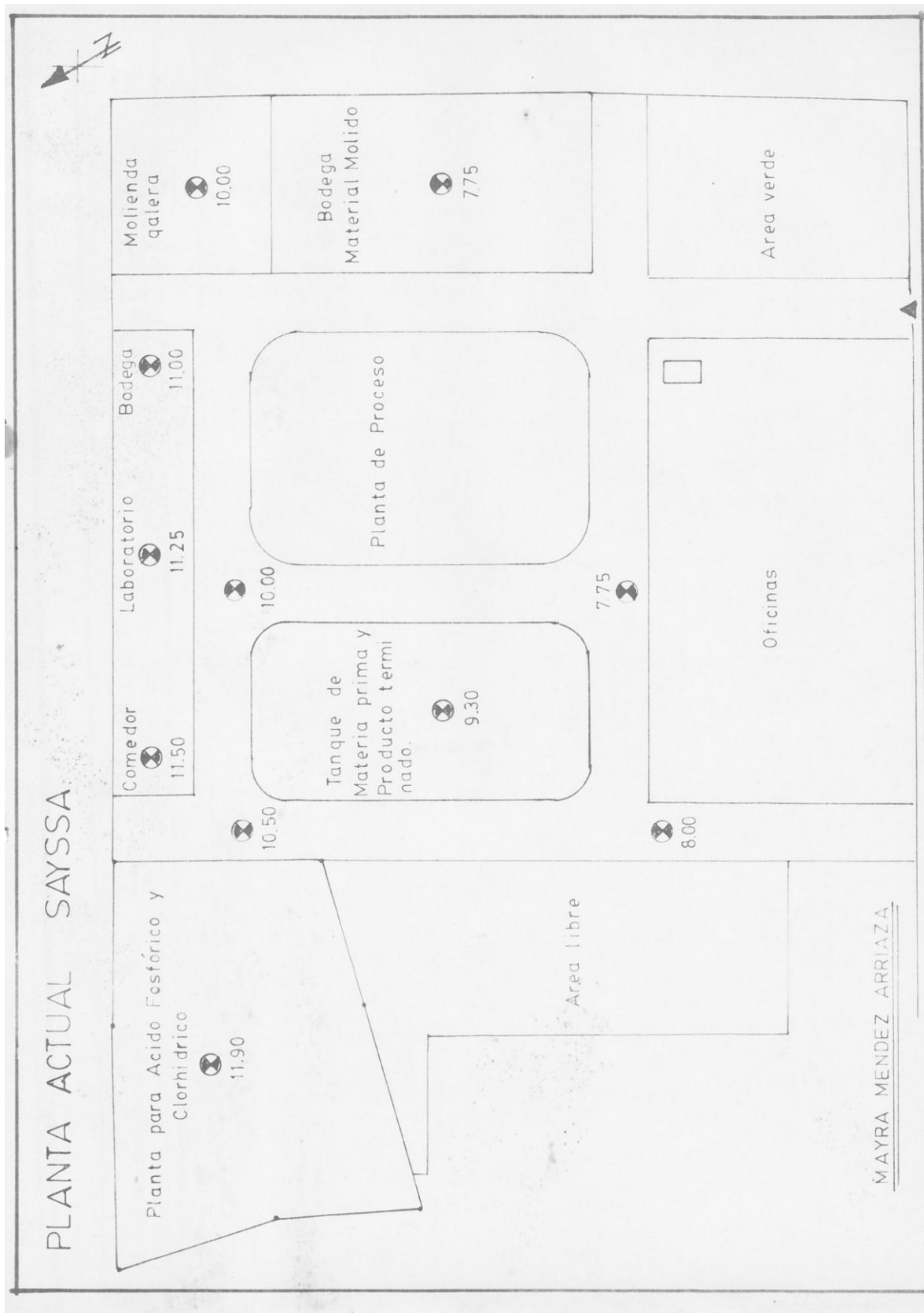
En las estadísticas presentadas en el estudio de mercado se encontró un precio aproximado de venta por kilogramo de zinc de 7.45 Q.

4.Energía Eléctrica. El consumo de energía eléctrica de la planta será de 930 000 Kw/hr mensual, equivalente a un consumo anual de 11 160 000 kW/hr.

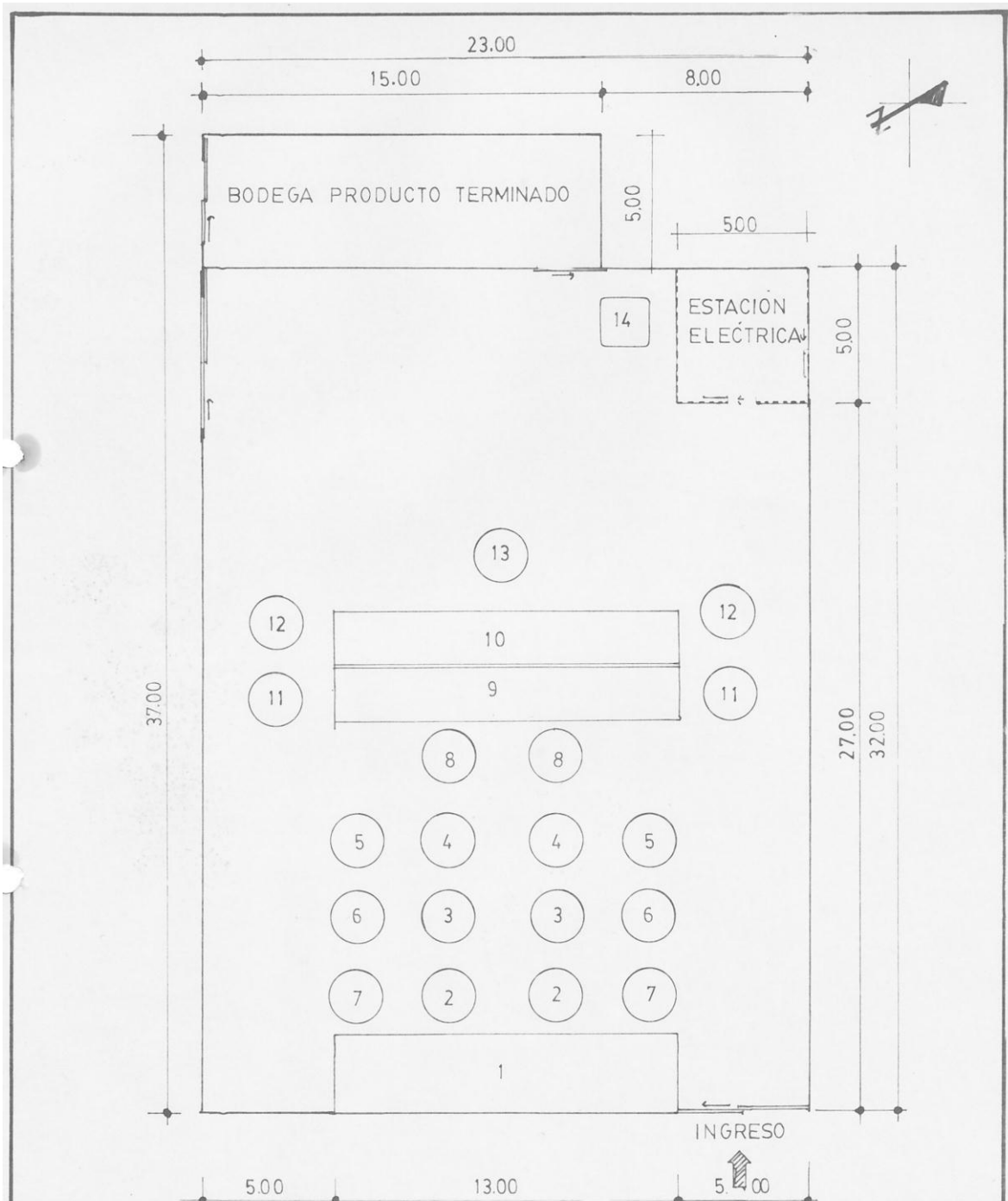
5.Agua. La planta se abastecerá de agua por medio del mismo sistema de distribución de agua con que cuenta la planta actual.

6. Diseño de la planta y su distribución en el terreno

La planta se ha diseñado en un terreno de 811 m² en un espacio libre con que cuenta la planta SAYSSA actualmente. El primer plano representa la actual distribución de la planta de producción de SAYSSA, seguido por el plano propuesto para este proyecto, así como la distribución de los procesos en la planta de zinc. La planta para la obtención de zinc metálico cuenta con un área de recepción de materia prima, entrada de camiones, bodega de materia prima, bodega de producto terminado, área de proceso, así como los demás servicios con los que cuenta la actual planta de SAYSSA, entre los cuales están: laboratorio, oficinas, cafetería, parqueo, garita de control y área de mantenimiento.



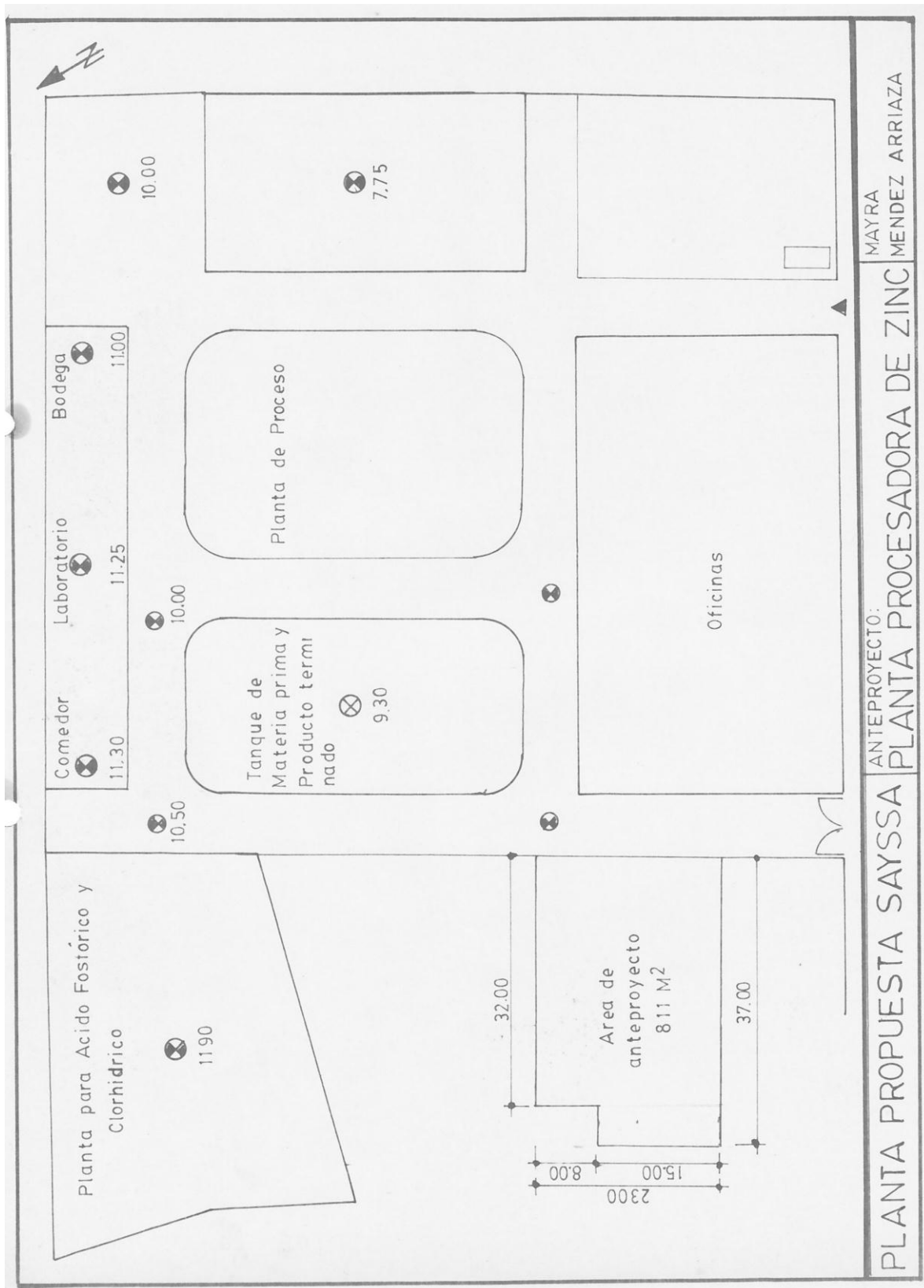
MAYRA MENDEZ ARRIAZA



ANTEPROYECTO.

811 Mts²

NOMENCLATURA	Mayra Méndez Arriaza	Escala	1.200
1 Molinos	6 Decantador 3.	11 Tanque solución agotada	
2 Lixiviación neutra	7 Filtro	12 Enfriamiento	
3 Decantador 1.	8 Tanque almacenamiento ZnSO ₄	13 Tanque almacenamiento H ₂ SO ₄	
4 Decantador 2.	9 Electrólisis 1.	14 Función	
5 Lixiviación ácida.	10 Electrólisis 2.	PLANTA PROCESADORA DE ZINC	



ANTEPROYECTO:
MAYRA MENDEZ ARRIAZA

PLANTA PROCESADORA DE ZINC

PLANTA PROPUESTA SAYSSA

7. Personal de producción. La planta de obtención de zinc, trabajara 24 horas diarias durante 26 días al mes, con 3 turnos rotativos, distribuidos de la siguiente manera:

- 1) Primer turno: 06:00 a.m. - 02:00 p.m.
- 2) Segundo turno: 02:00 p.m. - 10:00 p.m.
- 3) Tercer turno: 10:00 p.m. - 6:00 a.m.

En cada uno de los turnos se tiene el siguiente personal en planta:

- 1) Supervisor
- 2) Encargado de lixiviación y decantadores
- 3) Encargado de molienda y bodega P.T.
- 4) Encargado de electrólisis y el horno

Tabla 7. 9

Lista de personal

OPERACIÓN	TURNOS	No. DE TRABAJADORES
Mano de obra directa		
Total		9
Molienda y Bodega P.T.	3	3
Lixiviación	3	3
Electrólisis y fusión	3	3
Mano de obra indirecta		
TOTAL		
Supervisores	3	3

C.ESTIMACIÓN DEL COSTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE ZINC

El cálculo del costo de instalación de la planta se realizó en base a un costeo directo de los equipos a utilizar en el proceso, así como el edificio que se debe construir para dicho proyecto. Los métodos de la Viola, Williams y Zevnik-Bouchanan no se aplican a este tipo de proyecto, ya que interesa el costeo del área de producción de zinc metálico y no así de todas las demás instalaciones con que cuenta una planta. El uso de estos métodos para el costeo podría dar un dato elevado, lo cual podría aumentar la inversión, lo cual podrá aumentar la inversión inicial a realizarse.

Tabla 7. 10

Costo maquinaria y equipo

Equipo	Cantidad	Precio (Q)	Total (Q)
Lixiviación neutra			
Tanque de 8 metros cúbicos	2	8,622.00	17,244.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2	1,500.00	3,000.00
Agitador con motor 3 Hp 120 rpm	2	2,000.00	4,000.00
Decantación 1			
Tanque 9 metros cúbicos	2	9,526.50	19,053.00
Agitador con motor 3 Hp 10 rpm	2	2,000.00	4,000.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2	1,500.00	3,000.00
Bomba de desplazamiento pos 5 Hp	2	5,000.00	10,000.00
Decantación 2			
Tanque 7 metros cúbicos	2	7,717.50	15,435.00
Agitador con motor 3 Hp 10 rpm	2	2,000.00	4,000.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2	1,500.00	3,000.00
Bomba de desplazamiento pos 5 Hp	2	5,000.00	10,000.00
Lixiviación ácida			
Tanque de 8 metros cúbicos	2	8,622.00	17,244.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2	1,500.00	3,000.00
Agitador con motor 3 Hp 120 rpm	2	2,000.00	4,000.00
Decantación 3			
Tanque 8 metros cúbicos	2	8,622.00	17,244.00
Agitador con motor 3 Hp 10 rpm	2	2,000.00	4,000.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2	1,500.00	3,000.00
Bomba de desplazamiento pos 5 Hp	2	5,000.00	10,000.00
Purificación ZnSO4			
Equipo	Cantidad	Precio	Total
Tanque ZnSO4 6 metros cúbicos	2	6,795.00	13,590.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	2	1,500.00	3,000.00
Electrólisis			
Cubas 1.25 metros cúbicos	24	3,330.00	79,920.00
Cátodos	25	200.00	5,000.00
Ánodos	26	100.00	2,600.00
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	1	1,500.00	1,500.00
Almacenamiento H2SO4			
Tanque H2SO4 9 metros cúbicos	1	9,526.50	9,526.50
Bomba 1.5 Hp 3450 rpm	1	1,500.00	1,500.00
Sistema de enfriamiento	1	30,000.00	30,000.00
Filtración			
Filtro prensa capacidad 2000 lt/hr	4	50,000.00	200,000.00
Fusión			
Horno capacidad 10 Tm por día	1	100,000.00	100,000.00
Accesorios y tuberías			40,000.00
Transformador	1	152,500.00	152,500.00
Rectificador	1	3,240,625.00	3,240,625.00
Total			4,030,981.50

Tabla 7. 11**Costo inicial de la planta**

	Quetzales
Costo maquinaria y equipo	4,030,981.50
Costo edificio	500,000.00
Acometida luz eléctrica	100,000.00
Total	4,630,981.50

Tabla 7. 12**Inversiones en activo circulante**

	Quetzales
Caja y bancos	250,000.00
Inventario pache	755,083.56
Inventario de producto terminado	700,000.00
Cuentas por cobrar a 45 días	3,129,000.00
Total	4,834,083.56

Tabla 7. 13**Activo total**

	Quetzales
Inversión inicial	4,630,981.50
Total activo circulante	4,834,083.56
Activo total	9,465,065.06

Tabla 7. 14

ESTRUCTURA DE COSTOS PARA EL PRIMER AÑO DE OPERACIONES

CONCEPTO	QUETZALES
MATERIA PRIMA	
Pache	4,530,501.36
Ácido Sulfúrico	1,783,083.31
Óxido de manganeso	1,450,800.00
Floculante	70,509.63
Energía eléctrica para electrólisis	8,981,280.00
Total Materia Prima	16,816,174.30
MANO DE OBRA	
Sueldos	174,600.00
Prestaciones laborales (41.16%) *	71,865.36
Total Mano de Obra	246,465.36
GASTOS DE FÁBRICA	
Depreciación de Edificio (10%)	50,000.00
Depreciación de maquinaria y equipo (20%)	806,196.30
Energía eléctrica para la planta (sin electrólisis)	58,320.00
Reparaciones y mantenimiento	36,000.00
Seguros	20,000.00
Gastos administrativos adicionales	10,000.00
Total Gastos de Fábrica	980,516.30
COSTO TOTAL	18,043,155.96
COSTO UNITARIO DE PRODUCCION (kg)	5.37

D.INGRESOS PROYECTADOS

Los ingresos proyectados que generará la planta de zinc para el primer año son:

Tabla 7. 15

UNIDADES PRODUCIDAS (Kg.)	3,360,000.00
PRECIO PUESTO EN FÁBRICA	7.45 Q/kg
INGRESO TOTAL	25,032,000.00

E.UTILIDADES PROYECTADAS

Para el primer año de operaciones:

Tabla 7. 16

	Quetzales
VENTAS	25,032,000.00
COSTOS DE PRODUCCIÓN	18,043,155.96
Materia Prima	16,816,174.30
Mano de obra	246,465.36
Gastos de fábrica	980,516.30
UTILIDAD NETA	6,988,844.04
Impuestos (25% ISR)	1,747,211.01
UTILIDAD DESPUÉS DEL IMP.	5,241,633.03

F.RENTABILIDAD DEL PROYECTO

VALOR ACTUAL NETO

El Valor Actual Neto (VAN), es la suma algebraica de los flujos de caja, incluyendo la inversión, traídos a valor presente mediante una tasa de descuento seleccionada.

El valor presente de un proyecto viene dado por fórmula:

$$VP = S_1/(1 + i) + S_2/(1 + i)^2 + S_3/(1 + i)^3 \dots + S_n/(1 + i)^n$$

Donde:

VP = valor presente de los flujos netos del proyecto

$S_1, S_2, S_3 \dots S_n$ = Flujos netos del proyecto durante los 1, 2, 3... n

n = Años de vida del proyecto

i = Tasa de descuento ajustada al riesgo

Tabla de flujo de fondos

$$\begin{aligned}
 VP = & \frac{6,097,829.33}{(1 + 0.22)} + \frac{6,097,829.33}{(1 + 0.22)^2} + \frac{6,097,829.33}{(1 + 0.22)^3} + \\
 & \frac{6,097,829.33}{(1 + 0.22)^4} + \frac{6,097,829.33}{(1 + 0.22)^5} + \frac{5,291,633.03}{(1 + 0.22)^6} + \frac{5,291,633.03}{(1 + 0.22)^7} + \\
 & \frac{5,291,633.03}{(1 + 0.22)^8} + \frac{5,291,633.03}{(1 + 0.22)^9} + \frac{5,291,633.03}{(1 + 0.22)^{10}} = 23,068,707.60
 \end{aligned}$$

El VAN se calcula sustrayendo el costo de la inversión inicial del proyecto del valor presente. El resultado de este cálculo produce un monto estimado de dinero, el cual, si es positivo, indica que el proyecto debe aceptarse, si es negativo, el proyecto debe rechazarse, y si es cero, el proyecto es marginal y se es indiferente entre aceptarlo y rechazarlo.

$$\text{VAN} = \text{PV} - \text{INVERSIÓN INICIAL}$$

$$\text{En donde INVERSIÓN INICIAL} = \text{Activo Total}$$

$$\text{Inversión inicial} = 9,465,065.06$$

$$\text{VAN} = 23,068,707.60 - 9,465,065.06 =$$

$$13,603,642.53 > 0$$

Se tiene un VAN mayor a =, por lo que el proyecto debe aceptarse.

TASA INTERNA DE RETORNO

La TIR de un proyecto viene dada por la fórmula:

$$C = S_1/(1+r) + S_2/(1+r)^2 + S_3/(1+r)^3 \dots + S_n/(1+r)^n$$

donde:

C = Costo de la inversión inicial del proyecto

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ = Flujos netos del proyecto para los períodos 1, 2, 3... n

n = Años de vida del proyecto

r = TIR del proyecto

Al igual que el VP de los flujos futuros con la inversión, la TIR es la tasa que hace que el VAN del proyecto sea cero.

El criterio de aceptación o rechazo de proyectos consiste en comparar la TIR resultante con la tasa de descuento de la empresa usada en proyectos de inversión. Se acepta el proyecto

cuando la TIR es mayor que la tasa de descuento; se rechaza cuando es menor; y es indiferente cuando ambas son iguales.

$$9,465,065.06 = \frac{6,097,829.33}{(1+r)} + \frac{6,097,829.33}{(1+r)^2} + \frac{6,097,829.33}{(1+r)^3} +$$

$$\frac{6,097,829.33}{(1+r)^4} + \frac{6,097,829.33}{(1+r)^5} + \frac{5,291,633.03}{(1+r)^6} + \frac{5,291,633.03}{(1+r)^7} +$$

$$\frac{5,291,633.03}{(1+r)^8} + \frac{5,291,633.03}{(1+r)^9} + \frac{5,291,633.03}{(1+r)^{10}}$$

$$r = 0.6327$$

Se tiene que la TIR es de 63.27%, lo cual es mayor que el 22% utilizado en la empresa como criterio para la aceptación de proyectos, con lo cual se concluye que el proyecto desde el punto de vista económico debe ser aceptado.

G.TIEMPO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL

Con este término se refiere al tiempo necesario para pagar las inversiones acumuladas.

$$PT = \text{Inversión} / \text{Promedio de ingreso anual}$$

$$PT = 9,465,065.06 / 5,241,633.03 = 1.81 \text{ años}$$

H.PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio de las operaciones de un proyecto, es un indicador aceptable de su bondad económica, ya que éste relaciona el nivel de ventas programadas con los costos fijos y las variables que se estima tener para realizar estas ventas.

La proporción de los costos fijos dentro del costo total es un índice, muy importante prever para las posibilidades de desarrollo del proyecto. Desde el punto de vista de la empresa como unidad económica, el éxito de un proyecto está casi en relación inversa a la proporción de los costos fijos, ya que es evidente que un proyecto con altas cargas constantes tiene necesidad de grandes niveles de venta, tan solo para cubrir estas cargas. Al contrario, cuando la proporción de gastos variables es predominante, el proyecto requerirá menores volúmenes de venta para iniciar la acumulación de utilidades netas.

Tabla 7. 17

ESTRUCTURA DE COSTOS PARA EL PRIMER AÑO DE OPERACIONES

CONCEPTO	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE	COSTO TOTAL
Materia prima		16,816,174.3	16,816,174.3
Mano de obra directa		246,465.36	246,465.36
Gastos de fábrica	980,516.3		980,216.3
Total Materia Prima	980,516.3	17,062,639.66	18,043,155.96

$$\text{Punto de Equilibrio} = \text{C.F. total} / [1 - (\text{C.Var.}/\text{C.V.})]$$

$$\text{Punto de Equilibrio} = 980,516.30 / [1 - (17,062,639.66/25,032,000.00)]$$

$$\text{Punto de Equilibrio} = 3,079,831.13$$

El punto de equilibrio alcanzará cuando la planta llegue a un volumen de ventas de 413.40

Tm de zinc. Para este proyecto la ecuación del punto de equilibrio es:

$$C = 980,516.30 + 0.6816 X$$

VIII.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este trabajo se determinó la factibilidad para obtener zinc metálico a partir de mineral de zinc por medio de un proceso de electrólisis, lo cual conlleva cierto número de procesos de lixiviación y decantación para producir solución de sulfato de zinc al 34%. Esta solución es alimentada a las celdas electrolíticas, las cuales están colocadas en serie para dar un voltaje total de 84V.

La producción de zinc se determinó de acuerdo a un estudio de mercado, en donde se determinó que la producción sería de 280Tm de zinc mensuales, las cuales abastecería la demanda local de este producto así como el mercado centroamericano. Para el cálculo de las materias primas se asumió que un 1% de hierro es tratado en la lixiviación neutra.

Para determinar la localización de la planta, no se utilizó ningún método de ponderación, ya que SAYSSA cuenta con terreno disponible en su planta de proceso para la implementación del proyecto.

El proceso de obtención de zinc se diseñó en forma continua, en donde se inicia un nuevo batch cada 7 horas completándose el ciclo a las 35 horas, como se puede ver en el diagrama de operaciones (Anexo 3). Se trabajarán dos procesos simultáneos para obtener la cantidad necesaria de solución para la electrólisis y poder producir 280 Tm mensuales. Además este diseño permite trabajar únicamente con una línea de producción cuando los requerimientos de la planta así lo determinen. Los tanques fueron diseñados con un 25% de capacidad adicional para prever cualquier aumento inesperado de volumen debido a las reacciones exotérmicas que se llevan a cabo en dichos reactores. El costeo de los tanques se realizó tomando en cuenta como materia prima para la fabricación de éstos fibra de vidrio. Así mismo los agitadores también serán de fibra

de vidrio para evitar la corrosión debido al ácido. El ácido sulfúrico producido en la electrólisis se almacena en un tanque, en el cual se agrega ácido nuevo cada cierto tiempo para mantener la solución concentrada. El ácido restante se neutraliza y se desecha, ya que no puede comercializarse debido a las impurezas que éste pueda tener.

Para obtener mejores resultados en la sedimentación en los diferentes decantadores, se toma una mezcla 50:50 de los floculantes, la cual en la práctica funciona muy bien en procesos batch de producción de sulfato de zinc.

El costo inicial de la planta se realizó por medio de un costeo directo, para tener mayor exactitud en los datos. Con base en éste y al costo de producción por año, se determinó el precio de venta, con el cual se pudo calcular el Valor Actual Neto del proyecto, con el cual se aceptó el proyecto.

La planta está diseñada para trabajar al máximo de su capacidad, aunque al inicio de las operaciones se trabajará con una línea de producción mientras se expande el mercado del producto.

La recuperación del capital será en tres años y medio, aunque este período podría aumentarse al disminuir el programa de producción.

El proyecto utilizará al iniciar sus operaciones mineral Pache como materia prima y al agotarse esta reserva se utilizará mineral de Caquipec, el cual tiene una composición diferente a la del Pache (Anexo 2). Debido a la composición de este mineral se deberán hacer algunas modificaciones al proceso actual, para logra mejores resultados.

IX.CONCLUSIONES

- 1) La planta de obtención de zinc metálico es un proyecto rentable con una TIR de 63.27%.
- 2) El Valor Actual Neto en 10 años, descontando los flujos con una tasa de descuento del 22% es Q13,603,642.53 con lo cual el proyecto es aceptado.
- 3) El punto de equilibrio se alcanzará cuando las ventas lleguen a Q3,079,831.13.
- 4) La inversión total del proyecto es de Q. 9,465,065.06 dividido en un costo de la planta de Q. 4,630,981.50 y una inversión en activos circulantes de Q. 4,834,083.56.
- 5) La utilidad neta de las ventas después de impuestos es de Q. 5,241,633.03
- 6) El tiempo en el que se recuperará el capital es de 1.81 años.

X.RECOMENDACIONES

- 1) Continuar con el fomento de las explotaciones y exploraciones de mineral de zinc en Guatemala.
- 2) Cambiar la localización de los molinos para dar mayor facilidad en la alimentación de materia prima del proceso.
- 3) Extender el mercado de comercialización de zinc más allá de Centroamérica.

XI.BIBLIOGRAFÍA

1. Asturiana de Zinc, 1994. *Jornadas sobre Materias Primas de la Industria Cerámica*. España.
2. Cammarota, V.A. 1980. *Zinc in the Environment*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
3. Coronado, Martha. 1997. *Estudio de Factibilidad para la Industrialización de Manzana en Guatemala*.
4. Hayward, Carle R. 1995. *Metallurgical Practice*. D. Van Nostrand Company. 3ª. Edición, Canadá 728 pp.
5. Harwick, E.W. 1979. *Metals Handbook*. Baker Ed. 9a Edición, Ohio
6. Kirk-Othmer. 1984. *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley and Sons, 3a Edición, U.S.A. 24 v.
7. Loper, O. 1971. *Fundamentos de Corriente Continua*. Editorial Diana, 1ª edición, México. 370 pp.
8. McCabe W.; Smith J.; Harriott P. 1993. *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*. Editorial McGraw Hill, 4ª Edición, México. 1112 pp.
9. Merck Index. 1989. *Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals*. Merck and Co. Inc., 11 Edición, U.S.A. 1309 pp.
10. Perry R. 1984. *Chemical Engineers Handbook*. Editorial McGraw Hill, 6ª Edición U.S.A.
11. Rollason, E.C. 1973. *Metallurgy for Engineers*. Editorial Edward Arnold, 4ª edición, U.S.A. 448 pp.
12. Samans, Carl H. 1949. *Engineering Metals and Their Alloys*. The Macmillan Company, U.S.A. 913 pp
13. U.S.A. *Minerals Yearbook*. 1963. United States Department of Interior. 1307 pp.
14. Van Arsdale. 1953. *Hidrometalurgia de metales comunes*. Editorial Uteha. México. 381 pp.

XII.ANEXOS

Anexo 1

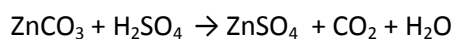
Requerimiento de materiales

Producción Zn mensual de 280 toneladas con 9% de pérdidas:

$$280 \text{ Tm} * 1.09 = 305.2 \text{ Tm Zn}$$

Lixiviación neutra:

Cálculo de la cantidad de mineral de Zinc (Pache)



$$305.2 \text{ Tm Zn} * \frac{1000 \text{ kg Zn}}{1 \text{ Tm Zn}} * \frac{1000 \text{ g Zn}}{1 \text{ kg Zn}} * \frac{1 \text{ mol Zn}}{65.38 \text{ g Zn}} * \frac{1 \text{ mol ZnSO}_4}{1 \text{ mol Zn}} * \frac{161.44 \text{ g ZnSO}_4}{1 \text{ mol ZnSO}_4}$$

$$* \frac{1 \text{ kg ZnSO}_4}{1000 \text{ g ZnSO}_4} * \frac{1 \text{ Tm ZnSO}_4}{1000 \text{ g ZnSO}_4} = 753.62 \text{ Tm ZnSO}_4$$

$$753.62 \text{ Tm ZnSO}_4 * \frac{1000 \text{ kg ZnSO}_4}{1 \text{ Tm ZnSO}_4} * \frac{1000 \text{ g ZnSO}_4}{1 \text{ kg ZnSO}_4} * \frac{1 \text{ mol ZnSO}_4}{161.44 \text{ g ZnSO}_4}$$

$$* \frac{1 \text{ mol Zn}}{1 \text{ mol ZnSO}_4} * \frac{1 \text{ mol ZnCO}_3}{1 \text{ mol Zn}} * \frac{125.38 \text{ g ZnCO}_3}{1 \text{ mol ZnCO}_3} * \frac{1 \text{ kg ZnCO}_3}{1000 \text{ g ZnCO}_3}$$

$$\frac{1 \text{ Tm ZnCO}_3}{1000 \text{ kg ZnCO}_3} = 585.29 \text{ Tm ZnCO}_3$$

$$585.29 \text{ Tm ZnCO}_3 * \frac{100 \text{ Tm Pache}}{71.6223 \text{ Tm ZnCO}_3} = 817.19 \text{ Tm Pache mensuales}$$

Cálculo del ácido sulfúrico

En la reacción neutra se ataca un 20% Zn (38.35% ZnCO₃)

ZnCO₃ que se ataca en el pache:

$$817.19 \text{ Tm} * 0.3835 = 313.39 \text{ Tm ZnCO}_3$$

Por estequiometría:

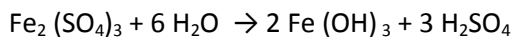
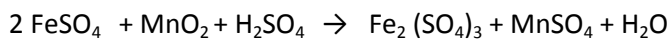
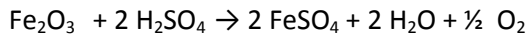
$$313.39 \text{ Tm ZnCO}_3 * \frac{98 \text{ kg H}_2\text{SO}_4}{125.38 \text{ kg ZnCO}_3} * \frac{100 \text{ kg H}_2\text{SO}_4}{98 \text{ kg H}_2\text{SO}_4} = 249.95 \text{ Tm H}_2\text{SO}_4$$

Cálculo de la cantidad de agua

$$313.39 \text{ Tm ZnCO}_3 * \frac{161.38 \text{ kg ZnSO}_4}{125.38 \text{ kg Zn}} = 403.37 \text{ Tm ZnSO}_4$$

Solución al 34%

$$403.37 \text{ Tm ZnSO}_4 * \frac{66 \text{ kg H}_2\text{O}}{34 \text{ kg ZnSO}_4} = 783.02 \text{ Tm H}_2\text{O totales}$$

Cálculo de la cantidad de MnO₂:**Se debe atacar un 1% de Fe₂O₃ en la lixiviación neutra:**

$$817.19 \text{ Tm Pache} * \frac{21.01 \text{ kg Fe}_2\text{O}_3}{100 \text{ kg Pache}} = 171.69 \text{ Tm Fe}_2\text{O}_3$$

$$171.69 \text{ Tm Fe}_2\text{O}_3 * 0.01 = 1.72 \text{ Tm Fe}_2\text{O}_3$$

Por estequiometria:

$$1.72 \text{ Tm Fe}_2\text{O}_3 \quad * \quad \frac{1 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3}{159.4 \text{ kg Fe}_2\text{O}_3} \quad * \quad \frac{2 \text{ mol FeSO}_4}{1 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3} \quad * \quad \frac{1 \text{ mol MnO}_2}{2 \text{ mol FeSO}_4}$$

$$* \quad \frac{86.94 \text{ kg MnO}_2}{1 \text{ mol MnO}_2} = 0.93 \text{ bTm MnO}_2 \text{ mensuales}$$

Cálculo de cátodos y número de cubas:

Para una línea de producción:

$$\begin{aligned} \text{Gd} &= 5.38 * 1.09 = 5.86 \text{ Tm} \\ \text{S} &= 495.35 \text{ m}^2 \\ \text{S}' &= 1.60 \text{ m} * 0.9 \text{ m} = 1.44 \text{ m}^2 \\ \text{S}_1 &= 0.85 \text{ m} * 1.44 * 2 = 2.448 \text{ m}^2 \\ \text{N} &= \frac{\text{S} = 495.35 \text{ m}^2}{\text{S}_1 \quad 2.448 \text{ m}^2} = 202.35 \text{ piezas} \\ \text{S}_2 &= \frac{27400 \text{ A}}{450 \text{ A/m}^2} = 60.89 \text{ m}^2 \\ \text{N}_1 &= \frac{\text{S}_2 = 60.89 \text{ m}^2}{\text{S}_1} = 24.87 \equiv 25 \text{ piezas} \end{aligned}$$

Se supone que una cuba contiene 25 cátodos y 26 ánodos

$$\text{Nt} = \frac{\text{S} = 195.35 \text{ m}^2}{\text{S}_2 \quad 60.89 \text{ m}^2} \equiv 8 \text{ cubas}$$

Cada línea de producción tiene 8 cubas en la primera electrólisis y 4 en la segunda, lo que da un total de 24 cubas. Cada cuba consume 3.5 voltios, las cuales utilizan un voltaje de 84 al ser conectadas en serie.

Cálculo de la Energía Eléctrica:

Para la electrólisis se requieren 3300 KWh/Tm de zinc por lo que:

$$3300 \frac{\text{KWh}}{\text{Tm zinc}} + 280 \text{ Tm zinc} = 924 \text{ 000 KWh mensuales}$$

En un año se tiene:

$$924\,000 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} + 0.81 \text{ Q} * 12 \text{ meses} = 8,981,280.00 \text{ Q}$$

En la fábrica se consumirán aprox. 6000 KWh mensuales por concepto de motores y alumbrado en general por lo que en un año se consumirán 72000 KWh, lo que equivale a 58,320.00 Q.

Cálculo del floculante

En la primera decantación se utilizarán 590 lt. de floculante en cada línea de producción por lo que en total se ocuparán 1180 lt. en un batch de producción.

En la segunda decantación se utilizarán en total 912 lt floculante por batch.

Decantación 1 + Decantación 2 = 2092 lt floculante

$$2092 \text{ lt floculante} * \frac{0.98 \text{ kg floc.}}{1 \text{ lt. Floc.}} * \frac{0.1 \text{ kg floc. Puro}}{1000 \text{ kg floc.}} = 2.05 \text{ kg floc. puro}$$

Trabajando 26 días al mes y tomando que cada batch empieza cada 7 horas se tiene:

$$2.05 \frac{\text{kg floc puro}}{\text{batch}} * \frac{89 \text{ batch}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 2.1894 \text{ Tm floculante}$$

Costo unitario materia prima

Quetzales		
Material	Unidad	Costo sin IVA
Mineral Pache	Quintal	21.00
Ácido sulfúrico al 98%	Tm	594.48
Óxido de manganeso	Kg	130.00
Floculante F-502	Kg	36.70
Floculante F-28	Kg	27.71
Energía Eléctrica	KWh	0.81

Anexo 2

Análisis de Zinc en Mineral Molido

(Pache)

Procedimiento a seguir para la determinación del contenido de Zn en mineral molido (Pache):

1. Pesar 0.66 gr de mineral molido (Pache) y colocarlos en un beaker de 250 ml
2. Agregar 20 ml. de Agua Regia para evaporar.
3. Disolver el residuo que queda en el beaker con 50 ml. de agua desmineralizada y filtrar, lavando bien el beaker con 25 ml más de agua desmineralizada.
4. Lavar el filtrado con 50 ml de agua desmineralizada en caliente.
5. Agitar vigorosamente; medir el volumen total (Vt). Tomar una alícuota de 1 ml. De la muestra y colocarlos en un Erlenmeyer de 250 ml.
6. Agregar 50 ml de agua desmineralizada, y 25 ml de solución Buffer pH = 10.
7. Agregar 0.05 gr de indicador Negro de Ericromo T y titular con una solución 0.01 N de Sal Disódica de EDTA, hasta un cambio de color de un rojo púrpura a un celeste intenso.

Cálculos

$$\% \text{ Zn} = (\text{Factor Zn}) * \text{ml. EDTA} * \text{Vt} / \text{Peso Muestra} * 100$$

Donde:

- % Zn = Porcentaje de Zn a determinar en el mineral
Factor Zn = Constante que cambia de valor cada vez que se prepara una sol. De EDTA
ml. EDTA = Mililitros de EDTA gastados en la titulación
Vt = Volumen total de la muestra, en ml

Determinación del Factor Zinc

El factor Zn es la relación molecular entre la sal del EDTA y las moléculas de zinc que forman complejos como éste, se determina de la siguiente forma:

- Pesar una cantidad de 0.33 gr de Zn electrolítico (Zn al 99.291%) y disolver en 5 ml de ácido clorhídrico concentrado, agitando constantemente, hasta que se disuelva completamente.
- La solución anterior se disuelve con 150ml de agua desmineralizada.
- Se agregan a la solución del inciso anterior aproximadamente 50 ml. de solución Buffer pH = 10 y se verifica este valor.
- Agregar a la muestra 0.05 gr de indicador Negro de Ericromo T.
- Titular la muestra con la solución de la sal disódica de EDTA recién preparada.
- El factor de Zn, se determina entonces mediante la fórmula:

Factor de Zn = 0.99291 * 0.033 g Zn/ ml EDTA gastados

Donde:

0.99291 = Pureza del zinc electrolítico
 0.33 = Zinc electrolítico pesado
 ml. EDTA gast. = Volumen de EDTA gastado en la titulación

- También se puede calcular la concentración de la solución de EDTA de la siguiente forma:

N = 1 meq / ml. EDTA gastados

Donde:

N = Concentración de la sol de EDTA expresada en Normalidad
 ml. EDTA = Volumen de EDTA gastado en la titulación
 (Es el mismo volumen utilizado en la titulación para calcular el factor de Zn)
 1 meq = Es un valor constante, utilizado para expresar la concentración de Normalidad

Análisis del Mineral de Caquipec

El análisis que se presenta a continuación se realizó en el MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA.

Los resultados del Análisis realizado a una muestra de **mineral de Caquipec** y efectuado por monitoreo de elementos por medio de XRF, son los siguientes:

ZnCO ₃	=	88.5895%
CaCO ₃	=	0.7536%
Mg CO ₃	=	-----
Al ₂ CO ₃	=	3.4101%
Fe ₂ CO ₃	=	0.9634 %
Si O ₂	=	13.8804%
S	=	0.4026%

Análisis del Mineral de Pache del Torlón

El análisis que se presenta a continuación se realizó en el MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA.

Los resultados del Análisis realizado a una muestra de **mineral de molido (Pache)** y efectuado por monitoreo de elementos por medio de XRF, son los siguientes:

ZnCO_3 = 71.6223%

PbO = 2.8177%

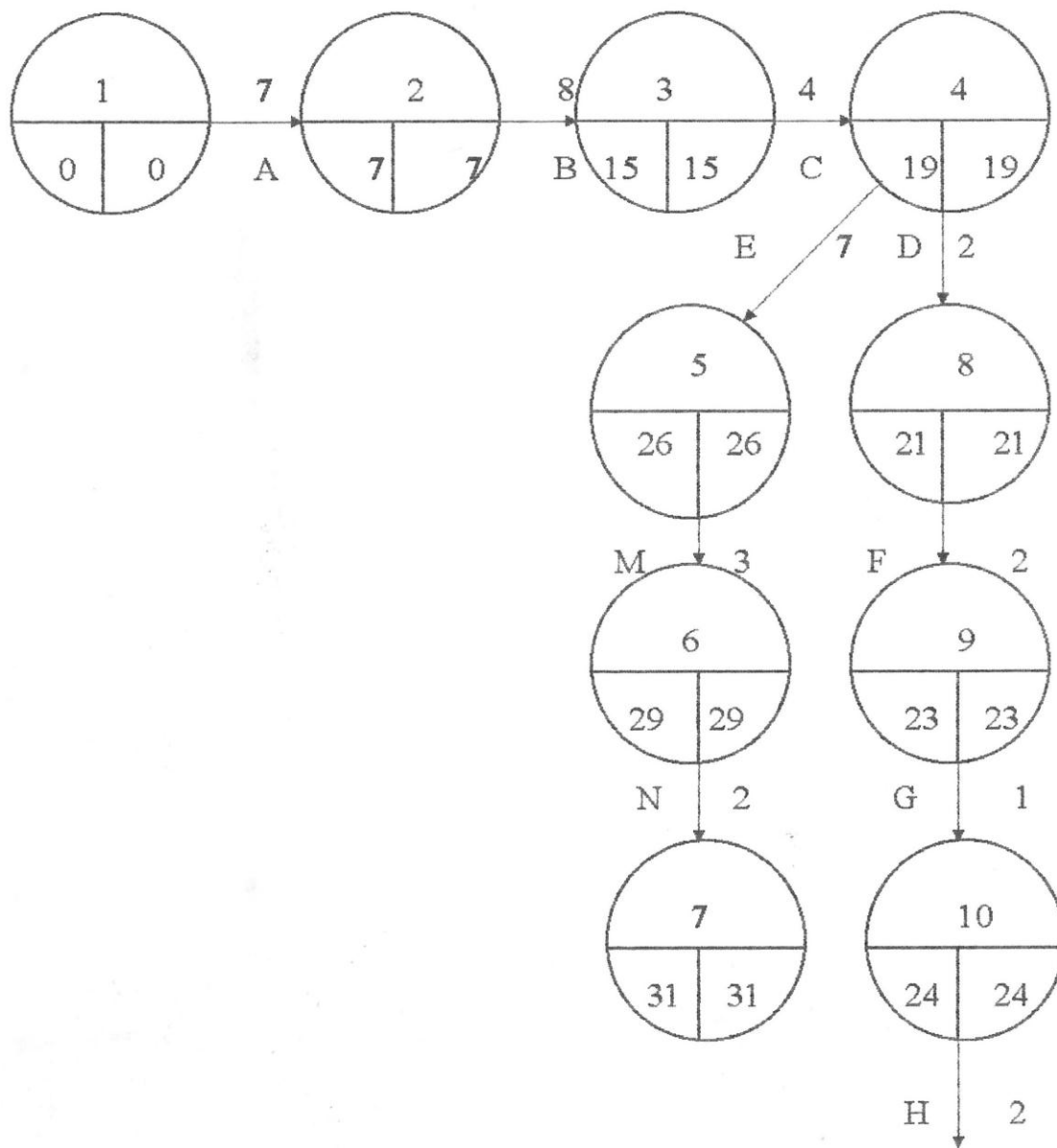
MnO = 0.3403%

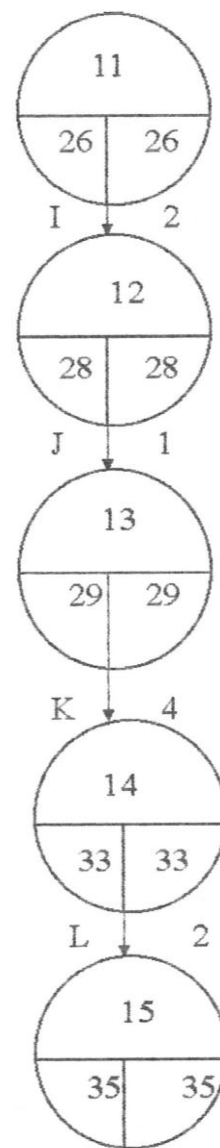
CaCO_3 = 4.2098%

Fe_2O_3 = 21.0100 %

Anexo 3

DIAGRAMA DEL PROCESO





	Actividades	Duración	Dependencia
A	Lixiviación Neutra	7	-----
B	Decantación 1	8	A
C	Decantación 2	4	B
D	Almacenamiento ZnSO ₄	2	C
E	Lixiviación Ácida	7	C
F	Electrólisis 1	2	D
G	Almacenamiento de sol. agotada	1	F
H	Enfriamiento	2	G
I	Electrolisis 1	2	H
J	Almacenamiento de sol. agotada	1	I
K	Electrólisis 2	4	J
L	Almacenamiento H ₂ SO ₄	2	K
M	Decantación 3	3	E
N	Filtración	2	M

