



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.**

Autores:
COUSIÑO, Rolando
HERNÁNDEZ, Douglas

Valencia, febrero de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.**

Ing. Ixmit López
Tutor Académico

Lic. Chady Makarem
Tutor Industrial

Autores:
COUSIÑO, Rolando
HERNÁNDEZ, Douglas

Valencia, febrero de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.**

*TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO*

Autores:

COUSIÑO A., Rolando A.

HERNÁNDEZ V., Douglas A.

Valencia, febrero de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.”**, realizado por los bachilleres Rolando A. Cousiño A., C.I. 16.154.884 y Douglas A. Hernández V., C.I. 17.776.687, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su calidad y forma de presentación.

Prof. Ixmit López
Presidente

Prof. Evelyn Yamal
Jurado

Prof. Carlos Hernández
Jurado

Valencia, febrero de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



VEREDICTO

Los miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.”**, realizado por los bachilleres Rolando A. Cousiño A., C.I. 16.154.884 y Douglas A. Hernández V., C.I. 17.776.687, hacen constar que han revisado y aprobado dicho trabajo, dando como veredicto:

NOTA

Valencia, febrero de 2008

AGRADECIMIENTOS

Por medio de la presente expresamos nuestra mayor muestra de gratitud a todas las personas y entes que hicieron posible la realización de este trabajo y que contribuyeron en la culminación de esta etapa tan importante para nuestra formación personal y académica.

*A **Dios Todopoderoso**, quien ha sido, es y será nuestra guía en todos los momentos de nuestras vidas.*

*A la empresa **Feldespatos Procesados**, especialmente al Sr. Chady Makarem y Carlos Solorza, por habernos abierto las puertas de la misma para el desarrollo del trabajo y por ofrecernos parte de su tiempo y conocimientos en lo relacionado al sistema productivo.*

*Al personal docente de la **Universidad de Carabobo**, quienes nos ilustraron sus conocimientos, contribuyendo a nuestra formación como Ingenieros Químicos, y quienes agradecemos por toda la atención y dedicación brindada.*

*Al **Ing. Luis Arrechider** y a nuestros **Tutores Industrial y Académicos**, quienes nos brindaron la orientación que hizo posible el desarrollo de este trabajo y cuya colaboración representó un pilar importante para el logro de esta meta de nuestra vida.*

*A nuestros **amigos más cercanos y compañeros de estudio**, quienes nos brindaron su apoyo y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.*

*A nuestros **padres y hermanos**, a quienes agradecemos por todo el apoyo y cariño brindado durante todo nuestro desempeño y formación como estudiantes y seres humanos.*

A todos ellos... ¡muchísimas gracias!

DEDICATORIA

“Deben encontrarlo difícil... Aquellos que han tomado la autoridad como la verdad, en vez de la verdad como la autoridad”

Gerald Massey

En primer lugar dedicamos este trabajo especial de grado a Dios, por darnos el entendimiento y la fuerza necesaria durante los cinco años de carrera; a nuestros padres, que estuvieron cerca durante los momentos más difíciles y por sus palabras de apoyo. A nuestro amigo y compañero de tesis, con el que vivimos las cosas buenas y malas, estos últimos meses de nuestra carrera.

Finalmente, a nosotros mismos por el empeño y el cumplimiento de nuestras metas propuestas.

SUMARIO

El presente trabajo especial de grado tuvo como objetivo principal la evaluación del proceso de producción de feldespatos con la finalidad de proponer mejoras en las condiciones operativas de la empresa Feldespatos Procesados C.A.

En el marco del desarrollo de la metodología llevada a cabo se evaluaron las variables involucradas con el sistema productivo de feldespatos, entre las cuales destacan: flujo másico de material, producción de feldespatos en sus diversas presentaciones, humedad en la entrada y salida del secador rotatorio, así como también durante el despacho del producto terminado, granulometría del producto a lo largo de la línea de producción y acumulación de material entre las distintas etapas de producción.

Para el tratamiento de las variables experimentales se emplea un balance de materia en el sistema productivo, para estimar el rendimiento másico del mismo en función de la materia que se alimenta. Además, se analizan los puntos donde se presenta la mayor acumulación de material, tomando como volumen de control los equipos involucrados; por otro lado, se emplean conocimientos de molienda de mineral y transferencia de masa y energía para el diseño de equipos, análisis de causas y efectos y de evaluación económica para ser aplicadas a un plan de mejora.

El desarrollo de este trabajo especial de grado se realizó en la planta de Feldespatos Procesados C.A., ubicada en el municipio Falcón de la ciudad de Tinaquillo, estado Cojedes, donde se observó y estudió el sistema productivo de feldespatos y de sus diversas presentaciones, los equipos que conforman el proceso y las características físicas del producto terminado. Entre las etapas principales se encuentra la trituración primaria, la cual involucra una trituradora de mandíbula y un molino de cono trabajando en circuito cerrado con un sistema de cribas que permite obtener un producto de granulometría manejable de $\frac{3}{4}$ ". También se halla un secador rotatorio requerido para el control de la humedad del producto que alimenta a un molino Barmac B7000, el cual tritura el material hasta una granulometría de 25 malla Tyler, trabajando en circuito cerrado con un sistema de cribas.

La metodología empleada para la realización de cada uno de los objetivos se describe en el capítulo IV. El rendimiento másico del sistema productivo se determina mediante un balance de masa aplicado a un volumen de control que engloba todas las etapas de producción, considerando la cantidad de materia que entra y sale. Por otro lado la determinación de los flujos de materia se obtuvieron registrando los camiones que ingresan material desde la mina y los que transportan producto hacia las empresas consumidoras. La evaluación experimental de cada una de las variables se llevó a cabo durante cuatro semanas continuas.

Entre los principales resultados obtenidos se puede destacar que la eficiencia másica de la empresa para el mes de estudio es de $(45,6 \pm 0,1)\%$, presentado un acumulado mensual de material que no se logra procesar de $(10018 \pm 1)TM$, por lo que es necesario el reemplazo de los equipos que presentan limitaciones en su capacidad (secador rotatorio y del molino Barmac serie B7000), por otros que permitan procesar todo este material.

Se puede concluir que para el mes de estudio, la empresa Feldepatos Procesados C.A. mantiene una producción mensual de $(8426 \pm 1)TM$ respecto a un material total bajado de la mina de $(18465 \pm 1)TM$, lo que indica un material acumulado de $(10018 \pm 1)TM$, lo que representaría una ganancia anual de M\$ 7100 si fuera procesado y no se dejara acumular. Es por ello que se requiere de una inversión de M\$ 13150 para la implementación de una alternativa de molienda en vía húmeda (con una relación beneficio-costos de 2,244 y V.P.N de M\$ 355049,93) y de M\$ 8953 para la de molienda en base seca (con una relación beneficio-costos de 2,408 y V.P.N. de M\$ 374575,78), siendo esta última la más factible técnica y económicamente para el aprovechamiento del material acumulado mensualmente.

Como recomendaciones se plantea la incorporación de un sistema de mangas telescópicas, para reducir el impacto ambiental y de salud durante la carga de material en el despacho del producto terminado; y por otra parte, se recomienda la implementación de los programas de mejora propuestos para la problemática estudiada.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los feldespatos han llegado a ser de gran importancia como materia prima en la industria de vidrio, cerámica, goma, pinturas, esmaltes y plásticos. Los feldespatos son grupos de minerales constituyentes fundamentalmente de las rocas ígneas, aunque pueden encontrarse en cualquier tipo de roca. Los feldespatos corresponden a los silicatos de aluminio y de calcio, sodio o potasio, o mezclas de esas bases. Venezuela posee grandes yacimientos importantes en los estados Cojedes, Barinas, Táchira, Mérida y Trujillo, pero la producción comercial de feldespato, se realiza sólo en los estados Cojedes y Barinas.

El presente trabajo especial de grado tiene como propósito la evaluación del proceso de producción de feldespato de la empresa Feldespatos Procesados C.A., con la finalidad de proponer alternativas de mejora a los problemas encontrados.

Esta investigación tiene como soporte conocimientos de balances de masas, transferencia de masa y calor, molienda de mineral, análisis de causas y efectos, costo-beneficio y de rentabilidad, aplicado a un plan de mejora.

Para el desarrollo de este trabajo, inicialmente se determina el rendimiento másico del sistema productivo de la planta, para luego determinar los equipos y/o etapas críticas que influyen en el proceso de producción. Las causas que originan cada problema son analizadas mediante el uso del Diagrama de Ishikawa, para finalmente establecer planes de mejoras con el propósito de garantizar una mayor eficiencia y aprovechamiento de los recursos disponibles, sujetos a un análisis de la relación de costo-beneficio y de rentabilidad.

Con el fin de lograr una comprensión de la evaluación desarrollada, el trabajo se estructura en siete capítulos. En el primero se exhibe la presentación y formulación del problema, es decir, la situación analizada, objetivos en los cuales se fundamenta la investigación, así como también las razones que la justifican y sus limitaciones. El segundo capítulo comprende las bases teóricas en las cuales se fundamenta la investigación desarrollada. El capítulo III contempla información detallada de la

empresa evaluada, así como también de cada una de las etapas en las cuales se estructura el proceso productivo. Seguidamente, se describe la metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo, haciendo referencia a los principales modelos matemáticos utilizados para la evaluación técnica de los equipos involucrados en la problemática planteada. A continuación en el capítulo V, se muestra el análisis de los resultados obtenidos: en el rendimiento másico de la planta, despacho de los productos terminados y en la acumulación de material, en donde para esta última se plantean alternativas sobre la tecnología empleada en las secciones de secado y molienda.

Posteriormente en el capítulo VI, se realiza un análisis de la relación costo-beneficio y de rentabilidad a los programas de mejora propuestos, para luego realizar una matriz de selección, en donde se jerarquizan las alternativas planteadas. Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas a partir de los resultados de la investigación desarrollada y se proporcionan algunas recomendaciones para la empresa en lo referente al proceso productivo y equipos empleados en la planta. Adicionalmente, se presentan diferentes apéndices que complementan la información proporcionada en cada uno de los capítulos mencionados anteriormente.

El conocimiento de las condiciones de proceso del sistema productivo de feldespatos es de gran importancia para la empresa Feldespatos Procesados C.A. ya que éstas permiten dar a conocer el estado operativo actual de la planta, indicándose la importancia de operar con equipos que se ajusten a las condiciones actuales y que permitan el aprovechamiento de todo el material procesado, de una manera eficiente y eficaz, debido a que los equipos actuales ocasionan acumulaciones en las líneas de producción.

ANEXOS



Figura anexo 1: Material ¾" (piedra picada) enviado a la sección de secado y molienda



Figura anexo 2: Acumulación de material ¾" previo a la sección de secado



Figura anexo 3: Sección de trituración primaria



Figura anexo 4: Secador Rotatorio operando actualmente en la sección de secado



Figura anexo 5: Molino Barmac serie B7000 instalado en la sección de molienda



Figura anexo 6: Apilador Radial de la sección de molienda



Figura anexo 7: Lecho Fluido instalado en la sección de clasificación



Figura anexo 8: Área de carga de los camiones transportadores del producto final

APÉNDICES

A continuación se presentan los datos experimentales recolectados, así como también los cálculos típicos y el material bibliográfico de apoyo empleado (tablas y figuras) durante el dimensionamiento de los equipos principales que conforman el proceso de producción.

APENDICE A. DATOS EXPERIMENTALES

TABLA A.1.
MATERIAL BAJADO DE LA MINA CON DESTINO AL TRITURADOR PRIMARIO

Fecha	N ° de Viajes	Bajado de la mina (TM)
01/06/2007	6	172
07/06/2007	44	1449
08/06/2007	52	1725
09/06/2007	9	356
10/06/2007	14	554
11/06/2007	48	1716
12/06/2007	34	1111
13/06/2007	26	836
14/06/2007	37	1322
15/06/2007	42	1478
16/06/2007	17	673
18/06/2007	26	1030
19/06/2007	32	1141
20/06/2007	21	806
21/06/2007	30	1062
22/06/2007	21	832
27/06/2007	14	400
28/06/2007	18	653
29/06/2007	16	458
30/06/2007	19	690
Total	526	18465

TABLA A.2.
MATERIAL VENDIDO A LA INDUSTRIA DE LA CERÁMICA

Fecha	Destino	Placa del camión	Material vendido (TM)
01/06/2007	LAJA	205-TVH	10
01/06/2007	ZONA INDUSTRIAL (FORTICA)	VAN-355	15,7
01/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	89S-OAD	37,4
01/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	69H-KAO	34,6
01/06/2007	LAJA	205-TVH	9,9
01/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	440-BAN	38,3
01/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	82V-GBA	36,7
01/06/2007	ZONA INDUSTRIAL (FORTICA)	VAN-355	15,7
01/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	35Y-KAN	41,1
04/06/2007	ZONA INDUSTRIAL (FORTICA)	355-VAN	15,7
05/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	52B-SAL	34,2
05/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	38,6
05/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	39H-IAA	34,1
05/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	244-XIP	41,3
06/06/2007	ZONA INDUSTRIAL (FORTICA)	355-VAN	15,7
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26K-XAS	37,8
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	65B-SAL	38,1
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	82V-GBA	36,5
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	69H-KAO	32,5
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	89S-OAD	36,7
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	52B-SAL	32,9
06/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	44D-BAN	37,1
07/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	70R-BAF	29,6
07/06/2007	CARIBE CHIVACOA	82Y-GBA	32,0
07/06/2007	CARIBE CHIVACOA	69H-KAO	31,3
07/06/2007	CARIBE CHIVACOA	89S-OAD	32,8
08/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	98S-OAD	36,7
08/06/2007	CARIBE CHIVACOA	44D-BAN	30,8
08/06/2007	CARIBE CHIVACOA	80X-DAT	38,6
08/06/2007	CARIBE CHIVACOA	98N-DAS	37,6
08/06/2007	CARIBE CHIVACOA	40Y-DAT	36,4
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	16U-DAJ	34,9
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	42,4
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	38,9
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	244-XIP	41,2
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	37,8
08/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	65B-SAL	32,6
08/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	82Y-GBA	38,4
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	36N-AAP	34,8
08/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	44D-BAN	38,3
08/06/2007	CARIBE CHIVACOA	40Y-DAT	36,9
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	39,3

TABLA A.2.
MATERIAL VENDIDO A LA INDUSTRIA DE LA CERÁMICA (Continuación)

Fecha	Destino	Placa del camión	Material vendido (TM)
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	244-XIP	39,1
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	41,9
08/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	36N-AAP	35,8
11/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	91J-HAB	29,1
11/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	70R-BAF	24,5
11/06/2007	ZONA INDUSTRIAL (FORTICA)	355-VAN	15,7
11/06/2007	LAJA	120-HAB	9,9
11/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	91J-HAB	26,1
11/06/2007	CARIBE CHIVACOA	40Y-DAT	36,0
11/06/2007	CARIBE CHIVACOA	80X-DAT	35,0
11/06/2007	CARIBE CHIVACOA	98N-DAS	33,9
11/06/2007	CARIBE CHIVACOA	82V-GBA	27,9
11/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	89S-OAD	35,6
11/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	39H-KAO	36,0
11/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	33,9
11/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	39H-IAA	31,6
12/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	490-XBZ	31,6
12/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	70R-BAF	27,6
12/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	16A-KAH	24,4
12/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	598-SAJ	25,9
12/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	36L-HAB	33,9
12/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	91J-HAB	26,7
12/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	588-ADB	37,5
12/06/2007	CARIBE CHIVACOA	82V-GBA	33,9
12/06/2007	CARIBE CHIVACOA	80X-DAT	37,9
12/06/2007	CARIBE CHIVACOA	40Y-DAT	36,4
12/06/2007	CARIBE CHIVACOA	98N-DAS	33,9
12/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	38,0
12/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	39H-IAA	33,8
12/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	26X-KAS	41,4
12/06/2007	CARIBE CHIVACOA	82V-GAB	30,8
13/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	70R-BAF	28,2
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	94N-DAS	36,2
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	85X-DAT	38,6
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	59G-YAO	34,4
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	58B-KAT	36,5
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	82V-GAB	33,1
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	69H-KAO	30,2
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	985-OAD	31,0
13/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	144-GBX	34,2
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	40Y-DAT	36,4
13/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	16A-KAH	24,5

TABLA A.2.
MATERIAL VENDIDO A LA INDUSTRIA DE LA CERÁMICA (Continuación)

Fecha	Destino	Placa del camión	Material vendido (TM)
13/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	598-SAJ	25,6
13/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	91J-HAB	24,3
13/06/2007	CARIBE CHIVACOA	80X-DAT	35,0
13/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	39,2
13/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	39H-IAA	31,2
13/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	41,7
13/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	82V-GAB	37,5
14/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	89S-OAD	34,7
14/06/2007	LAJA	205-GBH	9,9
14/06/2007	CARIBE CHIVACOA	59G-YAO	38,4
14/06/2007	CARIBE CHIVACOA	58B-KAT	39,5
14/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	70R-BAF	28,2
14/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	82V-GAB	38,1
14/06/2007	Cerámicas Carabobo Florida	91J-HAB	24,2
14/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	89S-OAD	35,6
14/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	69H-KAO	38,4
15/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	26X-KAS	51,4
15/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	82V-GAB	37,4
15/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	44,1
15/06/2007	BARCELONA SAN MARINO	35Y-KAN	42,8
15/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	39H-IAA	31,2
18/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	41,5
18/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	39,9
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	59G-DAO	38,1
18/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	44,5
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	53X-DAT	37,4
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	60K-MAS	39,5
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	06I-DAT	38,3
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	85X-DAT	40,3
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	84X-DAT	38,2
18/06/2007	CARIBE CHIVACOA	51M-DAE	38,1
19/06/2007	LAJA	52U-GBD	9,9
19/06/2007	CARIBE CHIVACOA	87T-DAB	37,8
19/06/2007	CARIBE CHIVACOA	64V-DAB	41,1
19/06/2007	CARIBE CHIVACOA	59G-DAO	37,9
19/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	42,1
19/06/2007	CARIBE CHIVACOA	80X-DAT	37,8
19/06/2007	CARIBE CHIVACOA	98N-DAS	35,2
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	84X-DAT	38,2
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	51M-DAE	38,0
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	60K-MAS	39,1
20/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	53X-DAT	36,4

TABLA A.2.
MATERIAL VENDIDO A LA INDUSTRIA DE LA CERÁMICA (Continuación)

Fecha	Destino	Placa del camión	Material vendido (TM)
20/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	06I-DAT	34,6
20/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	41,8
20/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	43,3
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	59G-DAO	31,4
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	58D-KAT	36,5
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	87T-DAB	38,0
20/06/2007	CARIBE CHIVACOA	64V-DAB	37,3
20/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	39,6
21/06/2007	CARIBE CHIVACOA	94N-DAS	36,2
21/06/2007	CARIBE CHIVACOA	85X-DAT	40,3
21/06/2007	CARIBE CHIVACOA	53X-DAT	37,2
21/06/2007	CARIBE CHIVACOA	06I-DAT	34,6
21/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	42,9
21/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	42,6
21/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	42,6
22/06/2007	CARIBE CHIVACOA	52B-SAL	34,2
22/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	588-ABD	37,2
22/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	17W-FAA	44,1
22/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	35Y-KAN	42,5
22/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	42,7
22/06/2007	CARIBE CHIVACOA	52B-SAL	32,7
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	52B-SAL	33,6
25/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	244-XIP	43,3
25/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	42,0
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	85X-DAT	40,0
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	94N-DAS	42,2
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	53X-DAT	37,0
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	06I-DAT	34,1
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	87T-DAB	38,6
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	97R-DAB	38,9
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	81R-DAB	38,7
25/06/2007	CARIBE CHIVACOA	64V-DAB	39,2
26/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	43,2
26/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	244-XIP	43,8
26/06/2007	CARIBE CHIVACOA	52B-SAL	32,7
26/06/2007	CARIBE CHIVACOA	11R-DAY	39,1
26/06/2007	CARIBE CHIVACOA	90J-VAH	38,6
26/06/2007	CARIBE CHIVACOA	51M-DAE	38,0
26/06/2007	CARIBE CHIVACOA	94N-DAS	41,6
27/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	244-XIP	42,9
27/06/2007	VIZCAYA YARITAGUA	26X-KAS	42,7
28/06/2007	CARIBE CHIVACOA	87T-DAB	37,8

TABLA A.2.
MATERIAL VENDIDO A LA INDUSTRIA DE LA CERÁMICA (Continuación)

Fecha	Destino	Placa del camión	Material vendido (TM)
28/06/2007	CARIBE CHIVACOA	97R-DAB	38,1
28/06/2007	CARIBE CHIVACOA	81R-DAB	38,2
28/06/2007	CARIBE CHIVACOA	64V-DAB	39,0
Total			6013,05

TABLA A.3.
MATERIAL ENVIADO A LA PLANTA PROCESADORA

Fecha	Placa del camión	Recibido en la planta procesadora (TM)
01/06/2007	69H-KAO	180
01/06/2007	52V-SAL	200
04/06/2007	852-MAX	80
04/06/2007	559-XGW	211
05/06/2007	355-VAN	69
06/06/2007	52B-SAL	60
07/06/2007	85B-SAL	117
08/06/2007	69H-KAO	115
09/06/2007	52B-SAL	155
12/06/2007	52B-SAL	155
13/06/2007	52B-SAL	72
14/06/2007	69H-KAO	200
15/06/2007	52B-SAL	100
18/06/2007	39H-IAA	160
19/06/2007	52B-SAL	220
20/06/2007	52B-SAL	160
21/06/2007	52B-SAL	180
Total		2434

TABLA A.4.
 DATOS NECESARIOS PARA EL ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS
 BANDAS TRANSPORTADORAS OPERANDO

Banda Transportadora	Tiempo del recorrido ($t_R \pm 0,01$) s			Longitud de recorrido ($L_R \pm 0,01$) m	Ancho de la banda ($A_C \pm 0,05$) in
1	1,45	1,48	1,43	2,70	18,00
2	1,90	1,80	1,86	1,37	18,00
3	2,65	2,65	2,64	2,70	18,00
4	3,10	3,06	3,09	2,15	24,00
5	3,66	3,62	3,59	2,90	24,00
6	1,09	1,00	1,01	1,61	24,00
7	1,39	1,40	1,45	2,15	22,00
8	3,13	3,16	3,13	3,30	18,00

Temperatura ambiente: $(30,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$

TABLA A.5.
 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD PARA UNA MUESTRA DE PIEDRA PICADA ¾”
 A LA ENTRADA Y SALIDA DEL SECADOR ROTATORIO

Tiempo de secado ($t_s \pm 1$) min	Humedad del material al entrar al secador rotatorio ($X_a \pm 0,1$) %	Humedad del material al salir del secador rotatorio ($X_b \pm 0,1$) %
1	0,0	0,0
2	0,1	0,0
3	0,4	0,1
4	0,9	0,1
5	1,3	0,1
6	1,6	0,1
7	1,8	0,1
8	2,0	0,1
9	2,1	0,1
10	2,2	0,1
11	2,3	0,1
12	2,3	0,2
13	2,4	0,2
14	2,4	0,2
15	2,5	0,2
16	2,5	0,2
17	2,5	0,2
18	2,6	0,2
19	2,6	0,2
20	2,6	0,2
21	2,6	0,2
22	2,6	0,2

Temperatura ambiente: $(28,0 \pm 0,5)$ °C

TABLA A.6.

DATOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATOS PROCESADOS C.A. EN EL MES DE JUNIO DEL 2007

Fecha	Bajado mina ($m_{BM} \pm 1$) TM	Vendido a empresas cerámicas ($m_{VC} \pm 1$) TM	Recibido planta procesadora ($m_{RP} \pm 1$) TM	Vendido M20 ($m_{20} \pm 1$) TM	Vendido M80 ($m_{80} \pm 1$) TM	Vendido Finos ($m_{fino} \pm 1$) TM	Stock M20	Stock M80	Stock Finos
							Mes Anterior 112 TM	Mes Anterior 69 TM	Mes Anterior 136 TM
1	172	239	180	105	105	80	19	39	195
4	0	16	200	0	37	0	24	33	212
5	0	148	80	0	59	0	43	76	277
6	0	267	211	36	62	0	18	74	312
7	1449	126	69	0	95	42	33	60	313
8	1725	712	60	0	63	46	39	33	277
11	1716	375	117	74	61	0	25	35	265
12	1111	492	115	0	34	0	11	71	283
13	836	598	155	0	62	0	5	91	323
14	1322	287	155	0	90	57	23	70	309
15	1478	207	72	0	60	0	23	10	309
18	1030	396	200	0	64	62	42	48	299
19	1141	242	100	0	95	62	58	28	268
20	806	454	0	50	32	0	8	4	268
21	1062	276	0	0	0	62	8	4	206
22	832	233	160	0	64	40	78	1	148
25	0	427	0	0	0	2	78	1	146
26	0	277	0	0	0	50	78	1	96
27	400	86	0	0	0	0	78	1	96
28	653	153	220	0	0	22	98	62	146
Total	18465	6013	2434	265	984	616	134	241	173

APÉNDICE B. CÁLCULOS TÍPICOS

B.1. BALANCES DE MASA INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN.

B.1.1. Rendimiento Másico del Proceso de Producción de Feldespato.

Al observar el diagrama de bloque global simplificado (figura 4.1) y realizando un balance global de materia, se puede dar a conocer la totalidad de las corrientes que alimentan al proceso y salen del mismo.

La suma de la cantidad de feldespato que sale de la planta hacia las otras empresas se determina usando la ecuación 4.2 usando los datos reportados en las tablas A.2 y A.3.

$$m_{\text{Real}} = 6013 + 2413$$

$$m_{\text{Real}} = 8426 \text{ TM}$$

Aplicando la ecuación 4.3, el rendimiento másico del proceso queda expresado como:

$$RM_{\text{Proceso}} = \frac{8426}{18465} \cdot 100$$

$$RM_{\text{Proceso}} = 45,6 \%$$

B.1.2. Molienda en base seca.

El balance de masa aplicado a la propuesta de aumento de capacidad utilizando la molienda en base seca, indicaría que el flujo másico de feldespato por las corrientes 1, 2 y 3, es el mismo (considerando pérdidas insignificantes de materia entre las secciones). Ver figura B.1.

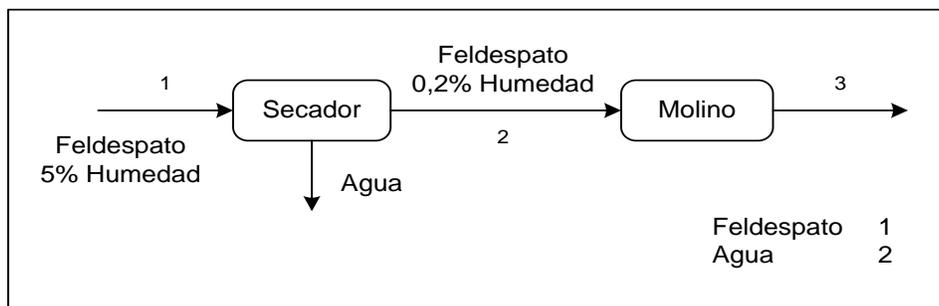


Figura B.1. Diagrama de bloque para la sección de molienda seca.

Como la alimentación fresca de feldespatos a procesar (corriente 1) es 42,8 TM/h a un máximo de 5 % de humedad (H), se tiene entonces que:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{11} &= \dot{m}_{C1} - \dot{m}_{C1} \cdot H \\ \dot{m}_{11} &= 42,8 \frac{\text{TM}}{\text{h}} - 42,8 \frac{\text{TM}}{\text{h}} \cdot 0,05 \\ \dot{m}_{11} &= 40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}}\end{aligned}$$

Como no existe otra alimentación en esta sección ni retroalimentaciones en el proceso, el flujo másico de feldespatos se mantiene constante.

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} = \dot{m}_{13}$$

Mientras que las densidades de cada corriente son determinadas a partir de las especificaciones de humedad asumidas durante el dimensionamiento del secador. Los datos resultantes son mostrados en la tabla B.1.

Como en el secador rotatorio sale un porcentaje de humedad del sistema, la densidad de la corriente de salida se establece utilizando la siguiente ecuación, (considerando la densidad del agua como 1 TM/m³):

$$\rho_{C2} = \frac{\dot{m}_{C2}}{\frac{\dot{m}_{21}}{\rho_1} + \frac{\dot{m}_{22}}{\rho_2}}$$

En donde se tiene \dot{m}_{C2} como la corriente de material con un 0,2% de humedad.

$$\begin{aligned}\rho_{C2} &= \frac{40,74 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{\frac{0,086 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{1 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}} + \frac{40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{2,5 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}}} \\ \rho_{C2} &= 2,49 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

Suponiendo que en el proceso de molienda no existen pérdidas considerables y por ser este procedimiento en base seca, los flujos y la densidad entre la entrada y la salida permanecen constantes. Ver tabla B.1.

TABLA B.1
BALANCE DE MASA REALIZADO EN LA SECCIÓN DE MOLIENDA VÍA SECA

	Entrada Secador	Entrada Molino	Salida Molino
Feldespatos TM/h	40,66	40,66	40,66
Agua m ³ /h	2,14	0,086	0,086
Mezcla TM/h	42,8	40,74	40,74
Densidad TM/m ³	2,33	2,49	2,49

B.1.3. Molienda en Base Húmeda.

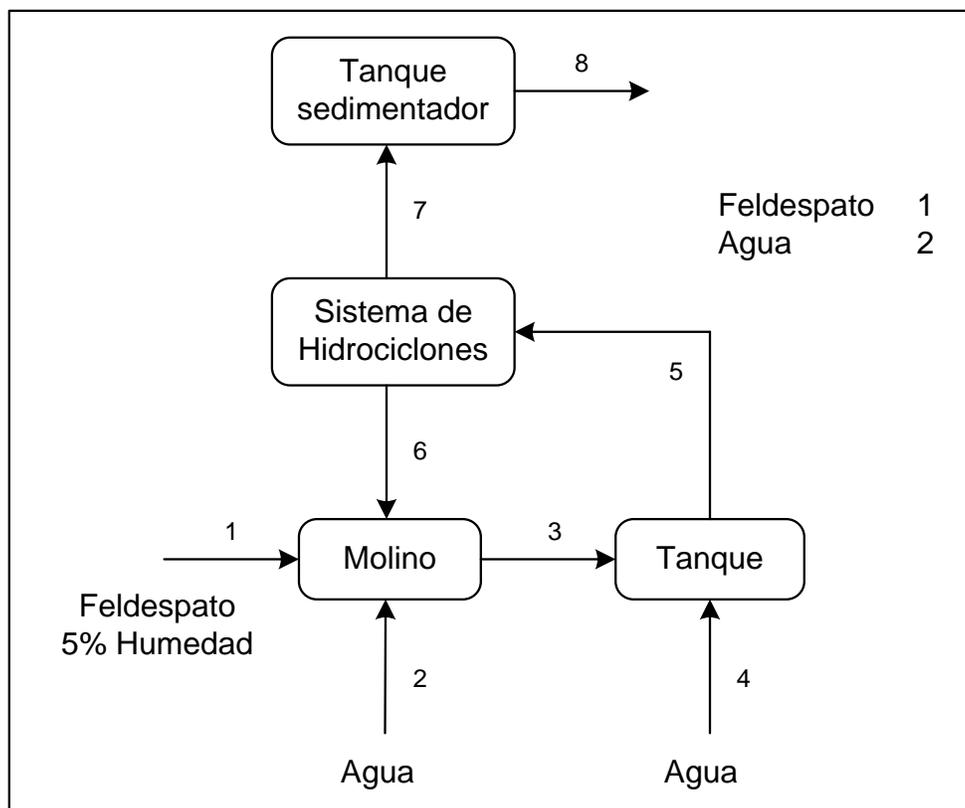


Figura B.2. Diagrama de bloque para la molienda vía húmeda.

Partiendo de que la alimentación fresca de feldespatos a procesar (corriente 1) es 42,8 TM/h a un máximo de 5 % de humedad (H), esto es considerando lo explicado en el capítulo V, y que al realizar un balance de masa global al componente feldespatos, se tiene:

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{C1} - \dot{m}_{C1} \cdot H$$

$$\dot{m}_{11} = 42,8 \frac{\text{TM}}{\text{h}} - 42,8 \frac{\text{TM}}{\text{h}} \cdot 0.05$$

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{18} = 40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

Por continuidad del sistema, se tiene:

$$\dot{m}_{18} = 40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}} = \dot{m}_{17}$$

$$\dot{m}_{C8} = \dot{m}_{C7}$$

Estableciendo un porcentaje en peso de sólidos (Sp) igual a 40% en el flujo de tope del sistema de hidrociclones (corriente 7), por cuestiones de diseño; se tiene:

$$\dot{m}_{C7} = \frac{\dot{m}_{17}}{Sp_{C7}}$$

$$\dot{m}_{C7} = \frac{42,8 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{0,4}$$

$$\dot{m}_{C7} = 107 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

Donde la densidad de esta corriente y de las posteriores se establecerán utilizando la siguiente ecuación, (considerando la densidad del agua como 1 TM/m³):

$$\rho_{C7} = \frac{\dot{m}_{C7}}{\frac{\dot{m}_{17}}{\rho_1} + \frac{\dot{m}_{27}}{\rho_2}}$$

$$\rho_{C7} = \frac{101,65 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{\frac{40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{2,5 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}} + \frac{60,99 \frac{\text{TM}}{\text{h}}}{1 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}}}$$

$$\rho_{C7} = 1,32 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

Por cuestiones de diseño, se establece una carga circulante (CC) de 250% en el sistema de hidrociclones y un porcentaje en peso de sólidos de 76% en la corriente de fondo (estos datos son los recomendados por Richard A. Arterburn, 2001 para que se beneficie la clasificación del mineral), por lo tanto la corriente 6 se establece como:

$$\dot{m}_{16} = \dot{m}_{17} \cdot \frac{\text{CC}}{100}$$

$$\dot{m}_{16} = 40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}} \cdot \frac{250}{100}$$

$$\dot{m}_{16} = 101,65 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

Con los datos de porcentaje en peso de sólidos y densidad del feldespató, se calculan el flujo de agua, flujo total y densidad de la corriente 6, siguiendo los mismos pasos utilizados para la determinación de éstos parámetros en la corriente 7.

Como dentro del molino se debe asegurar un porcentaje en peso de sólidos de 72% (Sp₃), para que se favorezca la molienda del mineral (ver diseño del molino de bolas en base húmeda), la corriente de salida del molino (corriente 3) se calcula realizando un balance de masa en el molino para el componente feldespató:

$$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{11} + \dot{m}_{16}$$

$$\dot{m}_{13} = 40,66 \frac{\text{TM}}{\text{h}} + 101,65 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{13} = 142,31 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{C3} = \frac{\dot{m}_{13}}{Sp_{C3}}$$

$$\dot{m}_{C3} = \frac{142,31 \frac{TM}{h}}{0,72}$$

$$\dot{m}_{C3} = 197,65 \frac{TM}{h}$$

La alimentación de agua fresca (corriente 2) se determina realizando un balance de masa en el molino para agua como componente:

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23} - (\dot{m}_{21} + \dot{m}_{26})$$

$$\dot{m}_{22} = 55,34 \frac{TM}{h} - \left(2,14 \frac{TM}{h} + 32,10 \frac{TM}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{C2} = 21,10 \frac{TM}{h}$$

Los datos para la corriente 5 se determinan realizando un balance de masa en el sistema de hidrociclones:

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16} + \dot{m}_{17}$$

$$\dot{m}_{15} = 101,65 \frac{TM}{h} + 40,66 \frac{TM}{h}$$

$$\dot{m}_{15} = 142,31 \frac{TM}{h}$$

$$\dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} + \dot{m}_{27}$$

$$\dot{m}_{25} = 32,10 \frac{TM}{h} + 60,99 \frac{TM}{h}$$

$$\dot{m}_{25} = 93,09 \frac{TM}{h}$$

Finalmente, los datos para la corriente 4 se determinan realizando un balance de masa en el tanque:

$$\dot{m}_{24} = \dot{m}_{25} - \dot{m}_{23}$$

$$\dot{m}_{24} = 93,09 \frac{\text{TM}}{\text{h}} - 55,34 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{24} = \dot{m}_4 = 37,75 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

A continuación se presenta una tabla resumen con los resultados de los balances de masa y características detalladas de cada corriente para el sistema de molienda en base húmeda:

TABLA B.2.
BALANCE DE MASA REALIZADO EN LA SECCIÓN DE MOLIENDA VÍA HÚMEDA

	Flujo de feldespato de entrada (Corriente 1)	Alimentación de agua fresca al molino (Corriente 2)	Descarga del molino (Corriente 3)	Alimentación de agua fresca al tanque (Corriente 4)	Alimentación al sistema de hidrociclones (Corriente 5)	Underflow del sistema de hidrociclones (Corriente 6)	Overflow del sistema de hidrociclones (Corriente 7)
Feldespato TM/h	40,66	0,00	142,31	0,00	142,31	101,65	40,66
Agua m ³ /h	2,14	21,10	55,34	37,75	93,09	32,10	60,99
Mezcla TM/h	42,80	21,10	197,65	37,75	235,40	133,75	101,65
Mezcla L/s	5,11	5,86	31,19	10,49	41,67	20,21	21,46
Mezcla USGPM	81,03	92,91	494,30	166,20	660,49	320,35	340,14
Mezcla m ³ /h	18,40	21,10	112,27	37,75	150,01	72,76	77,25
Densidad TM/m ³	2,33	1,00	1,76	1,00	1,57	1,84	1,32
% Sólido (volumen)	88,37	0,00	50,70	0,00	37,95	55,88	21,05
% Sólido (peso)	95,00	0,00	72,00	0,00	60,45	76,00	40,00

B.2. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS.

B.2.1. Molienda en Base Seca.

B.2.1.2. Sección de Secado.

B.2.1.2.1. Diseño del Secador Rotatorio.

Los secadores rotatorios se diseñan en función del número de unidades de transferencia de calor que contienen. Una unidad de transferencia de calor es la sección o zona del equipo en el que la variación de temperatura es igual a la fuerza impulsora (diferencia de temperatura) media en dicha sección. Las unidades de transferencia pueden basarse en la variación de temperatura en cualquiera de las fases, por lo que podemos estimar la temperatura de salida del aire.

Con el uso de la ecuación 4.13, despejando la temperatura de salida del aire y asumiendo un número de unidades de transferencia de calor (N_t) igual a 1,5 (se ha demostrado empíricamente que los secaderos rotatorios resultan indicados desde el punto de vista económico cuando N_t varía entre 1,5 y 2,5) se obtiene:

$$T_{As} = \frac{423 - 363}{e^{1,5}} + 363$$

$$T_{As} = 376,38 \text{ K}$$

Para el cálculo de la cantidad de agua que puede ser retirada por el secador rotatorio se usó la ecuación 4.14.

$$m_v = \frac{(2,6 - 0,2)}{100} \cdot 42,8$$

$$m_v = 1027,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

La cantidad de calor transmitido por unidad de masa, considerando que los calores específicos y el calor latente de vaporización son constantes y que la vaporización transcurre a una temperatura constante, al aplicar la ecuación 4.5 se tiene:

$$\frac{Q_T}{m_s} = 0,8 \cdot (363 - 301) + 0,026 \cdot 4,1868 \cdot (363 - 301) + (0,026 - 0,002) \cdot 2342 + \dots$$

$$\dots + (0,026 - 0,002) \cdot 1,8840 \cdot (376,38 - 363)$$

$$Q_T = 4,843 \times 10^6 \text{ kJ}$$

Para el estimar el flujo másico del aire seco que pasa por el secador se utilizó la ecuación 4.6.

$$m_g = \frac{4,843 \times 10^6}{(1 + 0,00453) \cdot 1,257 \cdot (423 - 363)}$$

$$m_g = 45663,45 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Debido a que el aire usado para el calentamiento entra con una cierta humedad, es posible calcula la humedad existente en la corriente de aire de salida.

$$X_{\text{Saire}} = 0,00453 + \frac{1027,4}{45663,45}$$

$$X_{\text{Saire}} = 0,027025$$

Una vez determinado el flujo de aire seco que pasa por el secador, es necesario calcular el flujo total del sistema aire-agua y de esta manera estimar el área transversal del cilindro.

$$m_{a-a} = 45663,45 \cdot (1 + 0,00453)$$

$$m_{a-a} = 45870,25 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para el área transversal del cilindro, se tiene que:

$$A_t = \frac{41701,25}{14000}$$

$$A_t = 3,276 \text{ m}^2$$

Como el área transversal de un cilindro depende únicamente del diámetro, la expresión quedaría de la siguiente manera:

$$D = \left(\frac{4 \cdot 3,276}{\pi} \right)^{0,5}$$

$$D = 2,02 \text{ m}$$

Para el cálculo de la diferencia media logarítmica entre las temperaturas seca y húmeda se hace referencia a la ecuación 4.12

$$\overline{\Delta T} = \frac{(423 - 363) - (376,38 - 363)}{\ln \left(\frac{423 - 363}{376,38 - 363} \right)}$$

$$\overline{\Delta T} = 31,07 \text{ K}$$

Despejando la longitud del secador de la ecuación 4.10 se obtiene la siguiente expresión:

$$L = \frac{4,843 \times 10^6}{0,125 \cdot \pi \cdot 1,95 \cdot 14000^{0,67} \cdot 31,07}$$

$$L = 23,1 \text{ m}$$

B.2.1.2.2. Consumo de Combustible.

A continuación se presenta el cálculo de la cantidad de gasoil necesitada por el secador rotatorio diseñado, para procesar la nueva alimentación del sistema.

Para el cálculo de la cantidad de agua retirada por el secador se usó la ecuación 4.14.

$$m_v = \frac{(2,6 - 0,2)}{100} \cdot 42,8$$

$$m_v = 1027,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Se supone un consumo específico de energía de $1200 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ de agua evaporada para estimar la energía usada por cada hora de operación.

$$1027,4 \cdot 1200 = 1232880 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Como cada kilogramo de gasoil libera 10100 kcal, se puede estimar el consumo de combustible.

$$\frac{1232880}{10100} = 122,06 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Dado que la densidad del gasoil es de $0,85 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$ se puede expresar el consumo del secador rotatorio de la siguiente manera.

$$122,06 \cdot 0,85^{-1} = 143,60 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

B.2.2. Molienda en Base Húmeda.

B.2.2.1. Molino de Bolas.

Primeramente, se calcula el consumo específico de energía usando la ecuación 4.16, para un tamaño de partícula en la alimentación de $19050 \mu\text{m}$ y en el producto de $177 \mu\text{m}$; utilizando como índice de trabajo de bond para el feldespato en 12 kWh/TM .

$$E = 10 \cdot 12 \frac{\text{kWh}}{\text{TM}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{177\mu\text{m}}} - \frac{1}{\sqrt{19050\mu\text{m}}} \right)$$

$$E = 8,15 \frac{\text{kWh}}{\text{TM}}$$

Empleando la ecuación 4.17 se calcula el requerimiento de potencia neto en el sistema, utilizando como alimentación del molino la reportada por el balance de masa $179,69 \text{ TM/m}^3$ (sumatoria de las corrientes 1, 2 y 6):

$$P_{RS} = 8,15 \frac{\text{kWh}}{\text{TM}} \cdot 197,65 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

$$P_{RS} = 1610,84 \text{ kW}$$

Se determina la potencia neta por molino, por cuestiones económicas se seleccionará un solo molino, por lo que usando la ecuación 4.18, tenemos que:

$$P_{\text{neta}} = \frac{1610,84 \text{ kW}}{1}$$

$$P_{\text{neta}} = 1610,84 \text{ kW}$$

Para hallar las dimensiones del molino se realiza un cálculo recursivo, en donde se busca un porcentaje de sobredimensionamiento de potencia neta esperado de 4% variando para ello el diámetro del molino; estas iteraciones se realizaron usando la herramienta "Solver" de Microsoft Excel 2007. En la resolución de este sistema se obtuvieron como resultados finales, los planteados por las siguientes ecuaciones:

El largo del molino se calcula usando la ecuación 4.19 para una razón largo-diámetro de 1,19 y un diámetro de 14,66 pies (resultado del cálculo recursivo).

$$L = 14,66 \text{ pies} \cdot 1,19$$

$$L = 17,43 \text{ pies}$$

La velocidad de giro del molino se determina empleando la ecuación 4.20 (para una fracción de velocidad crítica utilizada de 72%), determinando primero la velocidad crítica de rotación del molino por la ecuación 4.21.

$$N_{\text{crit}} = \frac{76,6}{\sqrt{14,66 \text{ pies}}}$$

$$N_{\text{crit}} = 20,00 \text{ rpm}$$

$$N_c = 20,00 \text{ rpm} \cdot 0,72$$

$$N_c = 14,4 \text{ rpm}$$

La densidad de la pulpa (compuesta por mineral y agua) se calcula empleando la ecuación 4.22. Se considera una tonelada pulpa, densidad del feldespato $2,5 \text{ TM/m}^3$ y densidad del agua 1 TM/m^3 ; además se establece un porcentaje en peso de la pulpa dentro del molino de 72%.

$$\rho_p = \frac{1}{\left(\frac{72}{100} \cdot \frac{1}{2,5 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}}\right) + \left(\frac{1}{1 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{72}{100}\right)}$$

$$\rho_p = 1,761 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

Se determina el volumen interior del molino, utilizando para ello la ecuación 4.23.

$$V = \frac{\pi}{4} (0,305 \cdot 14,66 \text{ pies})^2 (0,305 \cdot 14,66 \text{ pies} \cdot 1,19)$$

$$V = 83,54 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del volumen de la carga en el interior del molino se usa la ecuación 4.24 utilizando un 40% como nivel de llenado aparente; por su parte, se emplea la ecuación 4.25 para determinar el volumen ocupado por las bolas en el interior del molino, utilizando un 38% de llenado respecto al volumen interior del molino.

$$V_c = 83,54 \cdot \frac{40}{100}$$

$$V_c = 33,41 \text{ m}^3$$

$$V_B = 83,54 \text{ m}^3 \cdot \frac{38}{100}$$

$$V_B = 31,74 \text{ m}^3$$

Usando el volumen ocupado por las bolas se puede determinar el peso de la carga de las bolas, su diámetro y la cantidad de bolas requeridas, usando las ecuaciones 4.26, 4.27 y 4.28. Se considera un 40% como fracción volumétrica de los espacios intersticiales entre bolas y una densidad para las bolas de $7,75 \text{ TM/m}^3$.

$$M_B = (1 - 0,4) \cdot 7,75 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3} \cdot 31,74 \text{ m}^3$$

$$M_B = 147,59 \text{ TM}$$

$$D_B = 25,4 \left[\left(\frac{19050 \mu\text{m}}{350} \right)^{0,5} \left(\frac{7,75 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3} \cdot 12 \frac{\text{kWh}}{\text{TM}}}{100 \cdot 0,72 \cdot (3,281 \cdot 4,46 \text{ m})^{0,5}} \right)^{0,33} \right]$$

$$D_B = 131 \text{ mm}$$

$$N_B = \frac{\frac{147,59 \text{ TM}}{7,75 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}}}{\frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{0,131 \text{ m}}{2} \right)^3}$$

$$N_B = 14919 \text{ adim.}$$

Para la determinación del peso de la pulpa en los espacios intersticiales entre bolas, se usa la ecuación 4.29, usando un nivel de llenado de la pulpa en los espacios intersticiales de 100%.

$$M_P^{EI} = \frac{100}{100} \cdot 0,4 \cdot 31,74 \text{ m}^3 \cdot 1,761 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

$$M_P^{EI} = 22,35 \text{ TM}$$

Posteriormente se determina el nivel de exceso de pulpa, correspondiente al nivel de pulpa sobre nivel de bolas, y el peso del exceso de pulpa, usando las ecuaciones 4.30 y 4.31.

$$J_E = 40\% - 38\%$$

$$J_E = 2 \%$$

$$M_p^E = \frac{2}{100} \cdot 83,54 \text{ m}^3 \cdot 1,761 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

$$M_p^E = 2,94 \text{ TM}$$

Luego se calcula la densidad aparente de la carga dentro del molino, usando para ello la ecuación 4.32.

$$\rho_{ap} = \frac{147,59 \text{ TM} + 22,35 \text{ TM} + 2,94 \text{ TM}}{33,41 \text{ m}^3}$$

$$\rho_{ap} = 5,174 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

Finalmente, se calcula la potencia neta real del molino usando la ecuación 4.33; así como también la potencia bruta considerando un 10% de pérdidas, usando la ecuación 4.34.

$$P_{\text{neta-real}} = 0,238 \cdot (14,66 \text{ pies})^{3,5} \cdot 1,19 \cdot \frac{72}{100} \cdot 5,174 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{40}{100} - 1,065 \frac{40^2}{100^2} \right) \cdot \text{sen}(35^\circ)$$

$$P_{\text{neta-real}} = 1676,2 \text{ kW}$$

$$P = \frac{1676,2 \text{ kW}}{1 - \frac{10}{100}}$$

$$P = 1862,4 \text{ kW}$$

Y por último, se calcula el grado de sobredimensionamiento de la potencia neta en el molino, usando la ecuación 4.36.

$$S = \frac{1676,2 \text{ kW} - 1610,84 \text{ kW}}{1610,84 \text{ kW}} \cdot 100$$

$$S = 4\%$$

Nota: El grado de sobredimensionamiento de potencia neta en el molino fue considerado como valor inicial (4%), tal como se explicó anteriormente; y con el uso del análisis recursivo se obtuvieron el resto de los parámetros. Los cálculos ejemplificados en esta sección, se refieren a los resultados obtenidos cuando el método usado por la herramienta Solver de Microsoft Excel 2007, converge.

B.2.2.2. Sistema de Hidrociclones.

Para el diseño del sistema de hidrociclones, inicialmente se considera una carga circulante de 250%, y un porcentaje en peso de sólido para la corriente de tope y fondo

de 40% y 76%, respectivamente. Estos datos son los recomendados por Richard A. Arterburn (2001).

La alimentación de lodo al sistema de hidrociclones es 235,4 TM/h (ver apéndice B.2) a un tamaño de partícula de 177 μm . Se establece un 90% como porcentaje pasante del material clasificado requerido en la corriente de tope del sistema de hidrociclones, por lo que de la tabla C.1 se obtiene el parámetro k, que equivale a 0,91.

Luego se calcula el tamaño de corte requerido, usando la ecuación 4.38.

$$D50_{C_{REQ}} = 0,91 \cdot 177 \mu\text{m}$$

$$D50_{C_{REQ}} = 161,07 \mu\text{m}$$

Posteriormente se calcula el tamaño de corte base usando la ecuación 4.39, para lo cual es requerido determinar gráficamente los parámetros C_1 , C_2 y C_3 . Utilizando para ello la concentración en volumen del lodo de alimentación (38 %), la caída de presión establecida (9 psi) y la densidad de la roca (2,5 TM/m³); y las figuras C.1, C.2 y C.3. De esa manera se obtienen los siguientes resultados:

$$C_1 = 6, \quad C_2 = 1,05, \quad C_3 = 1,05$$

$$D50_{C_{BASE}} = \frac{161,07 \mu\text{m}}{6 \cdot 1,05 \cdot 1,05}$$

$$D50_{C_{BASE}} = 24,34 \mu\text{m}$$

Luego se determina el diámetro del hidrociclón estándar y el número de unidades requeridas, utilizando para ello la figura C.4 y la ecuación 4.41; donde el caudal estándar que fluye por cada ciclón es el reportado por la figura C.5 para diversas caídas de presión.

$$D = 10 \text{ pulg}$$

$$N = \frac{660,49 \text{ usgpm}}{200 \text{ usgpm}}$$

$$N = 3$$

Finalmente se calculan las dimensiones geométricas de cada hidrociclón, usando para ello las ecuaciones reportadas en la tabla C.2. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

$$D_0 = 0,28 \cdot 10 \text{ pulg}$$

$$D_1 = 0,34 \cdot 10 \text{ pulg}$$

$$D_2 = 0,2 \cdot 10 \text{ pulg}$$

$$D_0 = 2,8 \text{ pulg}$$

$$D_1 = 3,4 \text{ pulg}$$

$$D_2 = 2 \text{ pulg}$$

$$L = 5 \cdot 10 \text{ pulg}$$

$$L_1 = 0,67 \cdot 10 \text{ pulg}$$

$$L_2 = 0,4 \cdot 10 \text{ pulg}$$

$$L = 50 \text{ pulg}$$

$$L_1 = 6,7 \text{ pulg}$$

$$L_2 = 4 \text{ pulg}$$

B.2.2.3. Tanques.

Para el dimensionamiento de los tanques requeridos por el sistema de molienda húmeda, fue utilizado el módulo Questimate 12.0 del software Aspen Icarus Products. El procedimiento seguido es el explicado en el apéndice D, en donde se proporcionan las especificaciones requeridas y el programa evalúa los aspectos económicos y de diseño del equipo planteado. En el diseño de estas unidades se consideró un tanque con fondo y techo plano; y además se estableció una capacidad igual al volumen llenado por el flujo de entrada en 1 hora más un 25% por seguridad.

B.3. CÁLCULO DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.

B.3.1. Determinación de los Ingresos a Generar por la Planta

Tomando en cuenta la producción anual esperada para el feldespatos malla 80, indicada en la tabla 6.2, y el precio de venta de este subproducto para el primer año del horizonte económico (ver tabla 6.1), se puede determinar el ingreso a percibir por las ventas de este producto, utilizando la ecuación 4.43:

$$IB_{\text{malla 80}} = 78.079,12 \text{ TM} \cdot 69,23 \frac{\$}{\text{TM}}$$

$$IB_{\text{malla 80}} = \$ 5.405.770,68$$

Luego se realiza el mismo cálculo para cada subproducto, y con la sumatoria de ellos, se obtienen los ingresos a percibir para el año “t” estudiado. Cabe destacar que se consideró un valor de inflación anual de 17%; por ello los ingresos varían entre cada año del horizonte económico, como consecuencia del incremento del precio de los productos.

$$IB_0 = \$ 1.701.603,85 + \$ 1.478.223,47 + \$ 5.405.770,68 + \$ 2.830.768,76$$

$$IB_0 = \$ 11.416.366,77$$

B.3.2. Determinación de la Inversión Inicial.

B.3.2.1. Capital Fijo.

Los activos tangibles se determinan a continuación:

- Costos de equipos.

Conociendo el coste del equipo, bien sea con el uso del software Questimate o por cotizaciones, se ajusta el precio del equipo al año actual utilizando el factor de ajuste indicado en la ecuación 4.47. El molino de bolas tiene un coste de 2.131.800 \$ (obtenido mediante el uso del software Questimate para las especificaciones de equipo indicadas en la tabla D.1) para el año 2002 como referencia; por lo tanto, el coste de equipo referido al año 2006, se obtiene empleando la ecuación 4.47 utilizando el índice de costes para plantas de ingeniería química (C.E.P.C.I.).

$$\text{Coste}_{\text{act}} = \$ 2.131.800 \cdot \frac{499,6}{395,6}$$

$$\text{Coste}_{\text{act}} = \$ 2.692.232$$

- Acondicionamiento de terreno.

Tomando como porcentaje un 10%, y el resultado de la sumatoria de los costos de los equipos para la molienda húmeda (\$ 2.815.468,73), tenemos que (ecuación 4.48):

$$\text{Costo}_{\text{Acondicionamiento}} = 0,1 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Acondicionamiento}} = \$ 281.546,87$$

- Costo de edificaciones.

Aplicando la ecuación 4.49 para la alternativa de molienda húmeda, y utilizando el porcentaje CE para edificios existentes en un proceso sólido-fluido (ver tabla C.5), tenemos:

$$\text{Costo}_{\text{Edificaciones}} = 0,25 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Edificaciones}} = \$ 703.867,18$$

- Instrumentación y control (ecuación 4.50 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Instrumentación}} = 0,13 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Instrumentación}} = \$ 366.010,94$$

- Costos de servicios industriales (ecuación 4.51 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Servicios industriales}} = 0,55 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Servicios industriales}} = \$ 1.548.507,80$$

- Costo de tuberías (ecuación 4.52 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

Utilizando un 31% como porcentaje CT indicado en la tabla C.6 para procesos sólido-fluido, y tuberías sin aislante.

$$\text{Costo}_{\text{Tuberías}} = 0,31 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Tuberías}} = \$ 872.795,31$$

- Costo de equipos eléctricos (ecuación 4.53 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Equipos eléctricos}} = 0,10 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Equipos eléctricos}} = \$ 281.546,87$$

Los activos fijos intangibles vienen dados por:

- Costos de estudios y proyectos (ecuación 4.54 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Estudios y proyectos}} = 0,35 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Estudios y proyectos}} = \$ 985.414,06$$

- Costos de ingeniería, supervisión y entrenamiento (ecuación 4.55 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Ingeniería y supervisión}} = 0,07 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Ingeniería y supervisión}} = \$ 197.082,81$$

- Ganancias de contratistas (ecuación 4.56 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Contratistas}} = 0,04 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Contratistas}} = \$ 112.618,75$$

- Costos de arranques, pruebas y contingencias (ecuación 4.57 aplicada a la alternativa de molienda húmeda)

$$\text{Costo}_{\text{Contingencias}} = 0,10 \cdot (\$ 6.869.743,71 + \$ 1.295.115,62)$$

$$\text{Costo}_{\text{Contingencias}} = \$ 816.485,93$$

B.3.2.2. Capital de Trabajo.

- Costo de inventario de materias primas

Utilizando la ecuación 4.58 para la alternativa de molienda húmeda y con el consumo de agua reportado en la tabla B.2 y a un precio de Bs 0,581 por cada 1 m³ (0,3 \$/TM), reportado por la empresa Hidrocentro, se tiene:

$$\text{Costo}_{\text{Materias primas}} = 30\text{días} \cdot \left(19,18 \frac{\text{TM}}{\text{h}} + 34,31 \frac{\text{TM}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{16\text{h}}{1\text{día}} \cdot 0,3 \frac{\$}{\text{TM}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Materias primas}} = \$ 6.945,40$$

- Costo de inventario de producto

Con los datos de producción diaria de cada subproducto indicado en la tabla 6.2 y su costo de venta para el primer año del horizonte económico (ver tabla 6.1), tenemos:

$$\text{Costo}_{\text{Inventario producto}} = 15\text{días} \cdot \left(300,61 \frac{\text{TM}}{\text{día}} \cdot 23,59 \frac{\$}{\text{TM}} + 80,96 \frac{\text{TM}}{\text{día}} \cdot 76,08 \frac{\$}{\text{TM}} \dots \right. \\ \left. \dots + 325,33 \frac{\text{TM}}{\text{día}} \cdot 69,23 \frac{\$}{\text{TM}} + 183,83 \frac{\text{TM}}{\text{día}} \cdot 64,16 \frac{\$}{\text{TM}} \right)$$

$$\text{Costo}_{\text{Inventario producto}} = \$ 713.522,92$$

- Costo de inventario de repuestos (ecuación 4.60 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costo}_{\text{Inventario repuestos}} = 0,10 \cdot \$ 2.815.468,73$$

$$\text{Costo}_{\text{Inventario repuestos}} = \$ 281.546,87$$

- Costo por salarios (alternativa de molienda húmeda).

Se determinan la cantidad de operadores necesarios por turno, utilizando la ecuación 4.67, tomando como parámetro “t” el indicado para un proceso bajo control automatizado (ver tabla C.7), 2 secciones de equipos esenciales y para una producción diaria total de 922,80 TM.

$$\text{Cantidad}_{\text{Operadores/turno}} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 922,80 \text{ TMD}^{0,24}}{8}$$

$$\text{Cantidad}_{\text{Operadores/turno}} = 13$$

El beneficio mensual salarial para los operadores, fue considerado de Bs 990,000 (\$ 460,68); por lo tanto, utilizando la ecuación 4.65 para 2 turnos de trabajo, se tiene:

$$\text{Costo}_{\text{Personal}} = 2 \cdot 13 \cdot 460,68 \frac{\$}{\text{mes}} \cdot 2 \text{ meses}$$

$$\text{Costo}_{\text{Personal}} = \$ 23.955,33$$

- Efectivo en caja (ecuación 4.62 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costo}_{\text{Efectivo caja}} = 4 \cdot \$ 713.522,92$$

$$\text{Costo}_{\text{Efectivo caja}} = \$ 2.854.091,69$$

Determinados el capital fijo y de trabajo, se procede a calcular la inversión inicial necesaria para la implementación de las alternativas de aumento de capacidad, para el caso de la molienda en base húmeda, aplicando la ecuación 4.45, se tiene:

$$\text{Inversión} = \$ 8.981.345,26 + \$ 3.880.062,21$$

$$\text{Inversión} = \$ 12.861.407,47$$

B.3.3. Determinación de los Costos de Producción.

B.3.3.1. Costos de Manufactura.

Los costos de manufactura se muestran en las tablas B.11 y B.12, sin embargo primero se muestran los cálculos concernientes a sus componentes. Los costos directos asociados a los planes de mejora se muestran en las tablas B.5 y B.6, y su procedimiento de cálculo se muestra a continuación.

- Materia prima (ecuación 4.64 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

Para la producción de feldespato mediante la alternativa de molienda húmeda, sólo se requiere agua como materia prima. La alícuota de agua requerida se obtiene de los datos de balance de masa y de la producción total diaria, ver tablas B.2 y 6.2, respectivamente.

$$\text{Alícuota}_{\text{agua}} = \frac{\left(19,18 \frac{\text{TM}}{\text{h}} + 34,32 \frac{\text{TM}}{\text{h}}\right) \cdot \frac{16\text{h}}{1\text{día}}}{923,25 \frac{\text{TM}}{\text{día}}}$$

$$\text{Alícuota}_{\text{agua}} = 0,927$$

Por lo tanto, aplicando la ecuación 4.64 para una producción anual de 221.580 TM/año y un costo del agua de 0,3 \$/TM, se tiene para el primer año del horizonte económico:

$$\text{Costos}_{\text{Materia prima}} = 0,927 \cdot 221.580 \frac{\text{TM}}{\text{año}} \cdot 0,3 \frac{\$}{\text{TM}}$$

$$\text{Costos}_{\text{Materia prima}} = \$ 55.532,92$$

- Operadores de planta (ecuaciones 4.65 y 4.66, aplicadas a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Beneficio}_{\text{Anual}} = 18 \cdot 460,68 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$\text{Beneficio}_{\text{Anual}} = \$ 8.292,22$$

$$\text{Costos}_{\text{Operadores}} = 2 \cdot 13 \cdot \$ 8.292,22$$

$$\text{Costos}_{\text{Operadores}} = \$ 215.597,95$$

- Supervisores de turno (ecuación 4.68 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costos}_{\text{Supervisores}} = 0,12 \cdot \$ 215.597,95$$

$$\text{Costos}_{\text{Supervisores}} = \$ 25.871,75$$

- Materiales y mantenimiento (ecuación 4.69 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costos}_{\text{Mantenimiento}} = 0,05 \cdot \$ 8.981.345,26$$

$$\text{Costos}_{\text{Mantenimiento}} = \$ 449.067,26$$

- Laboratorio (ecuación 4.70 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costos}_{\text{Laboratorio}} = 0,10 \cdot (\$ 215.597,95 + \$ 25.871,75)$$

$$\text{Costos}_{\text{Laboratorio}} = \$ 24.146,97$$

En cuanto a costos fijos o indirectos (ver tablas B.7 y B.8), se tiene:

- Seguros (ecuación 4.71 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costos}_{\text{Seguros}} = 0,01 \cdot \$ 8.981.345,26$$

$$\text{Costos}_{\text{Seguros}} = \$ 89.813,45$$

- Seguridad y protección, servicios médicos, mantenimiento general y otros gastos (ecuación 4.72 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Costos}_{\text{Seguridad y protección}} = 0,5 \cdot \$ 449.067,26$$

$$\text{Costos}_{\text{Seguridad y protección}} = \$ 224.533,63$$

- Depreciación.

Tomando como ejemplo práctico la depreciación del sistema de hidrociclones de la propuesta de molienda en base húmeda, para un tiempo de vida útil de 17 años, se tiene a partir de las ecuaciones 4.73 y 4.74 (los resultados de la depreciación y amortización para el resto de los activos, se muestran en las tablas B.3 y B.4):

$$D_t = \frac{25.762,99 \$}{17 \text{ años}}$$

$$D_t = 1.515,47 \frac{\$}{\text{año}}$$

Por lo tanto para el tercer año del horizonte económico, este sistema de hidrociclones tendrá un valor en el libro contable de:

$$V_{L-3} = \$ 25.762,99 - 1.515,47 \frac{\$}{\text{año}} \cdot 3 \text{ años}$$

$$V_{L-3} = \$ 21.216,58$$

TABLA B.3.
DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE ACTIVOS QUE CONFORMAN LA PLANTA
DE PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA MOLIENDA EN BASE HÚMEDA.

Descripción	Vida (años)	Capital fijo (Miles \$)	Cuota de depreciación (Miles \$ /año)
DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS TANGIBLES			
Molino de bolas (1) (2002)	20	2.775,84	138,79
Hidrociclón (3) (2002)	17	25,76	1,52
Tanque (1) (2002)	14	53,80	3,84
Manga telescópica tipo 1 (1) (2007)	20	10,64	0,53
Manga telescópica tipo 2 (1) (2007)	20	9,54	0,48
Tanque sedimentador (1) (2002)	14	27,66	1,98
Equipos eléctricos	15	290,32	19,35
Costos de edificación	15	725,81	48,39
Total de depreciación de activos			214,88
AMORTIZACIÓN DE ACTIVOS INTANGIBLES			
Ingeniería y supervisión	15	203,23	13,55
Costo de estudios y proyectos	15	1.016,13	67,74
Arranque, pruebas y contingencias	15	841,94	56,13
Ganancia de contratistas	15	116,13	7,74
Total de amortización de activos intangibles			145,16
TOTAL GENERAL DE DEPRECIACIÓN			360,04

TABLA B.4.
DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE ACTIVOS QUE CONFORMAN LA PLANTA
DE PRODUCCIÓN UTILIZANDO LA MOLIENDA EN BASE SECA.

Descripción	Vida (años)	Capital fijo (Miles \$)	Cuota de depreciación (Miles \$ /año)
DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS TANGIBLES			
Molino de barras (1) (2007)	20	1.130,00	56,50
Manga telescópica tipo 1 (1) (2007)	20	10,64	0,53
Manga telescópica tipo 2 (1) (2007)	20	9,54	0,48
Secador rotatorio (1) (2002)	20	478,00	23,90
Equipos eléctricos	15	162,82	10,85
Costos de edificación	15	407,05	27,14
Total de depreciación de activos			119,40
AMORTIZACIÓN DE ACTIVOS INTANGIBLES			
Ingeniería y supervisión	15	113,97	7,60
Costo de estudios y proyectos	15	569,87	37,99
Arranque, pruebas y contingencias	15	472,17	31,48
Ganancia de contratistas	15	65,13	4,34
Total de amortización de activos intangibles			81,41
TOTAL GENERAL DE DEPRECIACIÓN			200,81

TABLA B.5.
 COSTOS DIRECTOS OBTENIDOS PARA LA EL PROYECTO DE MOLIENDA EN BASE HÚMEDA
 EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Materia prima (Miles \$)	Operadores (Miles \$)	Supervisores (Miles \$)	Mantenimiento (Miles \$)	Laboratorio (Miles \$)	Total (Miles \$)
2007	61,10	215,60	25,87	463,07	24,15	789,79
2008	71,49	252,25	30,27	541,79	28,25	924,05
2009	83,65	295,13	35,42	633,89	33,05	1.081,14
2010	97,87	345,30	41,44	741,65	38,67	1.264,93
2011	114,50	404,01	48,48	867,73	45,25	1.479,97
2012	133,97	472,69	56,72	1.015,25	52,94	1.731,57
2013	156,74	553,04	66,37	1.187,84	61,94	2.025,93
2014	183,39	647,06	77,65	1.389,78	72,47	2.370,34
2015	214,56	757,06	90,85	1.626,04	84,79	2.773,30
2016	251,04	885,76	106,29	1.902,46	99,21	3.244,76
2017	293,72	1.036,34	124,36	2.225,88	116,07	3.796,37
2018	343,65	1.212,52	145,50	2.604,28	135,80	4.441,76
2019	402,07	1.418,65	170,24	3.047,01	158,89	5.196,86
2020	470,42	1.659,82	199,18	3.565,00	185,90	6.080,32
2021	550,39	1.941,99	233,04	4.171,05	217,50	7.113,98

TABLA B.6.
 COSTOS DIRECTOS OBTENIDOS PARA LA EL PROYECTO DE MOLIENDA EN BASE SECA
 EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Materia prima (Miles \$)	Operadores (Miles \$)	Supervisores (Miles \$)	Mantenimiento (Miles \$)	Laboratorio (Miles \$)	Total (Miles \$)
2007	80,32	215,60	25,87	259,70	24,15	605,63
2008	93,97	252,25	30,27	303,84	28,25	708,59
2009	109,94	295,13	35,42	355,50	33,05	829,04
2010	128,63	345,30	41,44	415,93	38,67	969,98
2011	150,50	404,01	48,48	486,64	45,25	1.134,88
2012	176,09	472,69	56,72	569,37	52,94	1.327,81
2013	206,02	553,04	66,37	666,16	61,94	1.553,54
2014	241,05	647,06	77,65	779,41	72,47	1.817,64
2015	282,02	757,06	90,85	911,91	84,79	2.126,64
2016	329,97	885,76	106,29	1.066,94	99,21	2.488,16
2017	386,06	1.036,34	124,36	1.248,31	116,07	2.911,15
2018	451,69	1.212,52	145,50	1.460,53	135,80	3.406,05
2019	528,48	1.418,65	170,24	1.708,82	158,89	3.985,08
2020	618,32	1.659,82	199,18	1.999,32	185,90	4.662,54
2021	723,44	1.941,99	233,04	2.339,20	217,50	5.455,17

TABLA B.7.
 COSTOS INDIRECTOS OBTENIDOS PARA LA EL PROYECTO DE MOLIENDA EN
 BASE HÚMEDA EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Seguros (Miles \$)	Seguridad y protección (Miles \$)	Depreciación (Miles \$)	Deuda (Miles \$)	Total (Miles \$)
2007	92,61	231,53	0,00	1.629,25	1.953,39
2008	108,36	270,89	360,04	1.629,25	2.368,54
2009	126,78	316,95	360,04	1.629,25	2.433,01
2010	148,33	370,83	360,04	1.629,25	2.508,44
2011	173,55	433,87	360,04	1.629,25	2.596,70
2012	203,05	507,62	360,04	1.629,25	2.699,96
2013	237,57	593,92	360,04	1.629,25	2.820,78
2014	277,96	694,89	360,04	1.629,25	2.962,13
2015	325,21	813,02	360,04	1.629,25	3.127,51
2016	380,49	951,23	360,04	1.629,25	3.321,01
2017	445,18	1.112,94	360,04	0,00	1.918,16
2018	520,86	1.302,14	360,04	0,00	2.183,04
2019	609,40	1.523,51	360,04	0,00	2.492,95
2020	713,00	1.782,50	360,04	0,00	2.855,54
2021	834,21	2.085,53	360,04	0,00	3.279,78

TABLA B.8.
COSTOS INDIRECTOS OBTENIDOS PARA LA EL PROYECTO DE MOLIENDA EN
BASE SECA EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Seguros (Miles \$)	Seguridad y protección (Miles \$)	Depreciación (Miles \$)	Deuda (Miles \$)	Total (Miles \$)
2007	51,94	129,85	0,00	1.109,23	1.291,02
2008	60,77	151,92	200,81	1.109,23	1.522,73
2009	71,10	177,75	200,81	1.109,23	1.558,89
2010	83,19	207,97	200,81	1.109,23	1.601,19
2011	97,33	243,32	200,81	1.109,23	1.650,69
2012	113,87	284,69	200,81	1.109,23	1.708,60
2013	133,23	333,08	200,81	1.109,23	1.776,36
2014	155,88	389,71	200,81	1.109,23	1.855,63
2015	182,38	455,96	200,81	1.109,23	1.948,38
2016	213,39	533,47	200,81	1.109,23	2.056,90
2017	249,66	624,16	200,81	0,00	1.074,63
2018	292,11	730,26	200,81	0,00	1.223,18
2019	341,76	854,41	200,81	0,00	1.396,98
2020	399,86	999,66	200,81	0,00	1.600,33
2021	467,84	1.169,60	200,81	0,00	1.838,25

- Deuda.

Otro elemento asociado a los costos de producción es lo referente a las cuotas por concepto de deuda. El financiamiento de la inversión inicial se conformará por un préstamo otorgado por un ente crediticio del Estado por un total del 70% de la inversión inicial (13,150 millones de dólares para la molienda vía húmeda y 8,953 millones de dólares para molienda base seca) y el resto corresponde a capital propio. El tiempo del financiamiento es de 10 años a una tasa de interés de 12 %. Las tablas B.9 y B.10 contemplan la amortización del préstamo durante el horizonte económico establecido.

Las cuotas de amortización para un tiempo de pago de 10 años a una tasa del 12%, serán para la alternativa de molienda en base húmeda (aplicando la ecuación 4.75):

$$R = 9.002.985,23 \$ \cdot \frac{0,12 \cdot (1 + 0,12)^{10}}{(1 + 0,12)^{10} - 1}$$

$$R = \$ 1.593.385,82$$

B.3.3.2. Gastos Generales.

Los gastos generales se muestran en las tablas B.13 y B.14, y su procedimiento de cálculo es indicado a continuación:

- Gastos administrativos (ecuación 4.78 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Gastos}_{\text{Administrativos}} = 0,50 \cdot \$ 215.597,95$$

$$\text{Gastos}_{\text{Administrativos}} = \$ 107.798,98$$

- Gastos de ventas (ecuación 4.79 aplicada a la alternativa de molienda húmeda).

$$\text{Gastos}_{\text{Ventas}} = 0,10 \cdot (\$ 2.677.949,76 + \$ 107.798,98)$$

$$\text{Gastos}_{\text{Ventas}} = \$ 278.574,87$$

B.3.4. Determinación del Impuesto Sobre la Renta (I.S.L.R.)

El desarrollo del cálculo para el primer año del horizonte económico de la alternativa de molienda húmeda se muestra a continuación. Utilizando la ecuación 4.80, se determina el enriquecimiento debido a la actividad productiva, usando para ello los ingresos y los costos de producción:

$$\text{Enriquecimiento} = \$ 11.416.366,77 - \$ 3.064.323,61$$

$$\text{Enriquecimiento} = \$ 8.352.043,13$$

Lo que equivale a 476.948,89 unidades tributarias (U.T.), y como este valor es mayor a 3.000 U.T. se usan los datos correspondientes indicados en la tabla C.8 (tasa de 34% y sustraendo de 500). Por lo tanto, utilizando la ecuación 4.81, se tiene:

$$\text{I.S.L.R.} = 0,34 \cdot 476.948,89 \text{ U.T.} - 500$$

$$\text{I.S.L.R.} = 161.662,61 \text{ U.T.}$$

Lo que es igual a \$ 2.830.938,98 utilizando las conversiones monetarias respectivas.

TABLA B.9.
AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO A UN TIEMPO DE FINANCIAMIENTO DE DIEZ
AÑOS PARA EL PROYECTO DE MOLIENDA EN BASE HÚMEDA

Año	Capital de deuda (Miles \$)	Cuota (Miles \$)	Pago del interés (Miles \$)	Pago del préstamo (Miles \$)	Deuda capital (Miles \$)
2007	9.205,61	1.629,25	1.104,67	524,57	8.681,03
2008	8.681,03	1.629,25	1.041,72	587,52	8.093,51
2009	8.093,51	1.629,25	971,22	658,03	7.435,48
2010	7.435,48	1.629,25	892,26	736,99	6.698,50
2011	6.698,50	1.629,25	803,82	825,43	5.873,07
2012	5.873,07	1.629,25	704,77	924,48	4.948,59
2013	4.948,59	1.629,25	593,83	1.035,42	3.913,18
2014	3.913,18	1.629,25	469,58	1.159,67	2.753,51
2015	2.753,51	1.629,25	330,42	1.298,83	1.454,68
2016	1.454,68	1.629,25	174,56	1.454,68	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABLA B.10.
 AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO A UN TIEMPO DE FINANCIAMIENTO DE DIEZ
 AÑOS PARA EL PROYECTO DE MOLIENDA EN BASE SECA

Año	Capital de deuda (Miles \$)	Cuota (Miles \$)	Pago del interés (Miles \$)	Pago del préstamo (Miles \$)	Deuda capital (Miles \$)
2007	6.267,41	1.109,23	752,09	357,14	5.910,26
2008	5.910,26	1.109,23	709,23	400,00	5.510,26
2009	5.510,26	1.109,23	661,23	448,00	5.062,26
2010	5.062,26	1.109,23	607,47	501,76	4.560,50
2011	4.560,50	1.109,23	547,26	561,97	3.998,53
2012	3.998,53	1.109,23	479,82	629,41	3.369,12
2013	3.369,12	1.109,23	404,29	704,94	2.664,19
2014	2.664,19	1.109,23	319,70	789,53	1.874,66
2015	1.874,66	1.109,23	224,96	884,27	990,39
2016	990,39	1.109,23	118,85	990,39	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABLA B.11.
 COSTOS DE MANUFACTURA GENERADOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE
 FELDESPATO, USANDO MOLIENDA EN BASE HÚMEDA, EN UN
 PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Costos directos (Miles \$)	Costos Indirectos (Miles \$)	Total de costos de manufactura (Miles \$)
2007	789,79	1.953,39	2.743,18
2008	924,05	2.368,54	3.292,59
2009	1.081,14	2.433,01	3.514,15
2010	1.264,93	2.508,44	3.773,38
2011	1.479,97	2.596,70	4.076,67
2012	1.731,57	2.699,96	4.431,53
2013	2.025,93	2.820,78	4.846,71
2014	2.370,34	2.962,13	5.332,47
2015	2.773,30	3.127,51	5.900,81
2016	3.244,76	3.321,01	6.565,77
2017	3.796,37	1.918,16	5.714,53
2018	4.441,76	2.183,04	6.624,79
2019	5.196,86	2.492,95	7.689,80
2020	6.080,32	2.855,54	8.935,86
2021	7.113,98	3.279,78	10.393,75

TABLA B.12.
 COSTOS DE MANUFACTURA GENERADOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE
 FELDESPATO, USANDO MOLIENDA EN BASE SECA, EN
 UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Costos directos (Miles \$)	Costos Indirectos (Miles \$)	Total de costos de manufactura (Miles \$)
2007	605,63	1.291,02	1.896,65
2008	708,59	1.522,73	2.231,32
2009	829,04	1.558,89	2.387,93
2010	969,98	1.601,19	2.571,18
2011	1.134,88	1.650,69	2.785,57
2012	1.327,81	1.708,60	3.036,41
2013	1.553,54	1.776,36	3.329,89
2014	1.817,64	1.855,63	3.673,27
2015	2.126,64	1.948,38	4.075,01
2016	2.488,16	2.056,90	4.545,06
2017	2.911,15	1.074,63	3.985,78
2018	3.406,05	1.223,18	4.629,23
2019	3.985,08	1.396,98	5.382,06
2020	4.662,54	1.600,33	6.262,87
2021	5.455,17	1.838,25	7.293,42

TABLA B.13.
 GASTOS GENERALES ORIGINADOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE
 FELDESPATO, USANDO MOLIENDA EN BASE HÚMEDA, EN
 UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Gastos administrativos (Miles \$)	Gastos de ventas (Miles \$)	Total de gastos generales (Miles \$)
2007	107,80	285,10	392,90
2008	126,12	341,87	468,00
2009	147,57	366,17	513,74
2010	172,65	394,60	567,26
2011	202,00	427,87	629,87
2012	236,34	466,79	703,13
2013	276,52	512,32	788,85
2014	323,53	565,60	889,13
2015	378,53	627,93	1.006,47
2016	442,88	700,87	1.143,75
2017	518,17	623,27	1.141,44
2018	606,26	723,11	1.329,37
2019	709,32	839,91	1.549,24
2020	829,91	976,58	1.806,49
2021	970,99	1.136,47	2.107,47

TABLA B.14.
 GASTOS GENERALES ORIGINADOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE
 FELDESPATO, USANDO MOLIENDA EN BASE SECA, EN UN
 PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Gastos administrativos (Miles \$)	Gastos de ventas (Miles \$)	Total de gastos generales (Miles \$)
2007	107,80	200,44	308,24
2008	126,12	235,74	361,87
2009	147,57	253,55	401,12
2010	172,65	274,38	447,04
2011	202,00	298,76	500,76
2012	236,34	327,28	563,62
2013	276,52	360,64	637,16
2014	323,53	399,68	723,21
2015	378,53	445,35	823,89
2016	442,88	498,79	941,68
2017	518,17	450,40	968,57
2018	606,26	523,55	1.129,81
2019	709,32	609,14	1.318,46
2020	829,91	709,28	1.539,19
2021	970,99	826,44	1.797,44

B.3.5. Indicadores Económicos.

B.3.5.1. Valor Presente Neto (V.P.N).

Tomando una tasa (i) igual a 17% y utilizando la ecuación 4.82 para la alternativa de molienda en base húmeda, se tiene:

$$V.P.N. = \sum_{t=0}^{14} \frac{1.662.681,95 \$}{(1+0,17)^0} + \frac{6.401.394,61 \$}{(1+0,17)^1} + \frac{7.727.887,86 \$}{(1+0,17)^2} \dots \frac{59.827.323,92 \$}{(1+0,17)^{14}}$$

$$V.P.N. = \$ 355.363.086,25$$

B.3.5.2. Tasa Beneficio-Costo.

Tomando una tasa (i) igual a 17% y utilizando la ecuación 4.83 para la alternativa de molienda en base húmeda, se tiene:

$$Tasa_{Beneficio-Costo} = \frac{\sum_{t=0}^{14} \frac{11.416.366,77 \$}{(1+0,17)^0} + \frac{13.357.149,12 \$}{(1+0,17)^1} + \frac{15.627.864,47 \$}{(1+0,17)^2} \dots \frac{102.832.401,24 \$}{(1+0,17)^{14}}}{\sum_{t=0}^{14} \frac{9.753.684,82 \$}{(1+0,17)^0} + \frac{6.955.754,51 \$}{(1+0,17)^1} + \frac{7.899.976,00 \$}{(1+0,17)^2} \dots \frac{43.005.077,32 \$}{(1+0,17)^{14}}}$$

$$Tasa_{Beneficio-Costo} = 2,246$$

APÉNDICE C. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

A continuación se presentan las tablas y figuras utilizadas por la metodología empleada durante los cálculos propuestos.

TABLA C.1.

ESTIMACIÓN DE LA CONSTANTE “ko” PARA DIVERSOS PORCENTAJES PASANTES EN LA CORRIENTE DE TOPE DEL SISTEMA DE HIDROCICLONES

Porcentaje pasante del tamaño requerido en el overflow (%)	Constante ko (adim.)
98,8	0,54
95,0	0,73
90,0	0,91
80,0	1,25
70,0	1,67
60,0	2,08
50,0	2,78

Fuente: Richard A. Arterburn (2001)

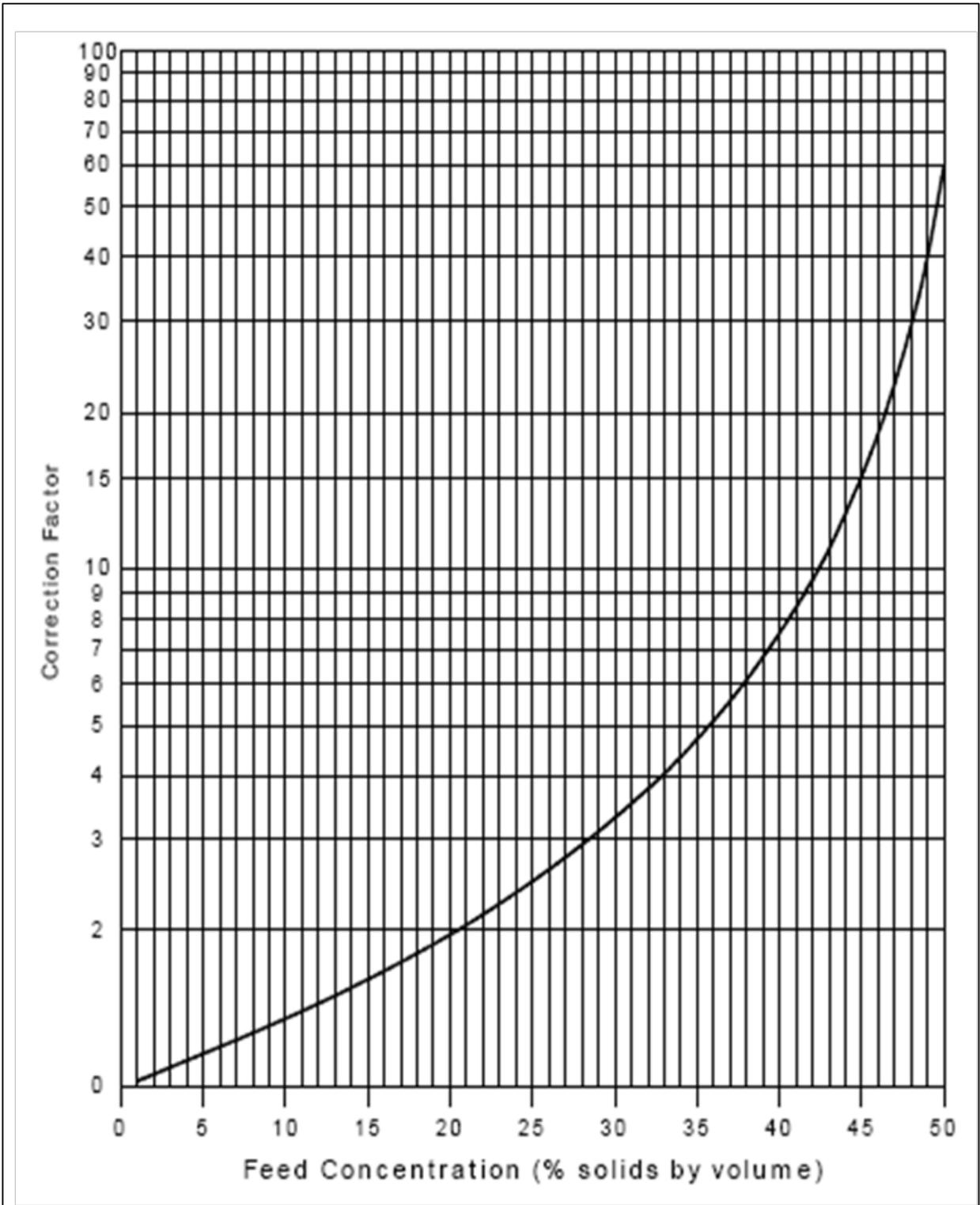


Figura C.1. Factor de corrección C_1 influenciada por la densidad en la alimentación.
Fuente: Richard A. Arterburn (2001)

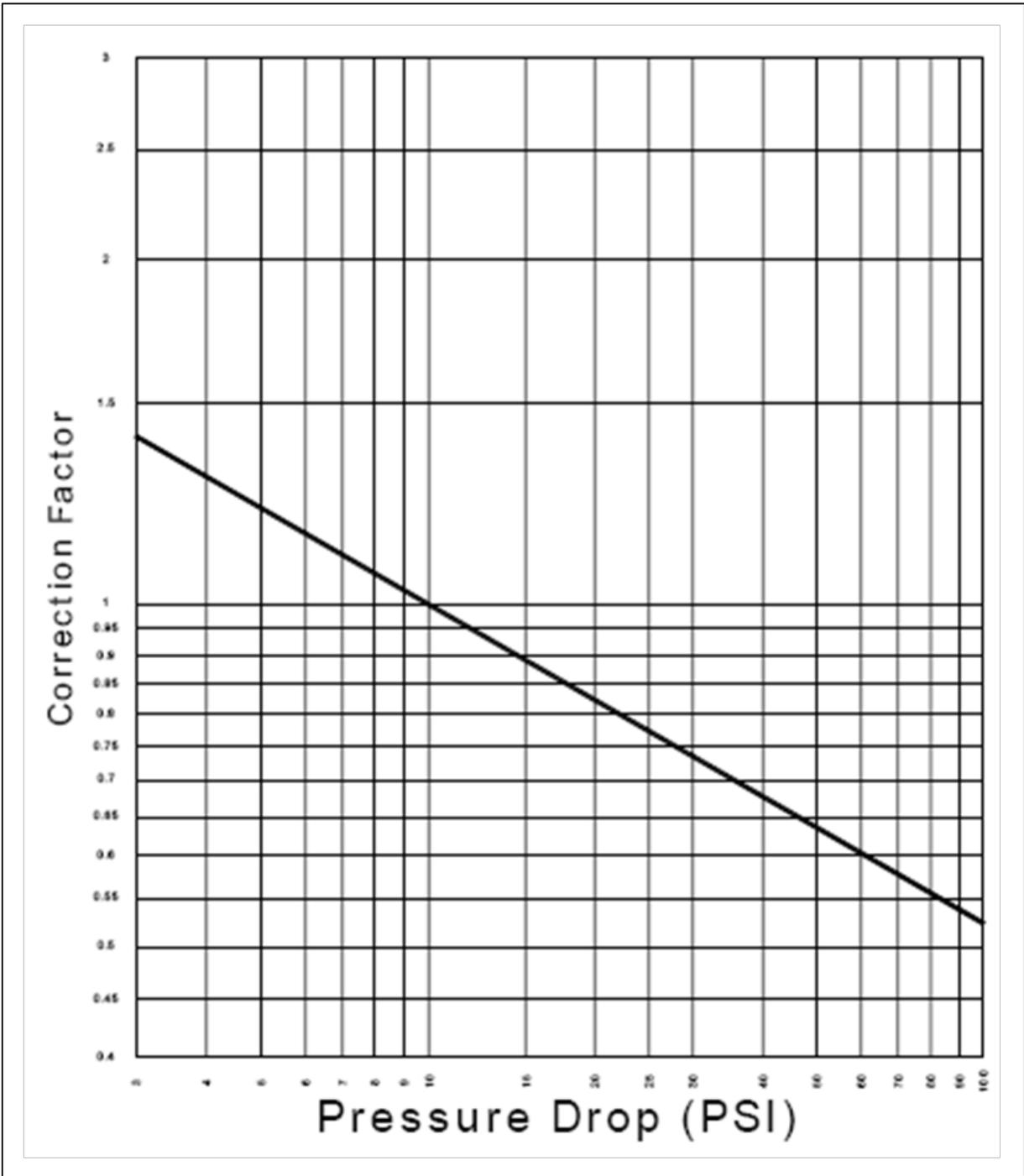


Figura C.2. Factor de corrección C_2 debido a la caída de presión entre la alimentación y overflow.

Fuente: Richard A. Arterburn (2001)

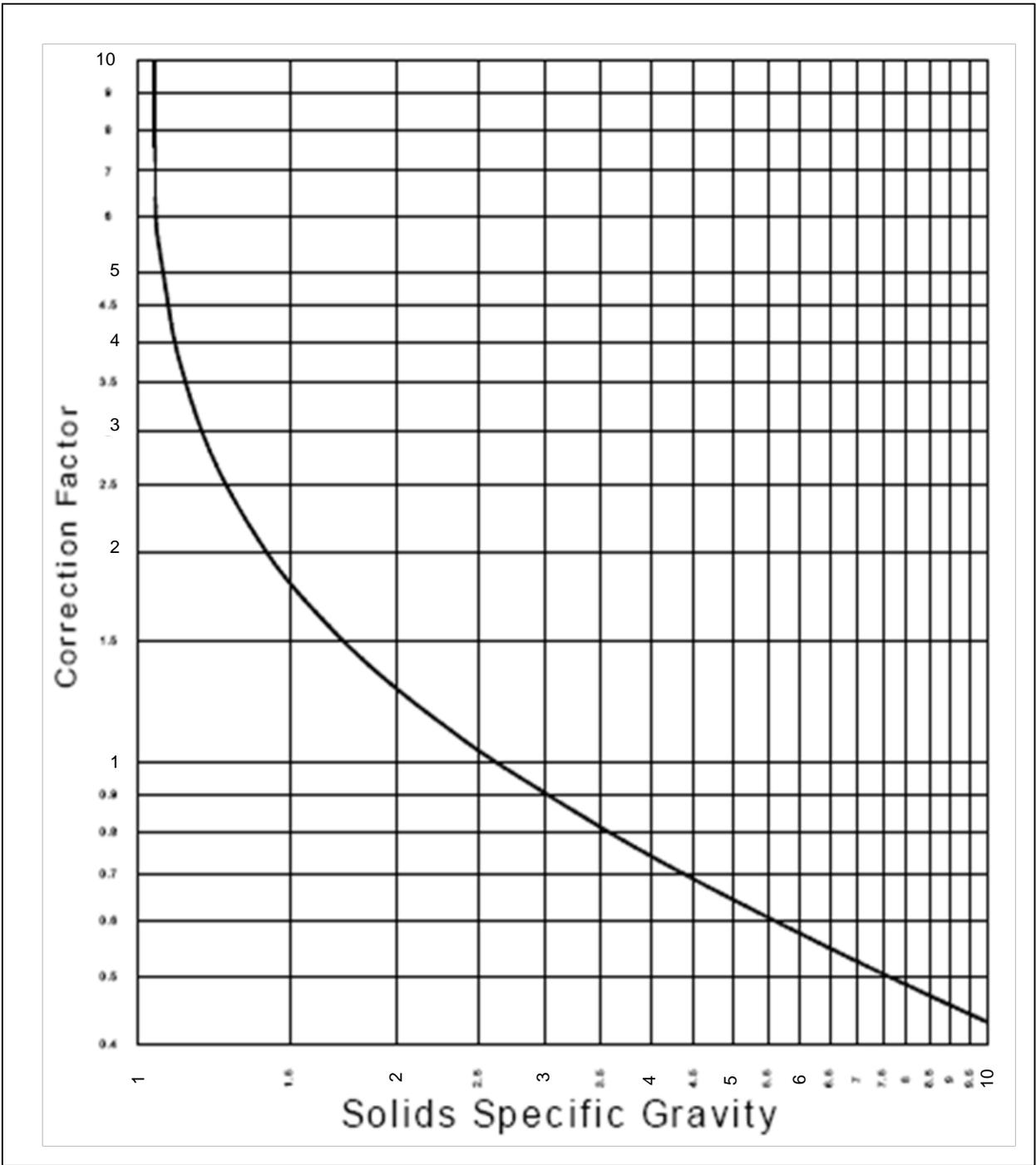


Figura C.3. Factor de corrección C_3 influenciada por la densidad de la roca.
 Fuente: Richard A. Arterburn (2001)

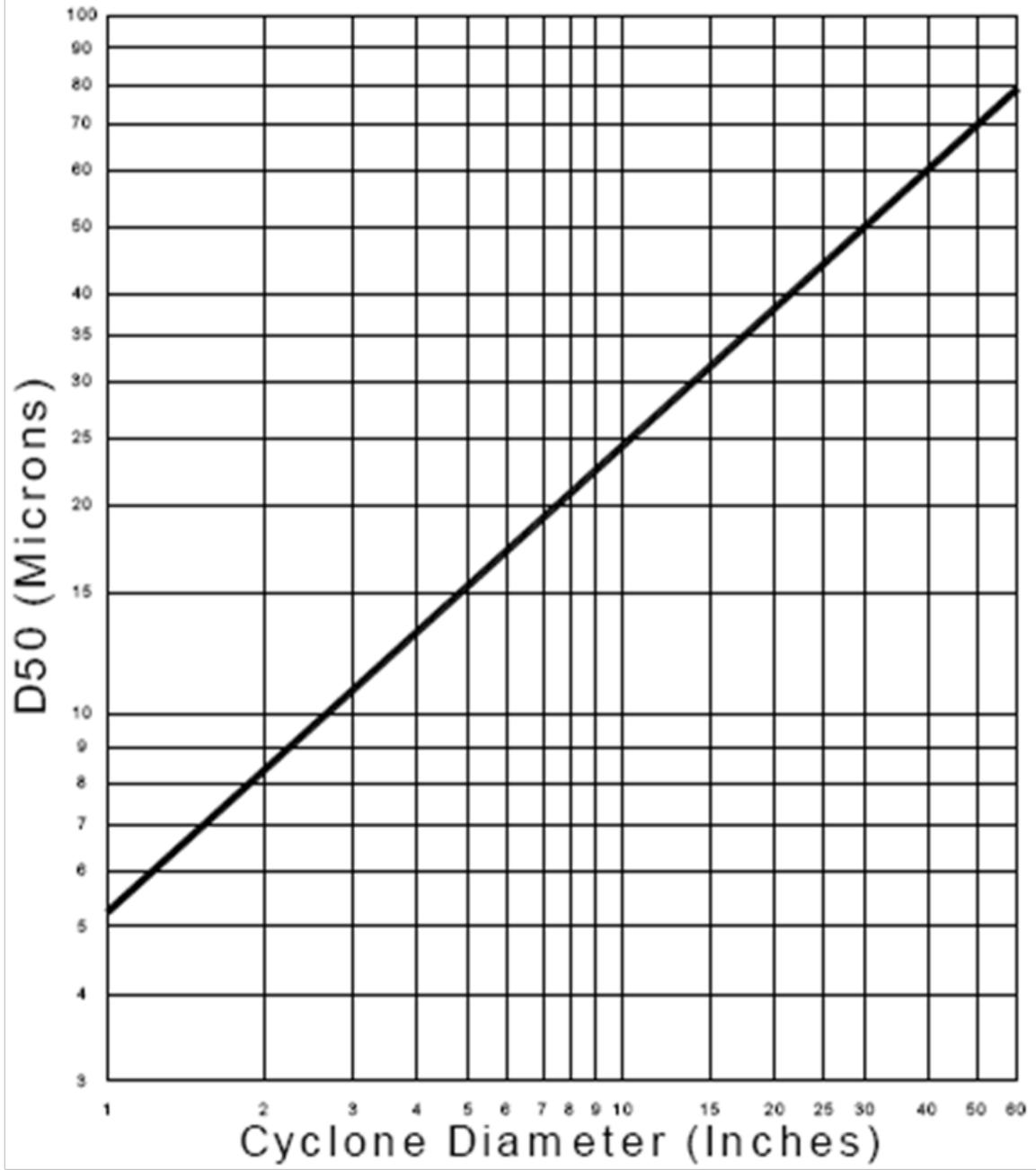


Figura C.4. Relación gráfica entre el diámetro de corte con el diámetro de hidrociclones estándares.

Fuente: Richard A. Arterburn (2001)

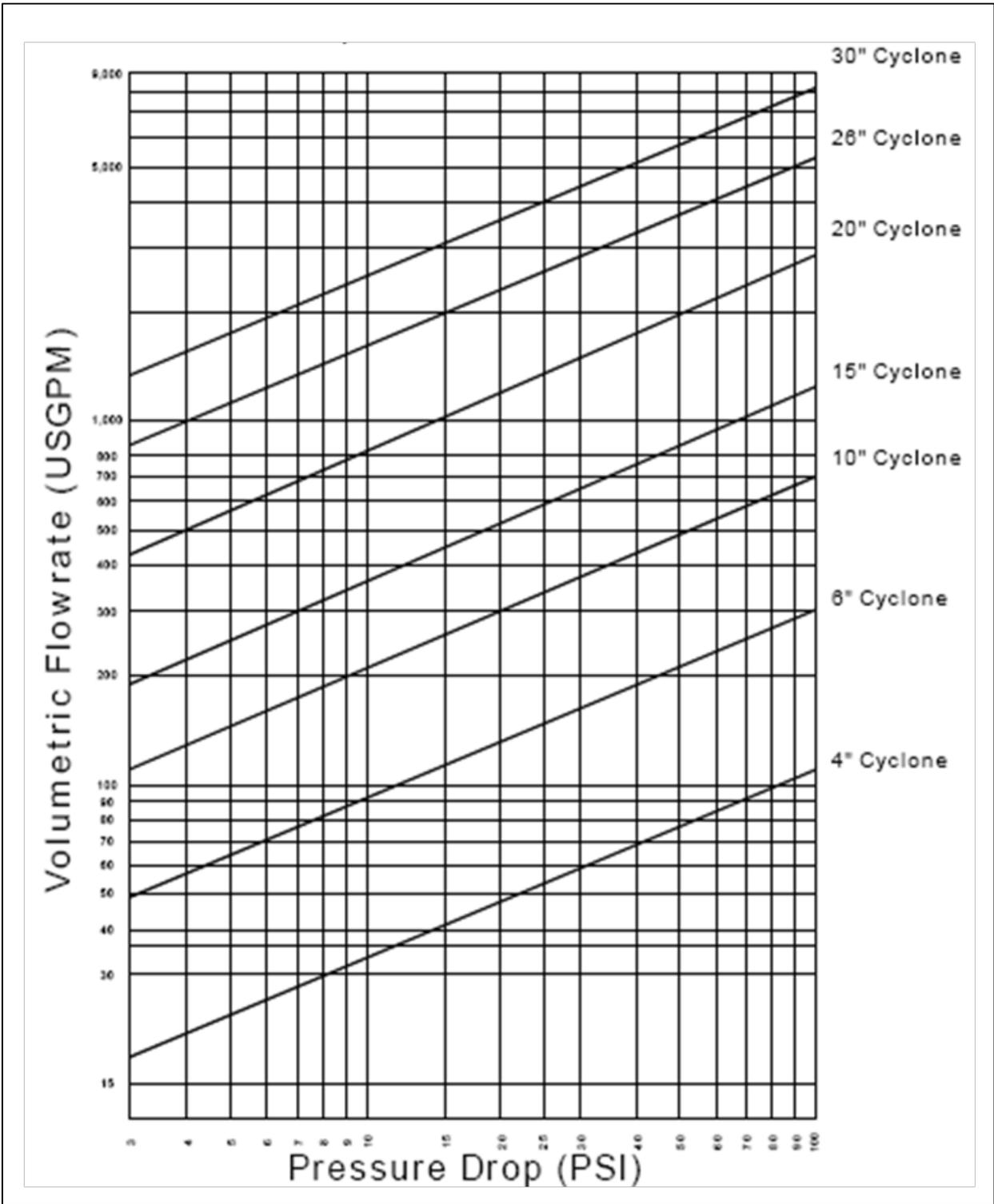
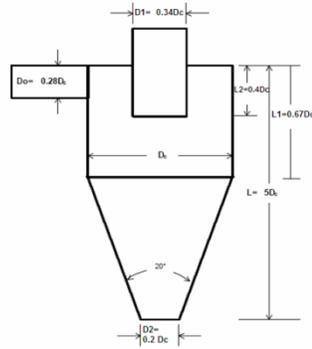


Figura C.5. Relación gráfica entre la caída de presión y el caudal en un hidrociclón estándar.

Fuente: Richard A. Arterburn (2001)

TABLA C.2.
RELACIONES GEOMÉTRICAS DE UN HIDROCICLÓN ESTÁNDAR



D ₀	0,28·D
D ₁	0,34·D
D ₂	0,2·D
L	5·D
L ₁	0,67·D
L ₂	0,4·D

Fuente: Rietema, K. (1961)

TABLA C.3.
RANGOS DE CAPACIDAD DE LAS BANDAS TRANSPORTADORAS

Ancho de la correa (pulg.)	Densidad del material (lb/pie ³)	Capacidad (t/h)											Sección transversal de la carga (pie ²)
		para una velocidad de la correa dada (pie/min.)											
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
14	30	8	12	16	20	24	—	—	—	—	—	—	0,090
	50	14	21	27	35	41	—	—	—	—	—	—	
	75	20	30	40	50	60	—	—	—	—	—	—	
	100	27	41	54	68	71	—	—	—	—	—	—	
	125	34	51	68	85	102	—	—	—	—	—	—	
	150	40	60	81	100	112	—	—	—	—	—	—	
16	30	11	17	23	29	34	—	—	—	—	—	—	0,126
	50	19	29	38	48	57	—	—	—	—	—	—	
	75	29	43	57	72	86	—	—	—	—	—	—	
	100	38	57	76	95	114	—	—	—	—	—	—	
	125	48	72	95	122	148	—	—	—	—	—	—	
	150	57	86	114	143	171	—	—	—	—	—	—	
18	30	15	23	30	38	45	53	60	—	—	—	—	0,165
	50	25	38	50	63	75	88	99	—	—	—	—	
	75	38	57	75	94	112	131	149	—	—	—	—	
	100	50	75	99	124	149	174	198	—	—	—	—	
	125	63	94	124	156	187	218	248	—	—	—	—	
	150	75	113	149	187	224	262	297	—	—	—	—	
20	30	19	28	38	49	59	67	75	—	—	—	—	0,208
	50	32	48	63	79	94	110	125	—	—	—	—	
	75	48	71	94	120	146	167	188	—	—	—	—	
	100	63	94	125	162	198	224	250	—	—	—	—	
	125	79	118	157	201	245	279	313	—	—	—	—	
	150	95	142	188	240	292	333	375	—	—	—	—	
24	30	29	43	58	73	87	102	116	130	145	—	—	0,321
	50	48	73	97	121	145	169	193	217	241	—	—	
	75	72	109	145	182	218	254	290	326	362	—	—	
	100	97	145	193	242	290	338	386	435	483	—	—	
	125	121	186	242	302	363	423	483	543	603	—	—	
	150	145	218	290	363	435	507	579	652	724	—	—	
30	30	48	72	95	119	143	167	191	215	239	—	—	0,530
	50	79	119	159	199	239	279	318	358	398	—	—	
	75	119	179	238	298	358	418	477	537	596	—	—	
	100	159	239	318	398	477	557	636	716	795	—	—	
	125	198	298	397	497	596	696	795	895	994	—	—	
	150	238	358	477	597	716	836	954	1074	1193	—	—	
36	30	71	107	142	178	213	248	284	319	355	390	426	0,788
	50	119	178	236	296	355	414	473	532	591	650	709	
	75	178	266	354	444	532	621	710	798	886	975	1064	
	100	237	355	473	592	710	828	946	1064	1182	1301	1419	
	125	296	444	591	740	888	1035	1183	1330	1477	1626	1773	
	150	356	533	709	888	1065	1242	1419	1596	1773	1951	2128	

TABLA C.4
 ÍNDICE DE COSTES PARA PLANTAS DE INGENIERÍA QUÍMICA
 PARA AÑOS RECIENTES

Año	C.E.P.C.I. (adim.)
1999	390,6
2000	394,1
2001	394,3
2002	395,6
2003	402,0
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6

Fuente: Chemical Engineering Magazine (octubre, 2007)

TABLA C.5
 ÍNDICE DEL COSTE DE EDIFICACIONES PARA DISTINTOS TIPOS DE
 PROCESOS FLUIDOS

	Costo de edificaciones, CE (%)	
	Edificios existentes	Edificios nuevos
Proceso sólido	29%	68%
Proceso sólido-fluido	25%	47%
Proceso fluido	18%	45%

Fuente: Giugni, L y col., 2001

TABLA C.6
 ÍNDICE DEL COSTE DE TUBERÍAS PARA DISTINTOS TIPOS DE
 PROCESOS FLUIDOS

	Costo de tuberías, CT (%)
Proceso sólido	16
Proceso sólido-fluido	31
Proceso fluido	66

Fuente: Giugni, L y col., 2001

TABLA C.7
CONSTANTE "t" PARA PROCESOS CON DIVERSOS SISTEMAS DE CONTROL

	Constante "t", (adim.)
Operaciones bajo control básico	17
Procesos en control automatizado	10
Operaciones rudimentarias	23

Fuente: Giugni, L y col., 2001

TABLA C.8
TARIFAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL IMPUESTO SOBRE LA RENTA (I.S.L.R.)
PARA SOCIEDADES CAPITALES Y COMPAÑÍAS

Tarifa	Tasa (%)	Sustruendo
Enriquecimiento hasta 2000 U.T.	15	0
Enriquecimiento de 2000 hasta 3000 U.T.	22	140
Enriquecimiento excedente de 3000 U.T.	34	500

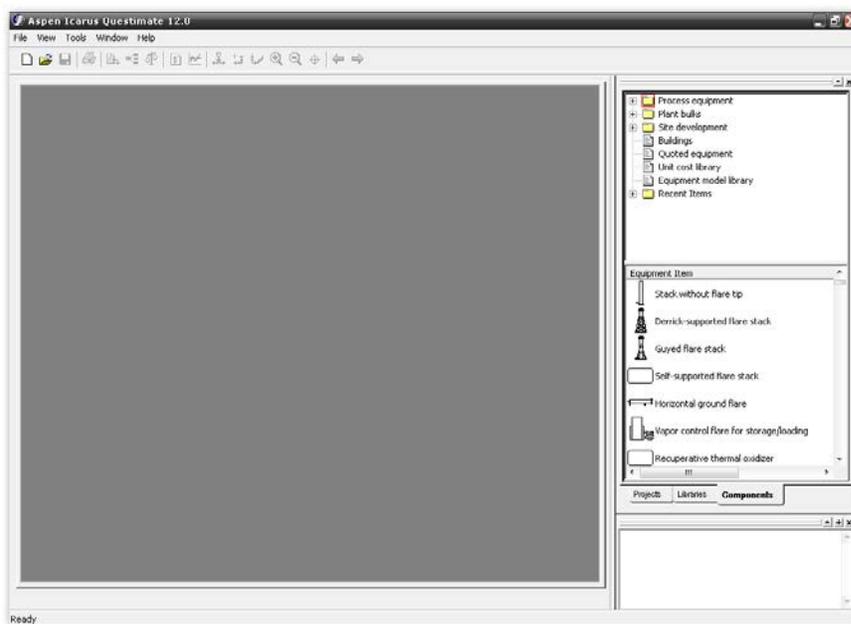
Fuente: Giugni, L y col., 2001

APÉNDICE D. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO

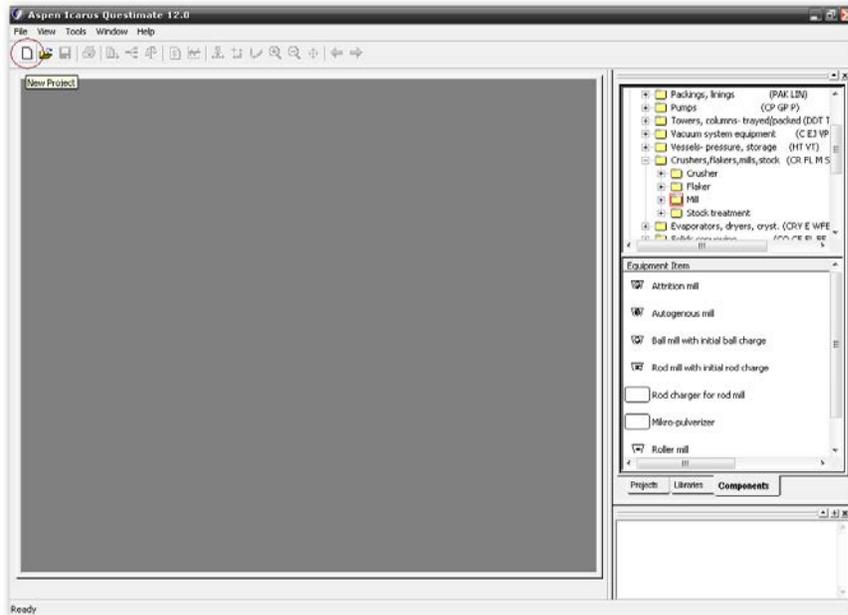
A continuación se presenta el procedimiento realizado para la obtención de los costos de referencia de los equipos del proceso, con el uso del módulo Questimate 12.0 del software Aspen Icarus Products, perteneciente a la familia de Aspen Engineering Suite 12.0.

Para la obtención de los costos de referencia asociados a varios de los equipos principales mediante el software Questimate 12.0, se recurre a información disponible en la librería de componentes, la cual hace uso de modelos altamente precisos desarrollados por diseñadores de equipos de la empresa AspenTech. El procedimiento utilizado para la obtención de costos de referencia se presenta a continuación:

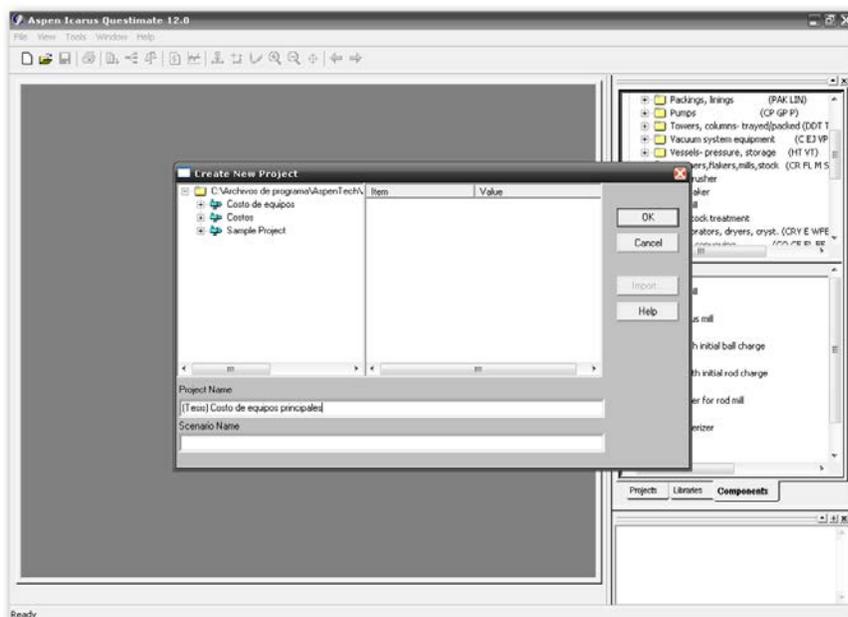
1. Se accede al software desde la barra de programas del computador y se espera que aparezca la ventana de inicio.



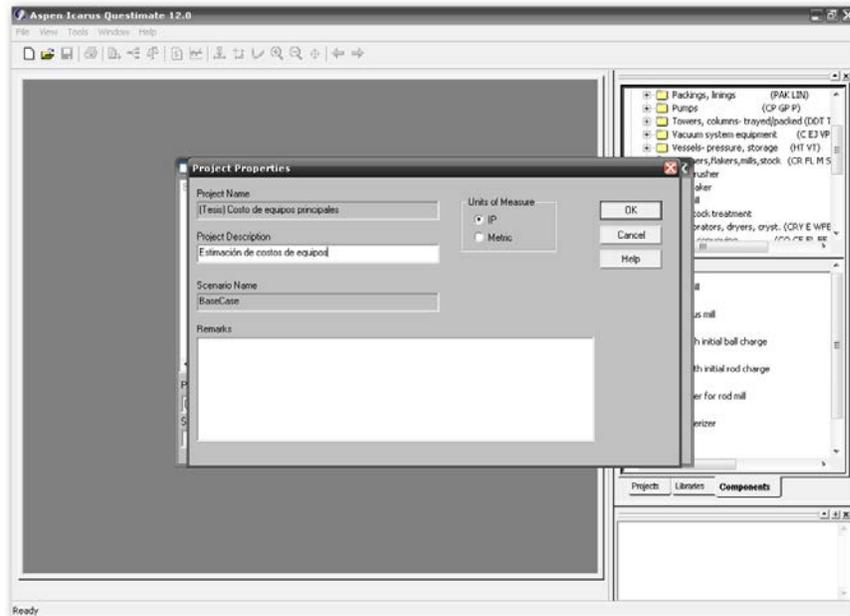
2. Se crea un nuevo proyecto pulsando en el icono correspondiente (**New Project**) o con el acceso rápido **CTRL+N**.



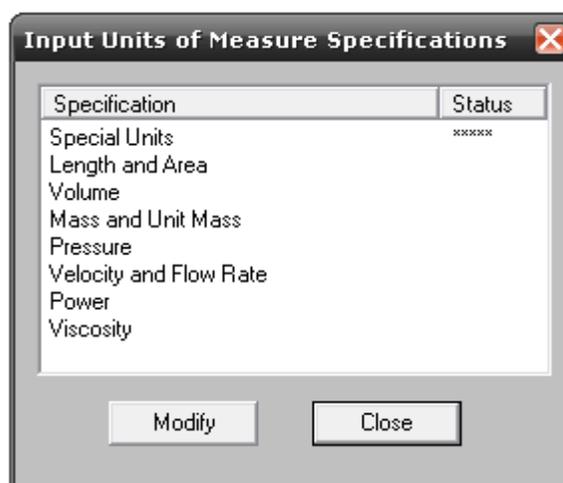
3. En la nueva ventana que se muestra, se ingresa el nombre del nuevo proyecto en la casilla “**Project Name**” y se pulsa en “**OK**”.



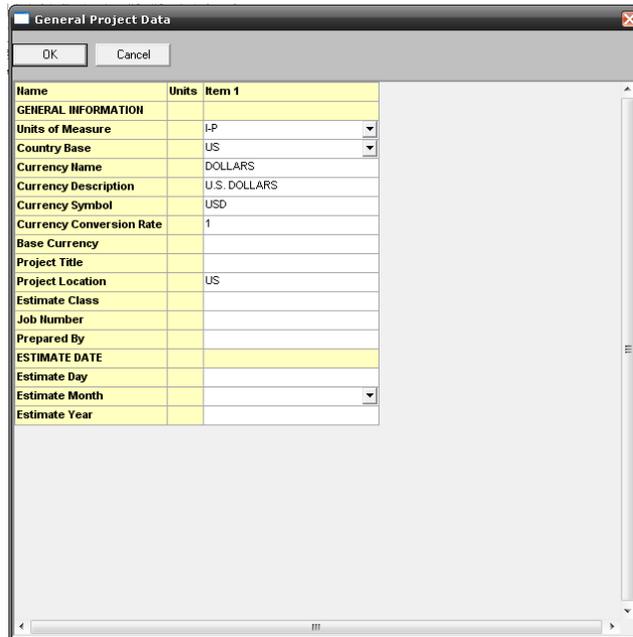
4. Al realizar el paso anterior aparece la ventana **“Project Properties”**, la cual permite cambiar el sistema de unidades (**“Units of Measure”**), ingresar una descripción para el proyecto (**“Project Description”**) y agregar comentarios al proyecto creado (**“Remarks”**).



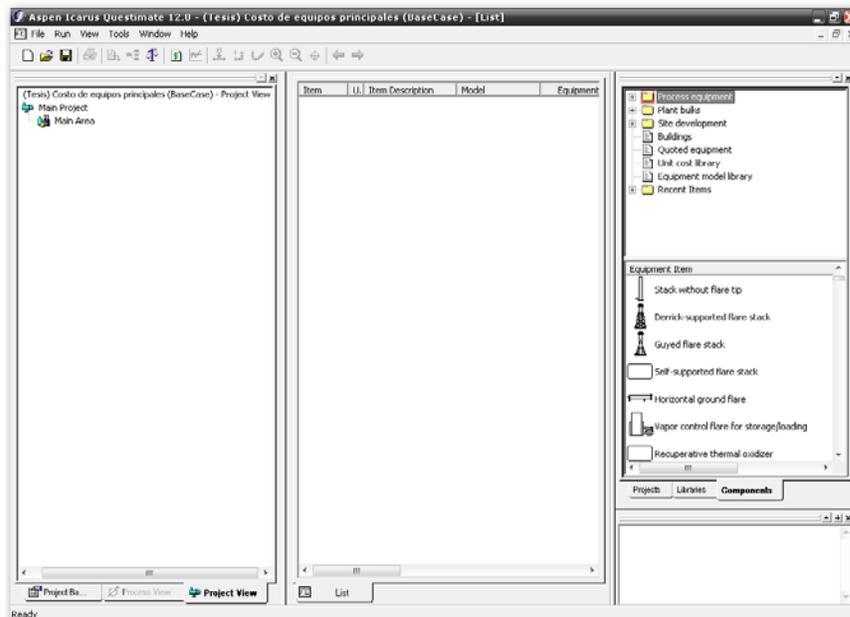
5. En la nueva ventana mostrada, se da la opción de modificar y personalizar las unidades a usar en el proyecto. Para información adicional se recomienda leer el manual de usuario, el cual describe detalladamente cada una de las opciones presentadas en Questimate 12.0. De no querer modificar las unidades preestablecidas para el sistema seleccionado (ver paso 4), se pulsa en **“CLOSE”**.



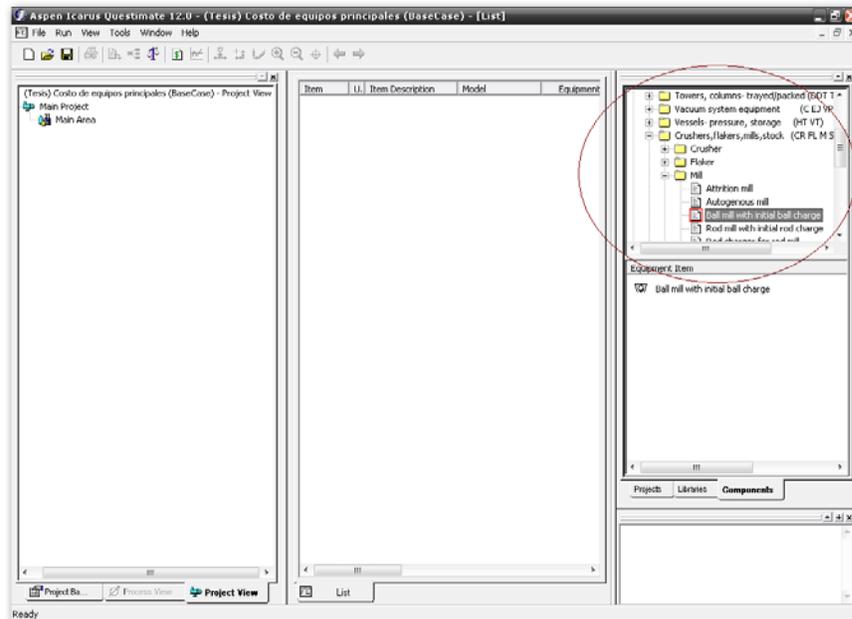
6. Luego del paso anterior aparecerá la ventana **“General Project Data”**, la cual permite cambiar las opciones generales del proyecto creado. Al terminar se pulsa en **“OK”**.



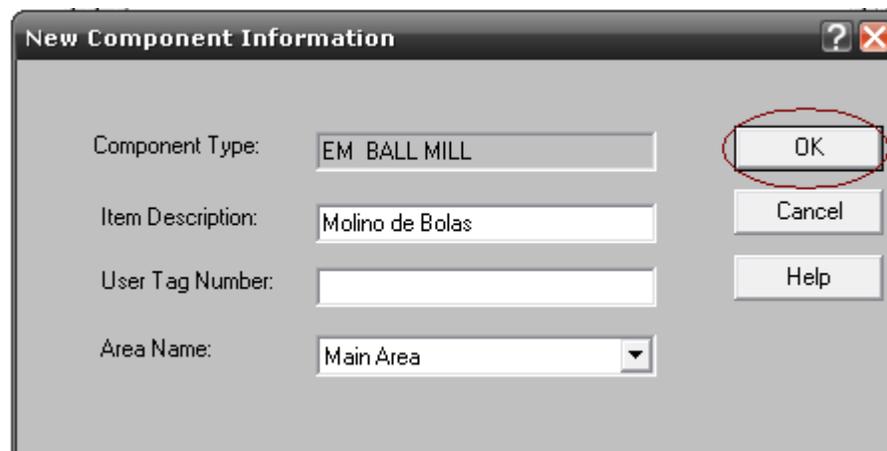
7. Finalmente, se mostrará el área de trabajo preestablecida de Questimate 12.0.



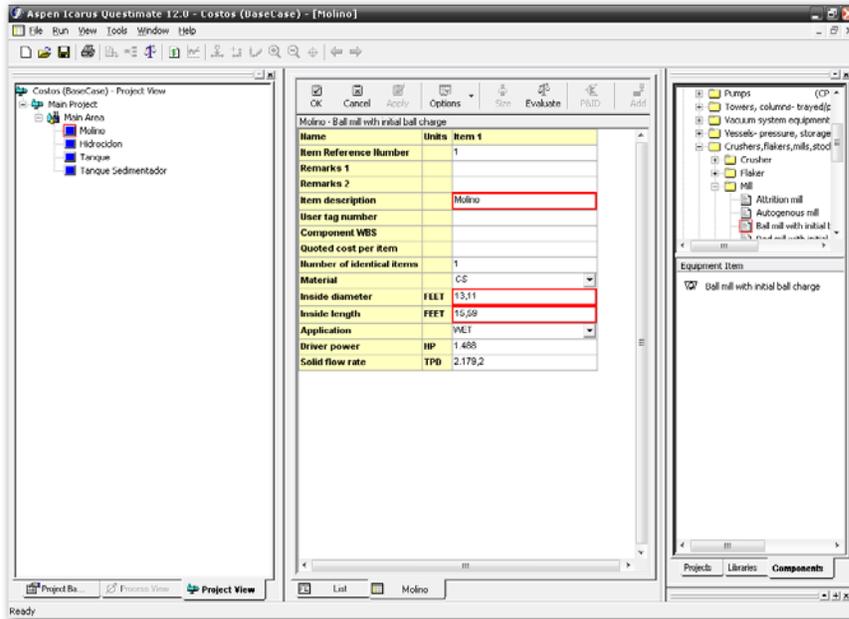
8. Para obtener el precio de referencia de un equipo, se navega por la carpeta “**Process equipment**” hasta encontrar el equipo requerido, por ejemplo para el molino de bolas, indicado en el programa bajo el nombre de “**Ball mill with initial ball charge**”, se encuentra en la ruta “**Process equipment / Crushers, flakers, mills, stock / Mill**”.



9. Una vez hallado el equipo, se arrastra su figura hacia la zona central del área de trabajo, y aparecerá la ventana “**New Component Information**” en donde se ingresa la descripción del equipo en “**Item Description**” y se pulsa en “**OK**”.



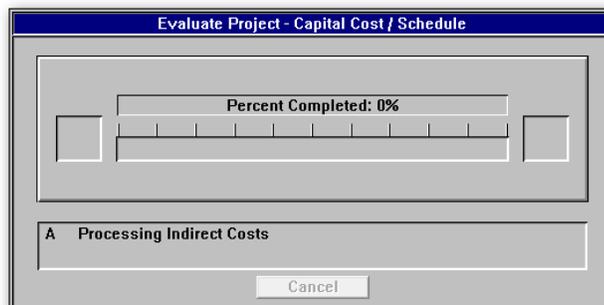
10. Luego de realizar el paso anterior, se ingresan los datos de diseño requeridos en la zona central del área de trabajo para el equipo en estudio y se pulsa en **“Evaluate”**.



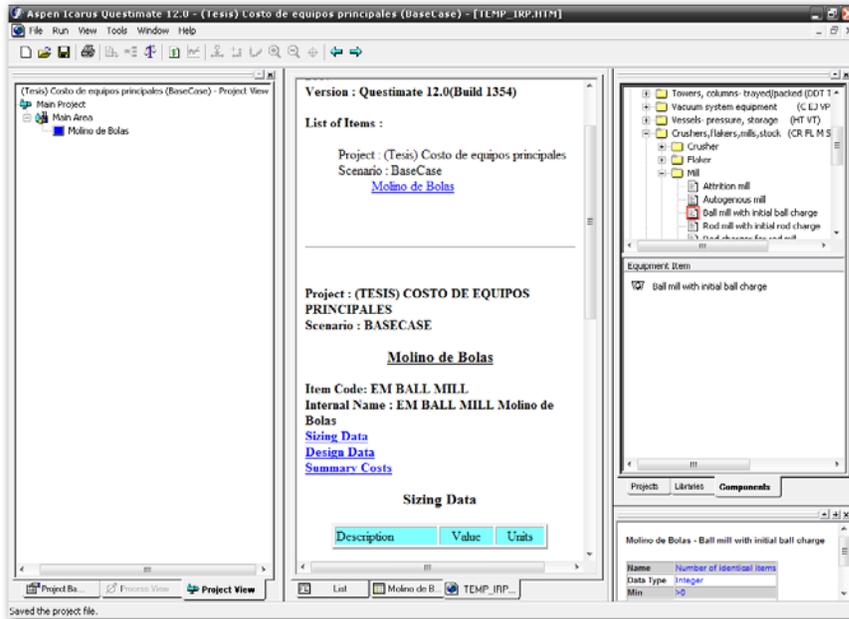
11. De aparecer esta nueva ventana, se pulsa en **“SÍ”** para guardar los cambios realizados en las especificaciones del equipo.



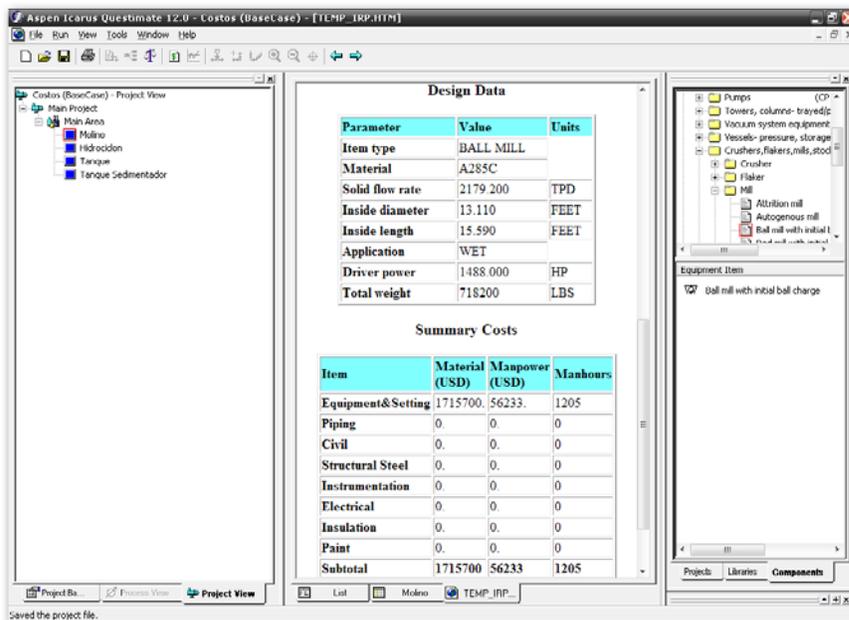
12. Luego Questimate 12.0 realizará los cálculos de estimación de costos y durante el proceso mostrará la siguiente ventana:



13. Una vez concluidos los cálculos de estimación, Questimate 12.0 mostrará en el área central el reporte de especificaciones y costos estimados.



14. Finalmente en el reporte se pueden observar las especificaciones de diseño en la tabla “**Design Data**” y el costo del equipo en “**Summary Costs**”, que para el caso del molino de bolas especificado, es de \$ 1.715.700.



BIBLIOGRAFÍA

1. ARTERBURN, RICHARD A. (2001). **The Sizing and Selection of Hydrocyclones.** [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.krebs.com>. [Consulta: 2007, Agosto].
2. BRAVO G., FREDDY R. (2001). **Evaluación y propuesta de alternativas de solución para el aumento del rendimiento de la planta de preparación mecánica de roca caliza de la empresa C.V.G. CONACAL C.A.** Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
3. C. KARAGUZEL, I. GULGONUL, C. DEMIR, M. CINAR, M.S. CELIK (2005). **Concentración del K-feldespatos de la pegmatita por flotación.** Dumlupinar University, Balikesir University, Karadeniz technical University, Istanbul technical University, Departamento de Ingeniería de Minas, Turquía.
4. CHEMICAL ENGINEERING BETA. (2002). **Chemical Engineering Plant Cost Index (C.E.P.C.I.)** [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.che.com/pci/> [Consulta: 2007, Noviembre].
5. CHEREMISINOFF, N. (2000). **Handbook of Chemical Processing Equipment.** Editorial Butterworth-Heinemann. New York, EU.
6. CIULLO, PETER A. (1996). **Industrial Minerals and their Uses - A Handbook and Formulary.** New Jersey, EU: William Andrew. Disponible en: <http://www.knovel.com>.
7. CORONA, MARYORI (2005). **Evaluación de las principales etapas del proceso productivo de tripolifosfato de sodio en TRIPOLIVEN C.A.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

8. CRIBAS Y PRODUCTOS METÁLICOS S.A. (2000). **Cribas**. [Documento en línea]. Disponible en: www.Cribas.biz. [Consulta: 2007, Agosto].
9. CURSO DE MINEROLOGÍA DESCRIPTIVA. (2000). **Grupos de Feldespatos**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.uned.es/cristamine/inicio.htm>. [Consulta: 2007, Agosto].
10. D. LAVERDE, J. PEDRAZA, S. OSPINA, E. BÁEZ, I. GARCÍA, P. PINTO, I. ESPITIA (2004) **El beneficio de arenas feldespáticas: una solución para la industria cerámica colombiana**. Universidad Nacional de Colombia.
11. DIRECTORIO DE EMPRESAS Y PRODUCTOS. (2000). **Consulta de Proveedores de Molinos de Barra**. [Documento en línea]. Disponible en: www.quiminet.com.mx. [Consulta: 2007, Agosto].
12. EMISON. (2001). **Filtro de Mangas**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.emison.com>. [Consulta: 2007, Agosto].
13. ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA. (2005). **Feldespatos**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org>. [Consulta: 2007, Agosto].
14. FONDO DE CRÉDITO INDUSTRIAL FONCREI. (2000). **Manual para la Formulación y Evaluación de Proyectos**. (3ra Ed.). [documento en línea]. Disponible en: <http://www.foncrei.gob.ve>.
15. FORTE S., SALVATORE (1989). **Recuperación de feldespato por el método de flotación a partir de la mena de Tinaquillo - Edo. Cojedes**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

16. GIUGNI, L., ETTEDGUI, C., GONZÁLEZ, I. y GUERRA, V. (2001). **Evaluación de proyectos de inversión**. (2da Ed.). Dirección de medios y publicaciones. Universidad de Carabobo.
17. GUPTA y D. S. YAN. (2006). **Mineral Processing Design and Operation**. (1ra Ed.). Australia: Elsevier.
18. HAYES P. C. (1993). **Process principles in minerals and materials production**. (3ra Ed.). Australia: Hayes.
19. MANUAL DE DISEÑO PDVSA. (1997). **Manejo de Materiales Sólidos a Granel**. Venezuela.
20. MCCABE, W. L. SMITH, J. C. Y HARRIOT P. (1991). **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**. (4ta Ed.). España: McGraw Hill.
21. MOUSA GOUGAZEH (2006). **Evaluación y beneficiación de feldespato de arenisca de cuarzo en el sur de Jordania para la aplicación en la industria de la cerámica**, Tafila Technical University, Departamento de Recursos Naturales e Ingeniería Química, Jordan.
22. PERRY, R. H. Y GEEN, D. W. (2001). **Perry Manual del Ingeniero Químico**. (7ma Ed.). España: McGraw Hill.
23. PETERS, M. S. y TIMMERSHAUS, K. D. (1991). **Plant Design and Economics for Chemicals Engineers**. (4ta Ed.). McGraw Hill Editions.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se presenta una breve descripción del problema, donde se hace referencia a datos específicos de la empresa donde se realizará el estudio. Además se plantea la situación actual y deseada, la justificación, limitaciones y los objetivos, general y específicos que se han formulado para la resolución de la problemática existente en la planta.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Feldespatos Procesados C.A. es una empresa minera ubicada en el municipio Falcón de la ciudad de Tinaquillo, estado Cojedes, dedicada al procesamiento de feldespatos extraídos del Hato San Antonio. Fue creada en el año 1996, cuando Gustavo Landaeta Urdaneta junto a sus hijos, ya con veinte años de experiencia en la explotación y procesamiento primario del mineral no metálico feldespatos, deciden constituir e iniciar una empresa que permitiera procesar el feldespatos a un nivel superior en las especificaciones, como composición, granulometría y humedad. Los feldespatos físicamente se encuentran como cristales aislados o en masas y son un constituyente importante de muchas rocas ígneas y metamórficas, incluyendo el granito, el basalto, pegmatita y otras rocas cristalinas. Las principales impurezas que acompañan a los feldespatos son el hierro, turmalina, granate, mica, berilio y otros. Una vez extraído el feldespatos del yacimiento en forma de roca, es reducido a través de una trituradora de la cual se obtienen tres tipos de material de acuerdo a su diámetro: Polvillo $\frac{3}{8}$ ", Arrocillo $\frac{1}{2}$ " y Material $\frac{3}{4}$ ". Los dos primeros constituyen subproductos que son vendidos a las industrias de la cerámica. En lo que respecta al material $\frac{3}{4}$ ", es procesado por Feldespatos Procesados C.A. para obtener finalmente cinco tipos de productos también de acuerdo a su diámetro y componentes, que van a ser utilizados como materias primas para las industrias fabricantes de piezas sanitarias, vidrio, goma y otras.

El proceso de producción de feldespatos se realiza a través de la explotación de la roca pegmatita (ver figura 1.1), en donde inicialmente se extrae la roca del yacimiento con el uso de explosivos y máquinas excavadoras; posteriormente pasa por un proceso primario de trituración en donde se reduce el tamaño de partícula antes de ser

almacenadas en un silo cónico, luego se usan cintas transportadoras para alimentar la roca al secador donde se elimina la humedad presente, como método preventivo para evitar la obstrucción en el molino. Luego se procede a moler la roca en el molino hasta reducir el tamaño del mineral hasta 16 malla Tyler (1,00 mm). Una vez realizada esta etapa se procede al lavado del mineral con agua para la eliminación de impurezas como hierro, obteniendo un producto final de finas partículas de color pardo claro con un 12 % de humedad. Después se procede a eliminar la humedad presente en un horno al que se inyecta aire y gasoil como combustible, obteniéndose dos corrientes de material seco, una de las corrientes es sometida a tamices (cribas) para obtener productos que cumplan con la granulometría 20 y 80 malla Tyler; mientras que el rechazo es desaprovechado. La otra corriente con material fino es alimentada a un filtro de manga de donde se obtienen productos con granulometría de 140 y 200 malla Tyler.

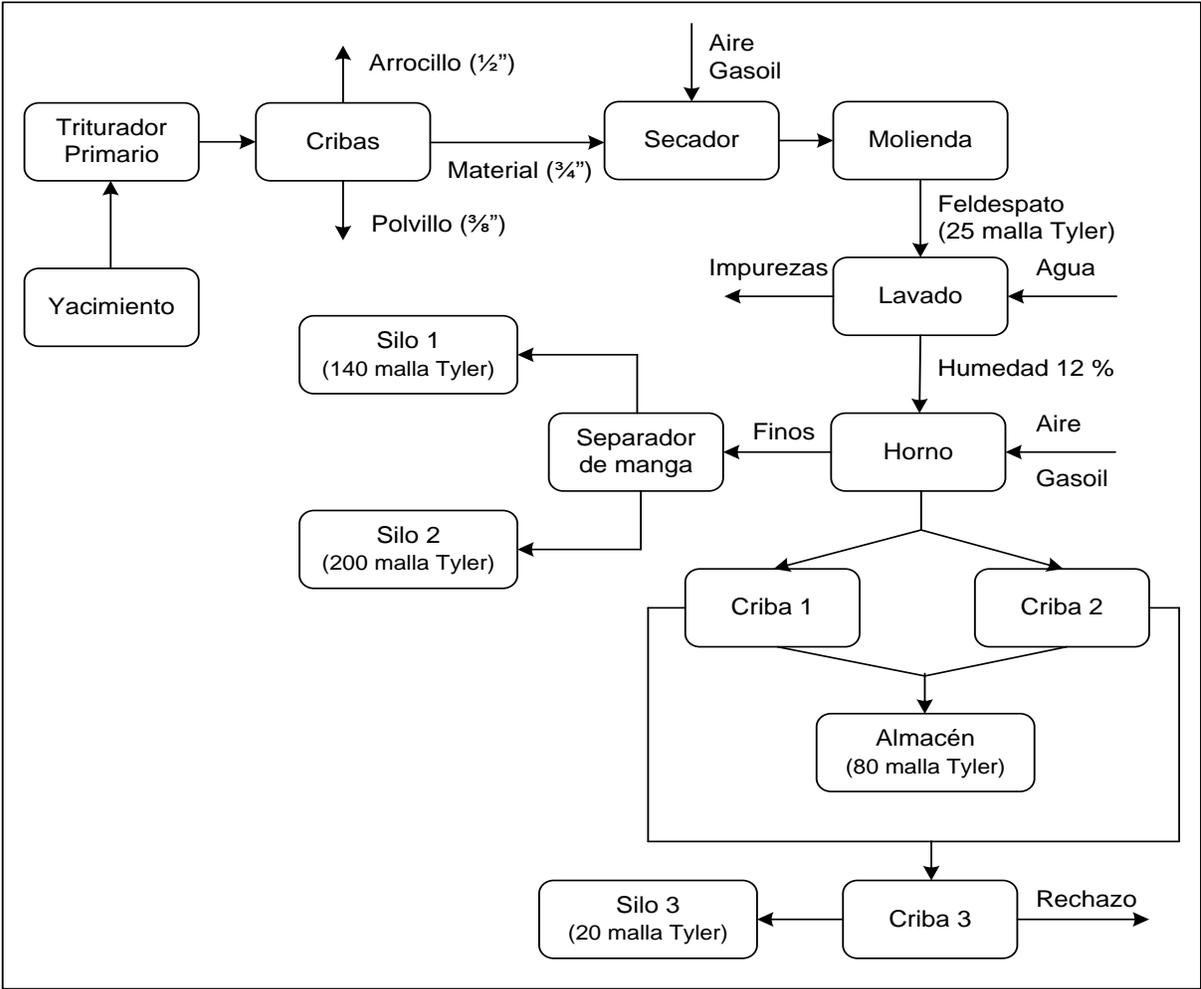


Figura 1.1. Proceso de producción de feldespato.

Actualmente, Feldespato Procesado C.A. está experimentando pérdidas de materia y energía durante el procesamiento del mineral. Para los dos primeros meses del año en curso, se ha logrado estimar que las pérdidas asociadas al material procesado son de 96 y 160 TM, lo que equivale a un 24% y 31% del total producido, respectivamente. Esto se traduce en pérdidas monetarias anuales que están en el orden de miles de bolívares. Adicionalmente existen pérdidas de producto fino, difíciles de cuantificar, durante la carga de los vehículos transportadores para el despacho a los clientes, en donde el material se dispersa en el aire como producto de la carga, la cual se realiza mediante el uso de bandas transportadoras. Esto acarrea que las partículas finas sean suspendidas en el aire, contaminando el medio ambiente, los productos y equipos de las empresas vecinas. Además, durante el procesamiento del mineral, las etapas de secado y clasificación han sufrido paradas no programadas con pérdidas de tiempo debido a la falta de material crudo provenientes de las etapas anteriores, ocasionado por una disminución en la producción.

Teniendo en cuenta esta situación, y en la búsqueda de disminuir los costos de procesamiento y/o maximizar la producción, se hace necesario realizar un estudio a la planta que garantice su eficiencia y la operabilidad óptima de sus equipos. Con esto se pretende realizar un análisis de la relación costo-beneficio de las alternativas que minimicen las pérdidas de material y energía que presenta el proceso, con la finalidad de aprovechar los recursos disponibles de una manera eficaz.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad Feldespato Procesado C.A. no posee una evaluación técnica que avale la eficiencia global del proceso, teniendo pérdidas tanto de materia como de energía, generando de esta manera pérdidas económicas, las cuales limitan a la empresa a disminuir los costos del producto final, dificultando su competitividad en el mercado.

Considerando esta situación, se plantea la posibilidad de evaluar la planta realizando un estudio en cada etapa y equipo del proceso, de manera que se puedan controlar las variables críticas, disminuyendo de esta manera las pérdidas de materia y energía.

1.2.1 Situación Actual

En el sistema productivo de feldespatos, la producción del mineral procesado presenta paradas no programadas con pérdidas de tiempo, por falta de material crudo provenientes de las etapas anteriores, esto es debido a que no se dispone de una evaluación técnica que garantice el buen funcionamiento de los equipos y etapas. De continuar en esta situación, la producción y la calidad del feldespatos se verán afectadas directamente a causa de la inestabilidad del sistema productivo, causado por el uso ineficaz de equipos en las líneas productivas. Esto trae como consecuencia, insatisfacción de los clientes por no cumplir con las especificaciones requeridas.

1.2.2 Situación Deseada

Feldespatos Procesados requiere disponer de un estudio que determine las posibles variables críticas que puedan estar ocasionando pérdidas de cualquier tipo en el proceso y así contar con un plan de mejora, con la finalidad de disminuir los costos de producción, ofreciendo un producto de alta calidad y más competitivo en el mercado nacional.

En cuanto al alcance, se determinarán las condiciones que ofrezcan el mayor rendimiento en base a los requerimientos de la planta, y se seleccionará la alternativa más conveniente técnica y económicamente para la empresa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el proceso de producción de feldespatos con la finalidad de proponer mejoras en las condiciones operativas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Analizar cada una de las etapas del proceso y equipos de producción de feldespatos, con la finalidad de determinar las variables involucradas y compararlas con el diseño.
- 2) Identificar y evaluar los equipos, etapas y variables críticas de operación que interfieren en el funcionamiento de la planta, con el fin de determinar las condiciones más adecuadas para su mejor desempeño.
- 3) Proponer alternativas de mejora al proceso de producción de feldespatos, con la finalidad de hacer más eficiente el proceso.
- 4) Realizar una evaluación de la relación beneficio-costos de las alternativas seleccionadas, con el objeto de determinar su factibilidad de implementación.
- 5) Seleccionar las mejores alternativas de solución, con la finalidad de estudiar su aplicabilidad.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con la realización de este estudio, se podrán generar propuestas o alternativas de mejora para el óptimo funcionamiento de la planta, con la finalidad de aprovechar de una manera más eficiente los recursos existentes. Esto genera confianza en los accionistas y/o dueños de la empresa, pues tendrán la certeza de que los recursos económicos están siendo bien aprovechados.

En cuanto a la conveniencia, esta investigación aportará una solución al manejo de los equipos con unas condiciones de operación eficientes, ayudando además a disminuir los costos de producción y obtener un producto de mejor calidad.

Desde el punto de vista teórico esta investigación es de gran relevancia para la Universidad de Carabobo, ya que permitirá ampliar conocimientos referentes a la producción de feldespatos área que puede resultar de gran interés para futuras investigaciones a realizarse tanto en ésta como en otras casas de estudio. Además se reforzarán los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de la carrera universitaria, especialmente en las áreas de fenómenos de transporte, ofreciendo una experiencia en el ámbito laboral e industrial.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se pueden encontrar algunas condiciones y restricciones que pudieran limitar la correcta y satisfactoria realización de la misma, como el tiempo establecido para su culminación, el cual pudiera prolongarse debido a que la empresa no cuenta con laboratorios y/o equipos requeridos. Además el acceso a la planta es limitado por la ubicación geográfica fuera del estado Carabobo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

Esta sección contiene las bases teóricas que fundamentan e ilustran la producción del feldespato, desde su estructura y sus aplicaciones hasta los aspectos fundamentales del proceso industrial que lo genera y sirven como marco de referencia al desarrollo de la problemática planteada en este trabajo.

2.1. ANTECEDENTES

A continuación se presenta un resumen de trabajos de investigación realizados en el campo de estudio, que bien sea por su contenido, resultados o metodología, sirven de guía para el desarrollo del presente trabajo especial de grado.

Evaluación y beneficio de feldespato de arenisca de cuarzo en el sur de Jordania para la aplicación en la industria de la cerámica.

Esta investigación fue realizada por Mousa Gougazeh, la cual se efectuó en Tafila Technical University en el año 2006. El objetivo fue evaluar y mejorar el proceso de obtención de feldespato para así ser implementado en la industria de la cerámica. El trabajo experimental fue conducido a la evaluación del rol que tiene la distribución del tamaño de las partículas, composición química, contenido de mineral, y las impurezas magnéticas en el sistema de flotación. Para la elaboración del estudio se realizaron evaluaciones a las rocas provenientes de distintas localidades del país para su uso como feldespato comercial y se determinó el mejor método de separación para su beneficio. La concentración de los minerales de K-feldespato de la arenisca de cuarzo de los tres depósitos estudiados fueron clasificados de alto grado, de tipo 2-3, según la guía de materiales de feldespato para la clasificación preliminar, el cual suministra varios tipos de productos capaces de ser usados en la industria de la cerámica.

La similitud que presento este antecedente con el trabajo desarrollado, radica en el estudio del mineral feldespato. La diferencia radica en que este antecedente sólo estudió la aplicación del mineral feldespato como materia prima en la industria cerámica, mientras que la investigación desarrollada busca la mejora del proceso

productivo de feldespato, como materia prima para la industria de vidrio, cerámica y pego.

Evaluación de las principales etapas del proceso productivo de tripolifosfato de sodio en TRIPOLIVEN, C.A.

Este trabajo especial de grado se realizó por Maryori Corona, estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo, en el año 2005; el cual tiene como objetivo principal evaluar la zona húmeda de la planta de tripolifosfato de sodio (TPF) de TRIPOLIVEN C.A. para cuantificar las pérdidas másicas y energéticas en las etapas de neutralización, filtración, concentración y calcinación. Para ello se determinó la eficiencia en cada una de las zonas estudiadas, se analizó las causas de las pérdidas y se propusieron alternativas de mejora para la disminución de los costos de producción. La evaluación realizada indica que en la etapa de neutralización se tiene un consumo de carbonato de sodio mayor al requerido, la alimentación en exceso de este producto se refleja en una desviación de la relación molar F1, que es el parámetro de control más importante en esta sección del proceso. Adicionalmente, se determinó que el flujo de agua residual alimentada a los reactores de neutralización es de 5,639 kg/h y las pérdidas energéticas equivalen al 26,63% de la energía total consumida. En lo que respecta a la etapa de filtración, se puede concluir que el flujo de alimentación a los filtros rotativos es superior al indicado por el diseño de los mismos, y la eficiencia total de filtración es de 99,98%. En la sección de concentración se determinó que la capacidad de evaporación de los concentradores cerrados que conforman el sistema es 7.203,83 kg/h de agua, la economía de los intercambiadores 1º, 2º y 3º efecto es 2,2102 y la del 4º y 5º efecto es 0,3242 kilogramos de agua evaporada por kilogramo de vapor de calentamiento. En la etapa de calcinación se logró determinar que las pérdidas de calor al ambiente en el cuerpo del horno rotativo representan el 5,4% de la energía suministrada por la combustión del gas y su eficiencia global es 73,26%.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en que ambas analizan y evalúan un proceso de producción de un determinado producto. La diferencia radica en que esta investigación es realizada en una planta que procesa roca feldespática y no en una que produce tripolifosfato de sodio.

Concentración de K-feldespatos de la pegmatita por flotación.

Esta investigación fue realizada por C. Karaguzel, I. Gulgonul, C. Demir, M. Cinar y M.S. Celik, la cual se llevó a cabo en Dumlupinar University, Balikesir University, Karadeniz Technical University e Istanbul Technical University en el año 2005. El objetivo principal fue aumentar la concentración de K-feldespatos a partir de una roca pegmatita obtenida de una región de Turquía, usando el método de flotación como operación unitaria de separación. Para ello la metodología empleada fue realizar experimentaciones en una celda de flotación tipo Denver, variando las condiciones del sistema para obtener los parámetros que permiten una separación óptima. El análisis de los ensayos realizado, indica que la separación selectiva de Na y K-feldespatos es obtenida en presencia de iones Na^+ en un medio ácido usando ácido fluorhídrico. La investigación realizó un estudio sobre un feldespatos con una relación de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ de 1,12, obteniéndose un beneficio de K-feldespatos en una relación de 3,48 usando HF, y de 2,48 con H_2SO_4 , esto indica que el resultado obtenido con HF es más eficiente que con H_2SO_4 . La selectividad del K-feldespatos frente a Na-feldespatos no puede ser obtenida en una sola etapa brusca, sino que se requiere de como mínimo un esquema de flotación que considere varias etapas. La separación de estos minerales no pudo obtenerse a pH neutro, sin embargo se obtuvieron resultados satisfactorios a pH bajos.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en el estudio del K-feldespatos, mineral de la familia de las rocas feldespáticas. La diferencia radica en el enfoque hacia el sistema de flotación sin considerar el proceso de producción a escala industrial.

El beneficio de arenas feldespáticas: una solución para la industria cerámica colombiana.

Esta investigación fue realizada por D. Laverde, J. Pedraza, S. Ospina, E. Báez, I. García, P. Pinto y I. Espitia, la cual se efectuó en la Universidad Nacional de Colombia en el año 2004; en donde se presentó el estudio realizado a una arena feldespática del municipio de Sardinata (Norte de Santander), que es empleada por la empresa CERÁMICA ITALIA S.A. de la ciudad de Cúcuta, para la fabricación de esmaltes y pastas utilizados en la fabricación de baldosas cerámicas. En la actualidad, estas

arenas se utilizan tal como son extraídas de la mina, sin embargo, debido al alto número de rechazos en los productos actuales y a la implementación de nuevas líneas de productos de mayor calidad, se hace necesario su beneficio. En una primera etapa, se realizó el cálculo de reserva, y se identificaron y cuantificaron los principales contaminantes como hierro, cuarzo y mica, mediante análisis mineralógico y geoquímico. En la segunda etapa se aplicaron procesos de beneficio de separación magnética para eliminar los óxidos de hierro, y de flotación para separar el cuarzo. Se estudió el efecto de variables como granulometría, pH y concentración de diferentes reactivos de flotación. En una tercera etapa, y con ayuda de la determinación de las características fisicoquímicas, mineralógicas y metalúrgicas se elaboró el diagrama de flujo apropiado y se seleccionaron y dimensionaron los equipos para el montaje de una planta piloto para el beneficio del mineral. Entre las principales conclusiones están que el contenido de Na y K del feldespatos permite clasificar al mineral entre sódico y potásico; en donde el potásico lo hace más apto para la producción de cerámica de alta calidad, sin embargo, la presencia de contaminantes como hierro y cuarzo en valores muy por encima de los requerimientos técnicos hacen necesario su beneficio. El estudio de beneficio mostró que el mineral presenta un buen comportamiento a los procesos de separación magnética de alta intensidad. Igualmente, al someterlo al proceso de flotación, para la separación del cuarzo, se logran buenos resultados en una sola etapa.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en el estudio del mineral feldespatos. La diferencia se presenta en que éste antecedente sólo se limita al estudio de beneficio del mineral, mientras que la investigación desarrollada analiza y plantea alternativas de mejora para el proceso de producción de feldespatos.

Evaluación y propuesta de alternativas de solución para el aumento del rendimiento de la planta de preparación mecánica de roca caliza de la empresa C.V.G. CONACAL C.A.

Este trabajo especial de grado fue realizado por Bravo, G. y Freddy, R., estudiantes de Ingeniería de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela en el año 2001; el cual tuvo como objetivo primordial plantear las posibles soluciones para el problema de bajo rendimiento de la planta de trituración y cribado de

roca caliza de la empresa C.V.G. CONACAL C.A., por lo que es necesario realizar una descripción, evaluación y análisis de la situación actual, y los problemas que afectan a esta empresa, para así luego plantear las soluciones en busca de la optimización del circuito de trituración. En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que la planta se encuentra en muy mal estado por falta de mantenimiento, situación que genera que la misma no cumpla con las metas de producción. El circuito de trituración y clasificación utiliza un 60% de su capacidad instalada, lo cual aumenta los costos de producción. La ausencia de un programa de mantenimiento preventivo a los equipos y estructuras de planta, tiene por consecuencia múltiples paradas para realizar mantenimiento correctivo, esto a su vez hace que los equipos se deterioren progresivamente y por lo tanto disminuya su vida útil. Se debe implementar un programa de mantenimiento preventivo, de tal forma que los equipos mantengan un buen estado físico y mecánico, para así alcanzar un funcionamiento óptimo. Se sugiere implementar un lapso de tiempo diario sólo para mantenimiento, lubricación y limpieza de la planta después que terminen las operaciones de producción, para evitar la pérdida en los turnos de producción por despejar el material que se acumula bajo los equipos y mantener todos los aparatos y mecanismos lubricados.

Este antecedente presenta similitud con la investigación que se llevó a cabo en la evaluación y análisis de un proceso de trituración y molienda de un determinado tipo de roca. La diferencia radica en que este trabajo es realizado en una planta procesadora de roca feldespática y no de roca caliza.

Recuperación de feldespato por el método de flotación a partir de la mena de Tinaquillo - Edo. Cojedes.

Este trabajo especial de grado fue realizado por Forte S. y Salvatore, estudiantes de Ingeniería de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela en el año 1989; cuyo objetivo principal fue obtener concentrados de feldespatos de muestras provenientes de Tinaquillo, Estado Cojedes. Para ello se realizaron estudios mineralógicos para caracterizar la mena de Tinaquillo y experimentaciones de flotación de las muestras para obtener los parámetros de operación óptimos. Los estudios de microscopía petrográfica, difracción de rayos X y

análisis químicos, revelaron que la mena de Tinaquillo es una plagioclasa albítica de grano fino con presencia de potasio, cuya composición química es la siguiente: SiO₂, 64,21%; Al₂O₃, 10,39%; Fe₂O₃, 0,62%; Na₂O, 4,85%; K₂O, 1,75%; MgO, 0,46%; CaO, 1,33%. El método de concentración empleado fue flotación directa del feldespato ya que las micas presentes, menos del 10%, se liberan en la malla -48 Tyler. Se realizaron veinticinco (25) flotaciones, variando la granulometría, el depresor, el colector, la acidez (pH) y la dilución, encontrándose que la mejor recuperación se logró en la flotación N° 21 con una dilución de la pulpa de 16,7%, un pH = 1, una granulometría de -150 malla Tyler, con 300 gramos de material. La distribución porcentual de los concentrados obtenidos en la flotación N° 21, es: SiO₂, 64,16%; Al₂O₃, 15,00; Fe₂O₃, 0,34; Na₂O, 5,50; K₂O, 2,15; MgO, 0,46; CaO, 1,13. Se concluyó que los ensayos de flotación realizados permitieron obtener resultados satisfactorios para conseguir un feldespato de alta calidad para la industria. Se recomienda efectuar ensayos de flotación diferencial, para tratar de eliminar los óxidos de hierro detectados.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en el estudio del mineral feldespato. La diferencia con esta nueva investigación es que se busca la mejora del proceso de producción del feldespato y en este antecedente sólo se enfoca el estudio en obtener concentrados de este mineral.

2.2. FELDESPATO

2.2.1. Definición y Características

Los feldespatos son grupos de minerales constituyentes fundamentalmente de las rocas ígneas aunque pueden encontrarse en cualquier tipo de roca. Los feldespatos corresponden a los silicatos de aluminio y de calcio, sodio o potasio, o mezclas de esas bases. La fórmula química del feldespato es $XAlSiO_8$ en donde la **X** puede ser Sodio (Na), Potasio (K) o Calcio (Ca). Cuando la relación aluminio/silicio es en la misma proporción el feldespato se clasifica como feldespatoide, pero cuando en la relación hay mayor porcentaje de silicio, el mineral mantiene la clasificación de feldespato. Su estructura consiste en una base de silicio (Si⁴⁺) en la que una parte ha sido sustituida,

isomórficamente, por aluminio. Al desequilibrarse las cargas se compensan con cationes metálicos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}).

Importantes grupos de minerales petrogénicos o minerales y rocas de interés económico, componen el sesenta por ciento de la corteza terrestre. Entre los minerales formados a partir de rocas, los feldespatos deben su importancia al hecho de que constituyen más de cincuenta por ciento de todas las rocas ígneas, formados a través de la consolidación de los magmas. Los feldespatos simples son la ortoclasa, la albita y la anortita, que pueden clasificarse como comerciales. Los feldespatos de importancia comercial se encuentran en las pegmatitas, que son emanaciones de magma granítico que han solidificado en forma. Las pegmatitas se encuentran frecuentemente en gneises, dioritas y otras rocas, pero a veces aparecen en calizas y otras rocas sedimentarias. Otra fuente importante de feldespato son las sienitas nefelínicas, las cuales están ganando mercado a los feldespatos tradicionales por actuar como fundente a más baja temperatura (Ciullo, 1996).

2.2.2. Aplicaciones del Feldespato

Según Ciullo (1996), las aplicaciones del feldespato son:

1. **Vidrio.** En la fabricación de ladrillo vidriado, baldosas huecas, muros y paredes divisorias de vidrio, fibra de vidrio, lana de vidrio, combinación de fibras de vidrio, tales como aniatos y plástico. Así como fuente de alúmina para favorecer el proceso de fundición mediante la disminución de temperatura de fusión de la mezcla, estabilizándola y aumentando su grado de resistencia química, facilitando el manejo de la formación de vidrio. Aumenta la resistencia química a la corrosión, mejora las características de trabajo del vidrio, su dureza, durabilidad, resistencia a la ralladura y a su rompimiento.
2. **Cerámica y alfarería.** Las cerámicas son el segundo consumidor de feldespato después del vidrio, siendo los de tipo potásico y sódico los más utilizados. La principal aplicación del mineral es en la manufactura de porcelana vítrea y semi-vítrea, lozas para paredes y techos; en azulejos para pisos y paredes; porcelana

eléctrica y sanitaria; loza y vajillas para hoteles, utensilios de cocina y para hornos; accesorios vitrificados para plomería y vidriados cerámicos, lustres y productos esmaltados de la especialidad de porcelana, para fundición en la industria cerámica y alfarera; como formador de una fase vidriosa en los productos, proporcionando alúmina y álcali favoreciendo la vitrificación y transparencia del producto. Debe tener ausencia de minerales de color oscuro y debe fundirse en un cuerpo uniformemente blanco.

3. **Esmaltes para cerámicas.** El uso de feldespato es de gran importancia en la formulación de esmaltes vítreos, porque baja la temperatura de fundición, incrementa la velocidad de la operación de fundición e influencia en la viscosidad del esmalte y permite la producción de lustres duros y blandos.
4. **Pinturas, revestimientos, plásticos y caucho.** El área principal de aplicación del feldespato como carga es en pinturas y un pequeño porcentaje en plásticos, cauchos y adhesivos. Su importancia radica en la reducción de los requerimientos de las sustancias que actúan como medios de expansión de pigmentos, otorga baja viscosidad a los pigmentos, proporciona elevado brillo seco y disminuye la concentración de los tintes, mejora la integridad de la película plástica, otorga resistencia a la abrasión, ataque químico y elementos grasos, aumenta eficientemente la retención de tinta, facilita la dispersión y aumenta la resistencia a las bajas temperaturas.
5. **Goma, selladores y adhesivos.** El feldespato tipo carga en los años recientes ha tenido un uso limitado en compuestos de goma y productos similares; los selladores proveen una unión elástica soportante de carga lo cual puede actuar también como barrera para el polvo, la suciedad, la humedad y los químicos; también actúan como cargas de espacios, pueden aislar y reducir ruido y vibraciones. Los adhesivos, por otra parte, unen superficies. La industria automotriz emplea el feldespato tipo carga en diversos productos que incluyen goma siliconada, relleno de neopreno y adhesivos, también es usado en la industria de la construcción en productos de goma.

6. **Electrodos de soldadura.** Por sus propiedades fundentes es utilizado en la cobertura de electrodos de soldaduras, comúnmente se utiliza en la soldadura de arco manual de metal, aunque también se usa en soldaduras de electro-escoria. El consumo futuro de feldespatos en electrodos para soldadura está relacionado con la industria del acero. Las soldaduras son usadas principalmente en la fabricación de naves, vehículos, acero estructural, construcción e ingeniería civil y en la manufactura de ollas, cilindros y otros vasos.
7. **Abrasivos.** El feldespatos es usado en abrasivos y jabones blanqueadores por su fractura granular y su dureza intermedia.

2.2.3 Tipos de Feldespatos

Generalmente los feldespatos se originan a altas temperaturas con estructuras más desordenadas pasando, por enfriamiento, a un estado más ordenado de menor temperatura (ver figura 2.1).

- **Ortoclasa:** a esta serie corresponden los feldespatos potásicos (KAlSi_3O_8), los cuales se caracterizan por proporcionar mayor resistencia, reducir la conductividad eléctrica, mejorar la dureza, durabilidad y módulo de ruptura; así como ajustar la resistencia a la tensión y la elasticidad.
- **Plagioclasa:** serie a la que corresponden los feldespatos sódico-cálcicos (de anortita $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ hasta albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Es un fundente poderoso y altamente reactivo, mejora la resistencia a la flexión y al impacto, incrementa la resistencia a los esfuerzos, añade dureza, durabilidad y brillo (Curso de Mineralogía Descriptiva, 2000).

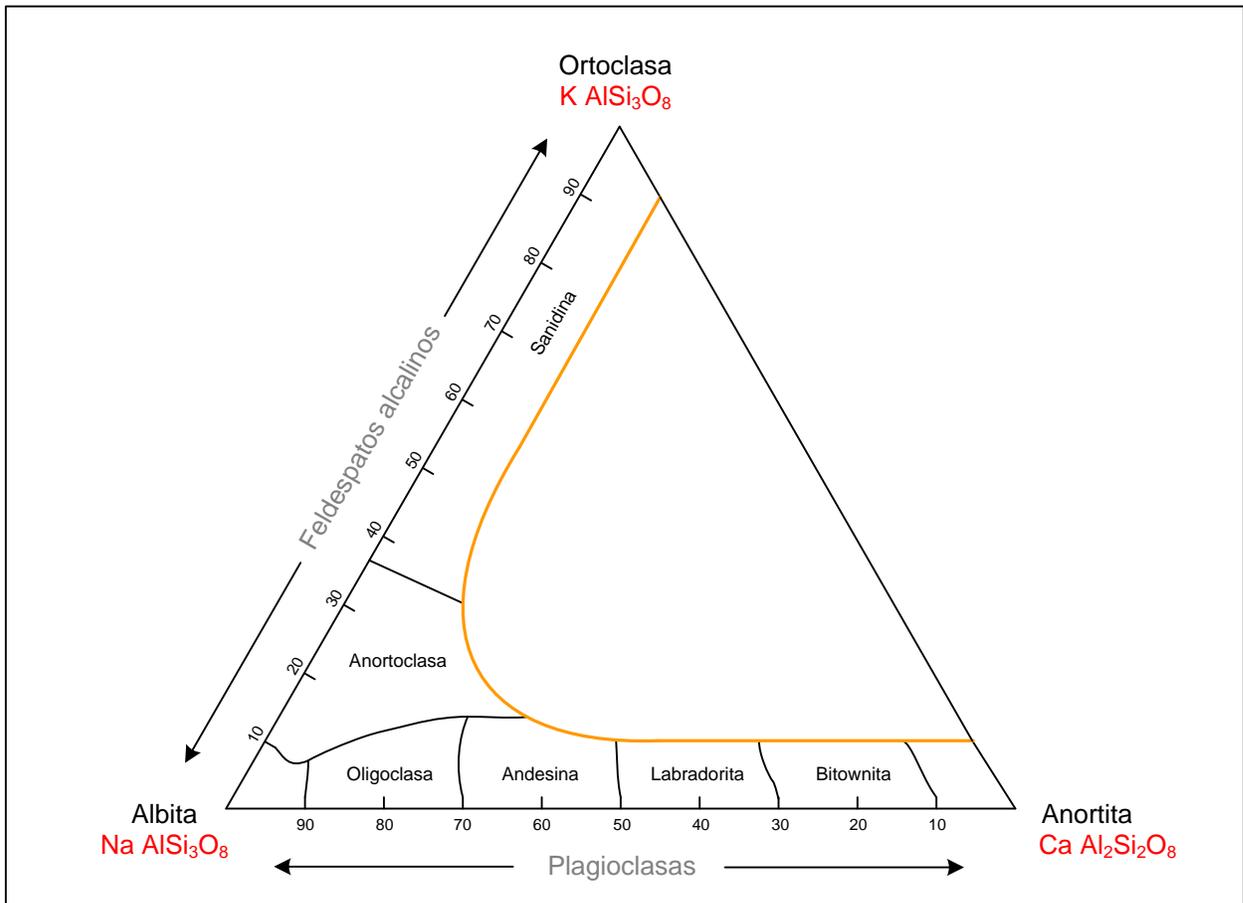


Figura 2.1. Composición de los feldespatos más comunes

Fuente: Curso de Mineralogía Descriptiva, 2000

2.3. EQUIPOS EMPLEADOS EN EL PROCESAMIENTO DE FELDESPATO

2.3.1. Sistemas Alimentadores

Para asegurar un flujo uniforme entre las unidades de almacenaje, manejo y procesamiento de una material sólido a granel, cobra especial importancia el uso de los sistemas alimentadores. Entre los múltiples usos que se le dan a los sistemas alimentadores se pueden citar: la transferencia de materiales desde los vagones de carga o los camiones de volteo hasta las cintas transportadoras, desde tolvas y silos hasta las unidades de procesamiento y, de productos terminados a empaquetamiento final.

La selección de la combinación adecuada de elevadores y transportadores, depende del tipo y de la ubicación de las tolvas y de la cantidad de material a ser manejada en un periodo de tiempo dado. Es importante que el sistema de transporte sea diseñado de manera que:

- ✓ Se minimice la generación de polvo.
- ✓ Todo el sistema debe ser accesible para mantenimiento y reparación.

- **Alimentador vibratorio**

Un alimentador vibratorio consiste en una mesa montada sobre resortes impulsada mediante un mecanismo que ocasiona que el material se mueva hacia arriba y hacia abajo sobre la superficie de la mesa (ver figura 2.2).

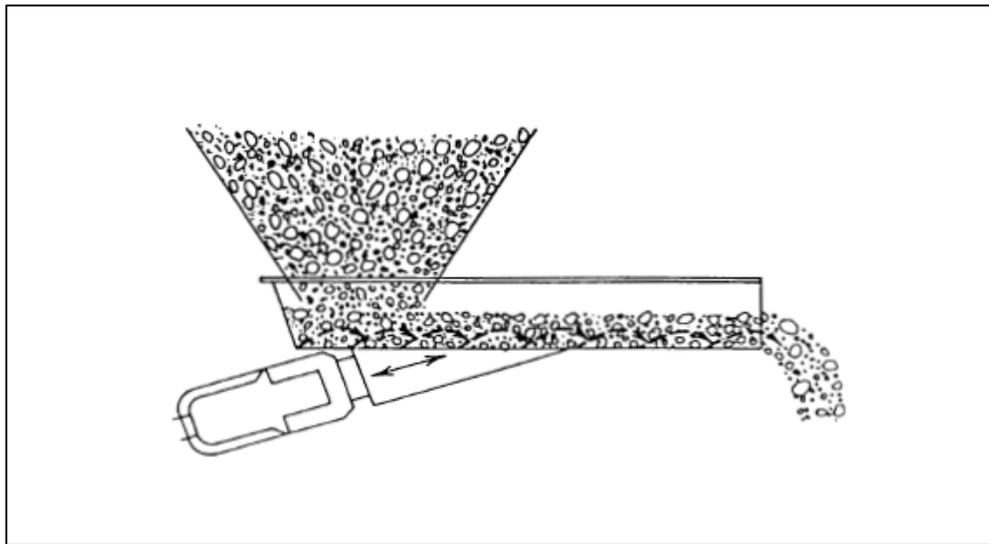


Figura 2.2. Diagrama esquemático de un alimentador vibratorio.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

Existen en el mercado dos tipos disponibles de alimentadores vibratorios: de fuerza directa y de fuerza indirecta. De fuerza directa son aquellos donde la fuerza producida por contrapesos que rotan se aplica directamente sobre la mesa del alimentador. Este diseño es, esencialmente, de rata constante y no permite ejercer un control preciso sobre el flujo debido a las variaciones que se producen en la descarga de las tolvas. Sin embargo, este tipo de alimentador es de bajo costo de inversión y

puede manejar un amplio espectro de materiales. De fuerza indirecta son aquellos donde la fuerza de vibración es producida por una fuente de excitación y amplificada por los resortes de suspensión. Estos equipos requerirán menor consumo de potencia y menor mantenimiento que los de fuerza directa. Las fuentes de excitación más usadas son las electromagnéticas y las electromecánicas.

El flujo de los alimentadores vibratorios es una función de la densidad a granel del material, del ancho y profundidad del lecho formado sobre la mesa y de la velocidad lineal superficial. Una inclinación de la mesa respecto a la horizontal redundará en una mayor velocidad lineal.

El comportamiento de los alimentadores vibratorios frente a materiales muy finos o cohesivos es muy sensible, y se debe consultar a los expertos en el área a fin de obtener recomendaciones que reduzcan la posibilidad de que el equipo opere de manera indeseada (Manual de diseño PDVSA, 1997).

- **Alimentador de tornillo**

Los alimentadores de tornillo consisten, básicamente, en una espiral metálica montada sobre un eje central. El espaciamiento entre las alas del tornillo es variable al igual que sus diámetros. De esta forma se pueden encontrar tornillos uniformes o de diseños especiales, de acuerdo a las características del material y de la tolva (ver figura 2.3).

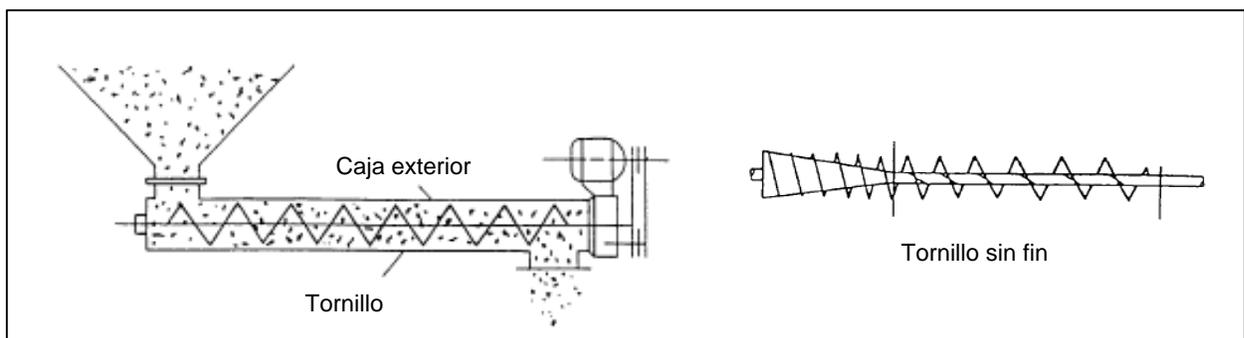


Figura 2.3. Diagrama esquemático de un alimentador de tornillo.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

Los alimentadores de tornillo pueden manejar muy diversos tipos de materiales y rangos de tamaño. Por ser un equipo de desplazamiento positivo, puede alimentar materiales contra presiones mayores a los 15 psig. Una ventaja adicional representa el que este equipo no tiene elementos de retorno como los alimentadores de correa, por lo que no produce pérdidas de material, pudiéndose encerrar completamente para permitir un control total sobre las emanaciones de polvo. Cuando se maneje materiales adhesivos o cohesivos se requerirá de aletas de diseño especial. Materiales muy finos de extrema fluencia pueden ser difíciles de manejar con equipos estándares, creando condiciones de flujo inestable (Manual de diseño PDVSA, 1997).

2.3.2. Bandas Transportadoras

Las correas transportadoras son uno de los sistemas más versátiles para el transporte y manejo de materiales sólidos a granel. Estos equipos permiten manejar una amplia gama de materiales en un amplio rango de capacidades (ver figura 2.4).

La eficiencia o la efectividad de una correa transportadora dependerá de la escogencia adecuada de los cinco elementos básicos que las configuran, en combinación con la integración apropiada de la unidad al sistema.

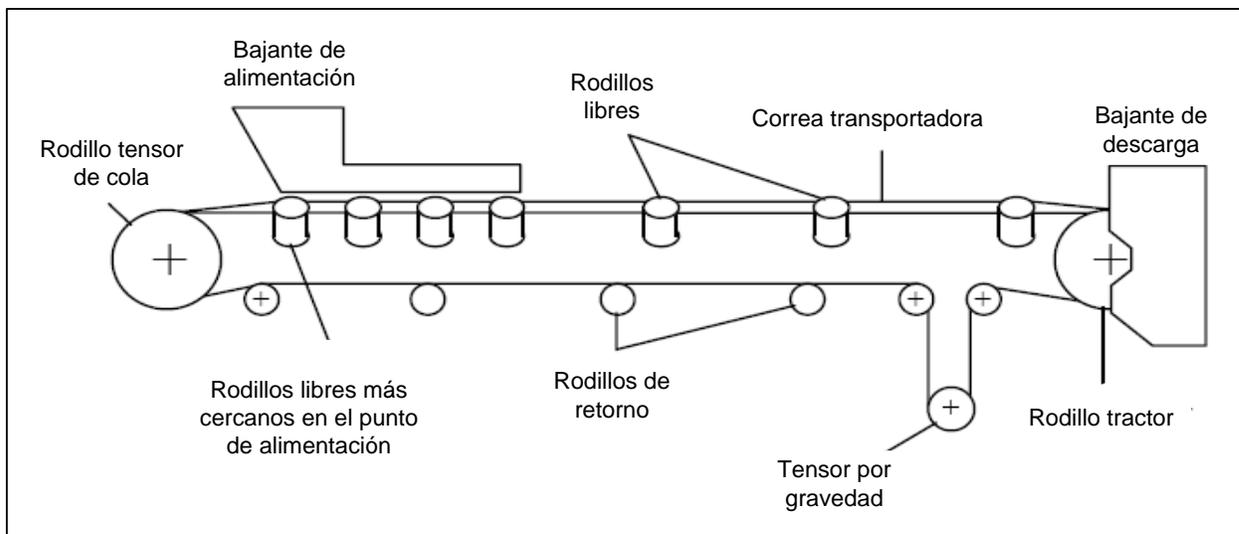


Figura 2.4. Diagrama esquemático de una banda transportadora.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

La pendiente de las bandas transportadoras se limita a un máximo de 30° y frecuentemente está en un rango de 18° a 20°. El diseño de estos equipos se inicia con el estudio de los materiales a manejar. Se debe considerar el peso por pie cúbico del material, de igual manera y como factor muy importante, el tamaño de granos y terrones. Cuanto mayores son los terrones, mas peligro habrá de que el material se caiga de las bandas o se ruede hacia atrás en los tramos inclinados. Por otra parte, partículas muy finas en los materiales, generan demasiado polvo y propician la pérdida de cantidades importantes de material, así como favorecen la presencia de segregación durante el transporte (Manual de diseño PDVSA, 1997).

La figura 2.5 muestra las características típicas de la sección transversal de una correa transportadora, mostrando el ángulo de inclinación de sus zonas laterales. Los ángulos estándares de inclinación de las zonas laterales de las correas son 0°, 20°, 35° y 45°.

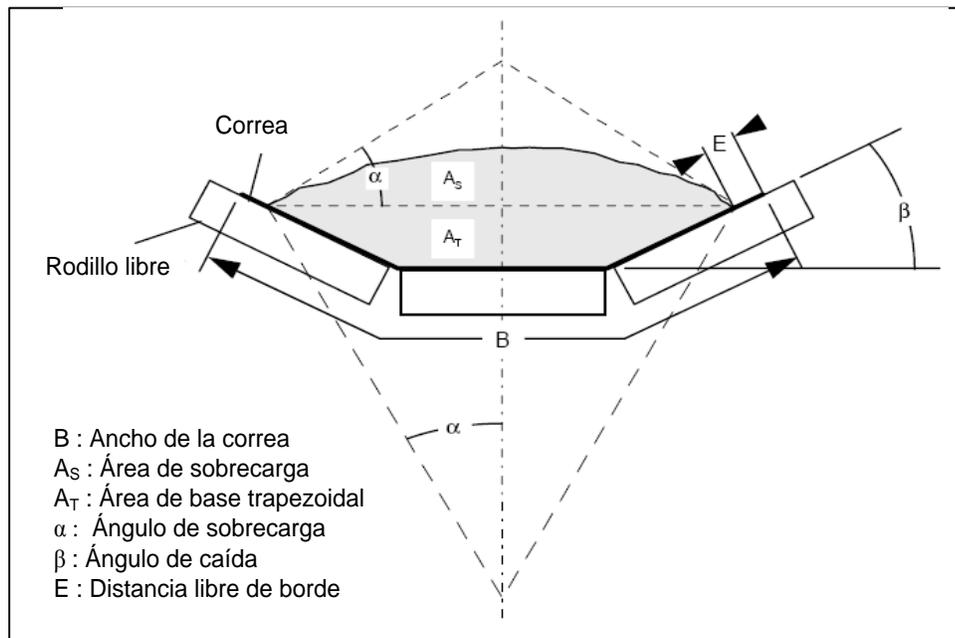


Figura 2.5. Sección transversal de una banda transportadora.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

Es muy importante el mantenimiento apropiado y periódico del sistema banda-rodillos, de manera de evitar hundimientos y vibraciones en el lado portador de la

banda, lo cual ocasiona pérdidas considerables del material transportado (Manual de diseño PDVSA, 1997).

2.3.3. Elevador de Cangilones

Los elevadores de cangilones están constituidos esencialmente por una cinta en forma de anillo, en la que están fijados cangilones a intervalos regulares, que giran sobre dos correas puestas en los extremos del aparato, todo encerrado en una cubierta metálica denominada “caña”. Se utilizan para el desplazamiento vertical, 10° de inclinación como máximo. La polca de cabeza realiza las funciones de tambor motor y su diámetro está dimensionado para permitir una fácil y completa descarga del material (ver figura 2.6).

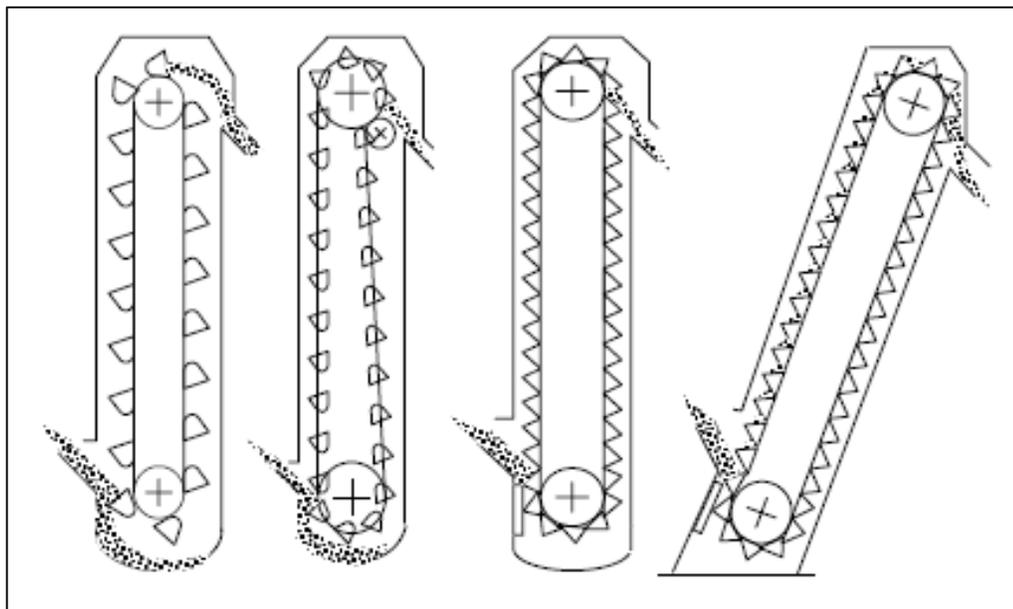


Figura 2.6. Diagrama esquemático de los tipos de elevadores de cangilones.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

El producto es conducido al pie del elevador para ser recogido en secuencia continua por los cangilones y transportados en vertical sobre el cabezal donde, por la peculiar forma de éste y por el efecto de la velocidad de transporte, es proyectado hacia la descarga. Los elevadores de cangilones ofrecen la ventaja de un montaje fácil, permiten alcanzar una gran altura, ocupa poco espacio y su precio es moderado (Manual de diseño PDVSA, 1997).

2.3.4. Almacenamiento de Material Granulado

El almacenamiento de material granulado se realiza tanto a cielo abierto como mediante el uso de tolvas. Dentro de esta última definición se encuentran los silos, contenedores, tanques de sólidos, y toda una gama de definiciones empleadas en usos particulares, todos son tolvas de diferentes diseños.

- **Almacenamiento a cielo abierto**

El almacenamiento a cielo abierto es el método más económico para mantener altos inventarios de materiales sólidos a granel, minimizando la inversión y el mantenimiento de estructuras y equipo auxiliar. El almacenamiento a cielo abierto es una práctica común en un gran número de industrias, aplicándose principalmente a materiales que reúnen las siguientes características:

- ✓ No higroscópicos.
- ✓ Con tamaños de partícula mayor a 200 micrones.
- ✓ Desaireados.
- ✓ Poco propensos a ser arrastrados por el viento.
- ✓ Con propiedades que no se alteran al estar expuestos a la intemperie.
- ✓ No contaminantes.
- ✓ Con una buena relación peso / volumen.

Entre los materiales que comúnmente son almacenados a cielo abierto encontramos al carbón, los minerales, los materiales aglomerados y la arena. Sin embargo, esta práctica no se restringe a los criterios listados, ya que también se almacenan normalmente a cielo abierto la sal (que es higroscópica), las astillas de madera y el aserrín (que poseen baja densidad y pueden ser arrastrados por el viento), y otros materiales. La capacidad del terreno para soportar las pilas es la primera condición a evaluar. Dependiendo de la densidad del material, algunas pilas de 3 a 6 m pueden exceder la resistencia del terreno. Algunos materiales a granel han sido almacenados en pilas de más de 31 m. Cuando exista la duda, se debe realizar estudios geotécnicos para determinar la máxima altura posible de la pila. Es importante

recalcar que siempre se debe buscar el maximizar la altura de la pila para obtener la mayor capacidad de almacenamiento posible (Manual de diseño PDVSA, 1997).

La selección apropiada de los apiladores es de capital importancia, ya que estos equipos representan una parte preponderante de los costos de inversión y mantenimiento del sistema. En la tabla 2.1 se clasifican los tipos de apiladores según su diseño y capacidad volumétrica.

TABLA 2.1. TIPOS DE APILADORES

Tipo de apilador	Descripción	Ventajas	Desventajas	Volumen de almacenamiento promedio (m³ x 1000)
Fijo	Transportador que se extiende sobre una pila. Forma pilas cónicas.	Más barato. Menos complicado. Más eficiente.	Menor capacidad de pila.	< 15
Radial	Transportador montado sobre una rueda que le permite efectuar una descarga semicircular.	Barato. Sencillo. Eficiente.	Capacidad limitada.	3 – 60
Lineal	Transportador montado sobre una rueda y desplazamiento lineal.	Gran capacidad. Eficiente.	A veces costoso y/o complicado.	30 – 600
Elevado	Transportador elevado con descarga móvil. Forma pilas cónicas.	Alta capacidad. Eficiente. Fácil de cerrar.	Altos costos de estructura y fundaciones.	30 – 600
Portátil	Transportador montado sobre ruedas, fácil de ubicar en diferentes sitios.	Barato. Flexible.	Alta labor.	> 30
Móvil	Transportador móvil montado sobre rieles. Permite almacenar altos volúmenes de material en áreas extensas.	Alta capacidad. Flexible.	Alto costo. Requiere alto mantenimiento	> 600

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

- **Tolvas**

Son contenedores de materiales sólidos a granel con una o más bocas de descarga. Esta descarga puede realizarse tanto por gravedad, como asistida por equipos especiales.

Una tolva puede dividirse en dos secciones principales: zona contenedor y cono de descarga. El contenedor es de sección transversal constante y, usualmente, de forma cilíndrica, rectangular o cuadrada. El cono de descarga es, generalmente, una pirámide invertida, de sección cilíndrica, rectangular o cuadrada, que termina en una o más bocas o aberturas en las cual se puede anexar válvulas, alimentadores o equipos promotores de flujo.

La mayoría de los problemas de flujo que pueden desarrollarse cuando se opera una tolva están asociados con el patrón de flujo a la descarga. Básicamente, existen dos tipos principales de patrones de flujo: flujo embudo y flujo total. Un tercer tipo, el flujo expandido, es una combinación de los dos primeros. El flujo embudo describe una condición en la cual algunos materiales dentro de la tolva se encuentran en movimiento mientras otros están estacionarios durante la descarga, por otra parte, el flujo total describe una condición en la cual todo el material contenido en una tolva se encuentra en movimiento durante la descarga. Esto no implica necesariamente, que la velocidad del material en la sección transversal sea constante, sólo que todo el material se encuentra en movimiento (Manual de diseño PDVSA, 1997). Generalmente, las tolvas de flujo total requieren de más espacio que las de flujo de embudo (ver figura 2.7).

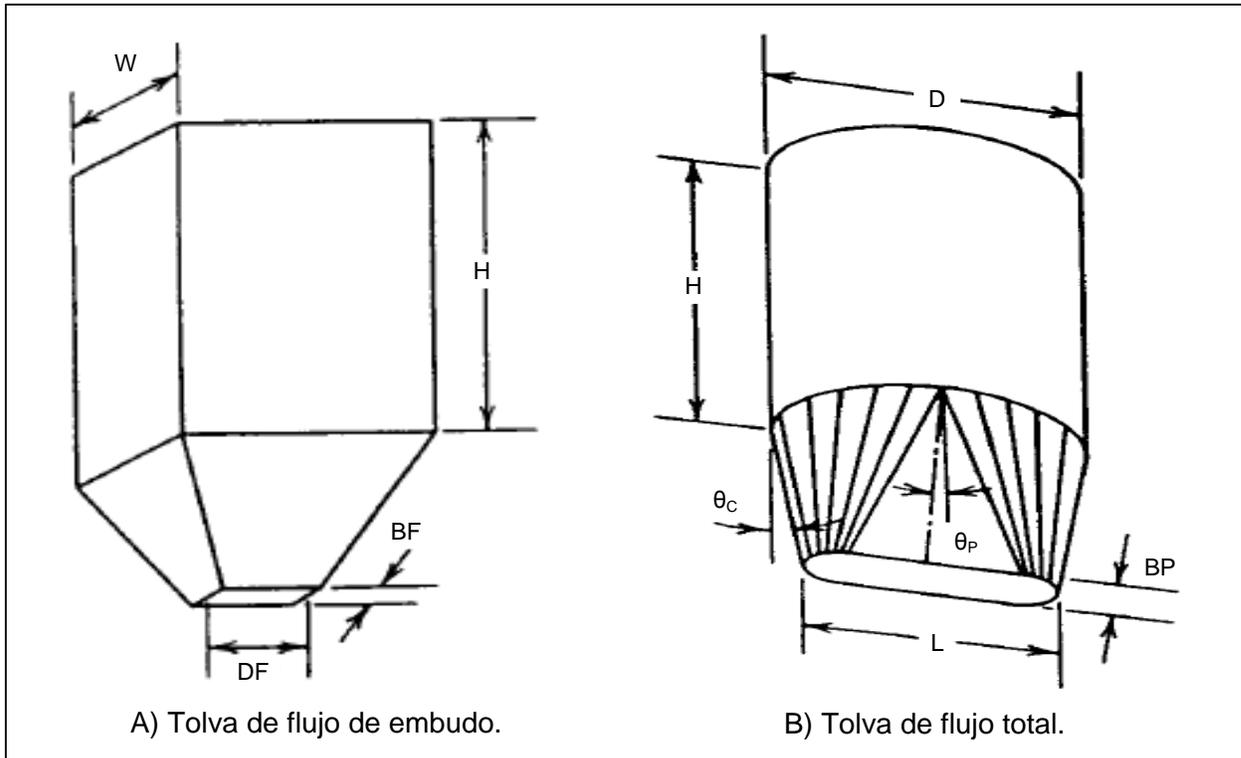


Figura 2.7. Tolvas de flujo de embudo y de flujo total más comunes.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

2.3.5. Secadores

En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. Secado es un término relativo y tan sólo quiere decir que hay una reducción del contenido de líquido.

El producto que se seca puede soportar temperaturas elevadas o bien requiere un tratamiento suave a temperaturas bajas o moderadas. Esto da lugar a que en el mercado exista un gran número de tipos de secadores comerciales. Las diferencias residen fundamentalmente en la forma en que se mueven los sólidos a través de la zona de secado y en la forma en la que se transmite calor (McCabe y col., 1991).

2.3.5.1. Fundamentos del secado

Debido a la gran variedad de materiales que se secan y a los muchos tipos de equipo que se utilizan, no existe una sola teoría de secado que comprenda todos los materiales y tipos de secadores. Las variaciones posibles en forma y tamaño de los materiales, de la humedad de equilibrio, de los mecanismos del flujo de humedad a través del sólido, así como en el mecanismo de transmisión de calor que se requiere para la vaporización, impiden que se pueda hacer un tratamiento unificado. Son conocidos, sin embargo, los fundamentos generales, que se utilizan en forma semicuantitativa. Los secadores rara vez se diseñan por los usuarios, sino que se adquieren a compañías especializadas en la ingeniería y fabricación de este tipo de equipos. En la figura 2.8 se presentan los sistemas de secado más usados actualmente.

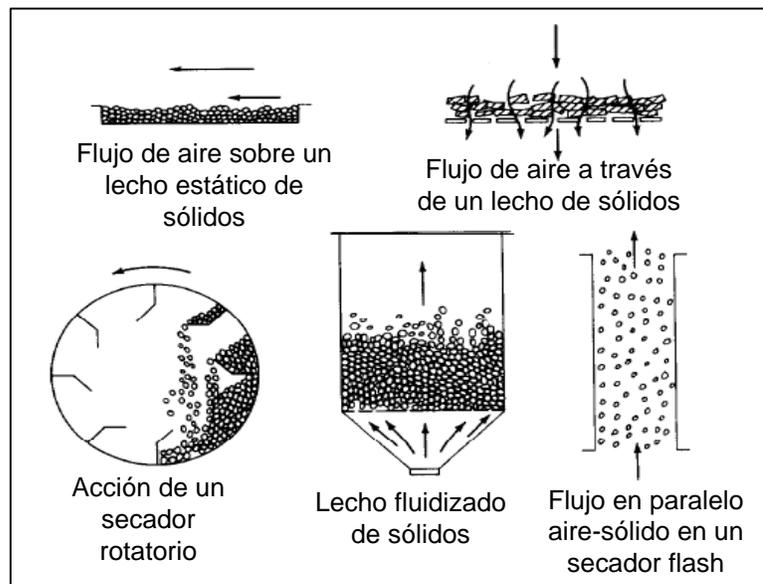


Figura 2.8. Diagrama esquemático de varios tipos de secadores según su tipo.

Fuente: McCabe y col., 1991.

- **Secadores rotatorios**

Un secador rotatorio consiste en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontalmente o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, unas pestañas levantan los sólidos para caer después en forma de lluvia a través del interior de la carcasa. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro. Los secadores rotatorios se calientan por contacto directo del aire

con los sólidos, aire caliente que pasa a través de la carcasa, o por medio de vapor de agua que condensa en un conjunto de tubos instalados sobre la superficie interior de la carcasa. El último de estos tipos recibe el nombre de secador rotatorio con tubos de vapor de agua. En un secador rotatorio directo-indirecto el aire pasa primeramente por una cámara de combustión y luego a través de la carcasa, donde se pone en contacto con los sólidos (McCabe y col., 1991).

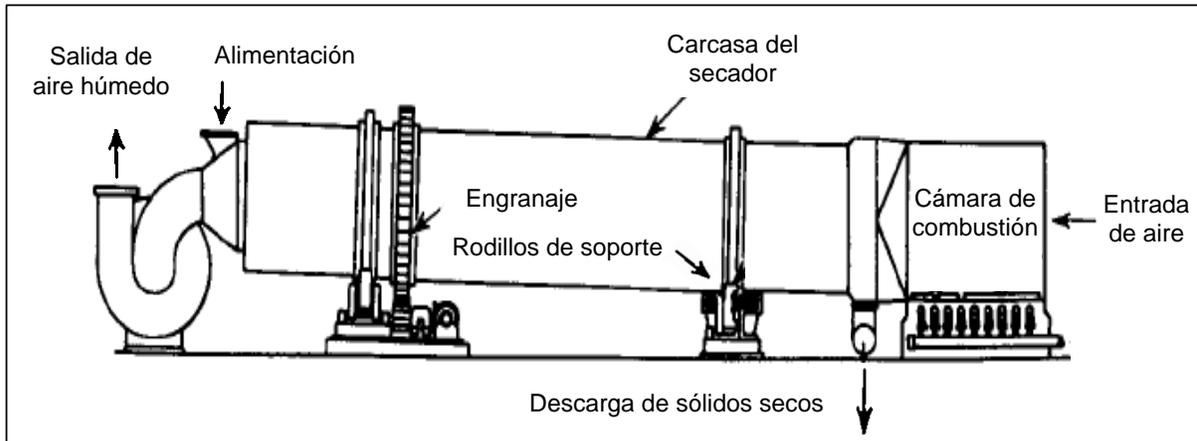


Figura 2.9. Diagrama esquemático de un secador rotatorio.

Fuente: McCabe y col., 1991.

- **Secado de lecho fluido**

Una de las técnicas convencionales de secado por aire caliente, normalmente utilizada en la industria minera y farmacéutica, son los sistemas por lecho fluido. Estos sistemas mantienen en suspensión un producto triturado dentro de una cámara de tratamiento mediante una corriente de aire caliente ascendente. De este modo se consigue secar de forma rápida, homogénea y controlada el producto.

El incremento de la velocidad del aire induce el aumento a su vez de las fuerzas de resistencia ejercidas sobre las partículas, originando que estas últimas se expandan y se reordenen de tal forma que ofrezcan una mínima resistencia al paso del fluido. Con sucesivos incrementos de la velocidad, se alcanza una etapa en la que las fuerzas de resistencia ejercidas sobre las partículas son suficientes para soportar el peso de las mismas. Este es el punto de fluidización incipiente, en el que el sistema fluido/partícula empieza a comportarse como un líquido. Al principio de la fluidización el lecho está

expandido de forma uniforme, pero para crecientes velocidades del fluido, el sistema llega a ser inestable, formándose cavidades que contienen pocas partículas sólidas. Esta situación es similar a las burbujas de vapor que se forman en un líquido hirviendo. Estas cavidades o burbujas son las responsables de la recirculación de las partículas dentro del lecho fluido, estando relacionada esta circulación con los procesos de transferencia de masa y de calor en este tipo de sistemas.

Entre las principales ventajas que presenta esta técnica de secado se destaca una elevada área superficial de contacto entre el sólido y el fluido. Se obtienen así altas tasas de transferencia de masa y de calor entre ambos, y como consecuencia elevadas intensidades de secado en el producto. Otras ventajas destacadas son la comparativa facilidad con la que los sólidos fluidizados pueden ser manejados, la capacidad de separación de las partículas ya secas y la elevada conductividad térmica interna efectiva en el interior de la cámara de tratamiento. A su vez, como limitaciones intrínsecas a estos sistemas, se puede destacar la elevada tendencia al desgaste y a la aglomeración de las partículas fluidizadas. El primer caso es provocado por la degradación de las mismas, dando lugar a una pérdida de partículas que abandonan el lecho. El segundo caso induce la aglomeración de partículas, de tamaño excesivo para que puedan fluidizar, provocando de este modo su asentamiento o deposición. Resaltar también las limitaciones operativas existentes tanto en el intervalo de velocidades del aire como en el tamaño de las partículas exigido para que éstas puedan estar suspendidas en el lecho fluido (McCabe y col., 1991).

El secador de lecho fluido puede ser utilizado exitosa y eficientemente para el secado de partículas húmedas, siempre y cuando éstas puedan permanecer en una condición de fluido. Éste tipo de secador es fácil de construir y de operar a altas eficiencias térmicas. El tamaño del secador puede variar desde unidades pequeñas, como las usadas por laboratorios e industria farmacéutica, hasta grande como las utilizadas para el secado del carbón y mineral. El secador de lecho fluido puede clasificarse en varios tipos dependiendo de las características de flujo, operaciones de alimentación y descarga, tipo de calentamiento, geometría del recipiente de fluidizado y

modo de operación utilizando vibraciones o de lecho de borboteo. En la figura 2.10 se muestra un diagrama esquemático de varios tipos de secadores de lecho fluido.

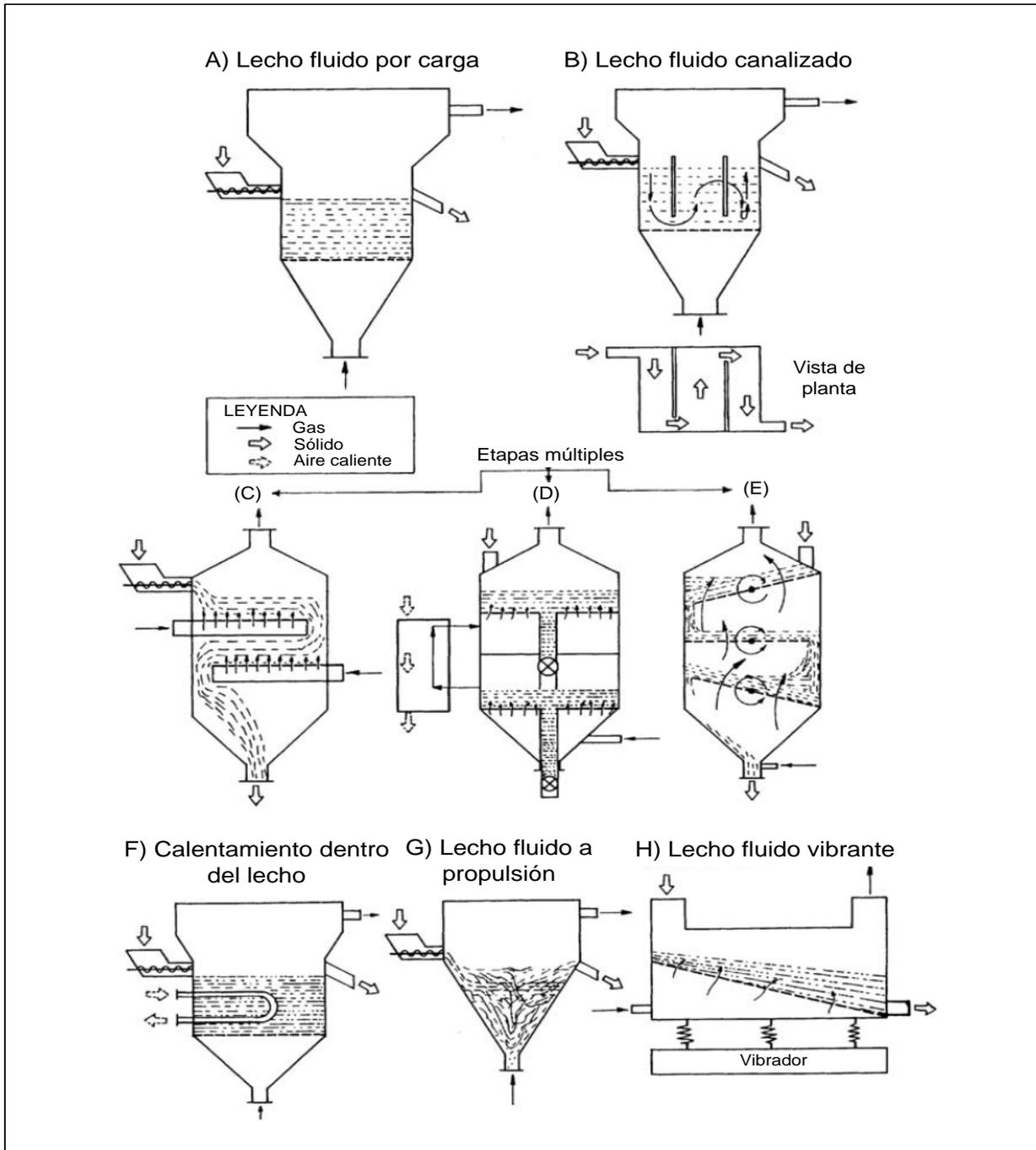


Figura 2.10. Diagrama esquemático de varios tipos de secadores de lecho fluido.

Fuente: McCabe y col., 1991.

2.3.6. Sistema de Molienda

La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado (Metso Minerals, 2007). De estos métodos de reducción de materiales sólidos, se destaca el uso de molinos de impactor de eje vertical (VSI, por sus siglas en inglés) roca contra roca de la serie Barmac en el procesamiento de minerales, donde el equipo cuenta con un sistema de alimentación de cascada para introducir una segunda corriente de material, en cantidades controladas, dentro de la turbulencia de una cámara de trituración, lo cual provoca una sobrecarga en la población de partículas dentro de la cámara, y por ende mejora la transferencia de energía en las partículas (ver figura 2.11).

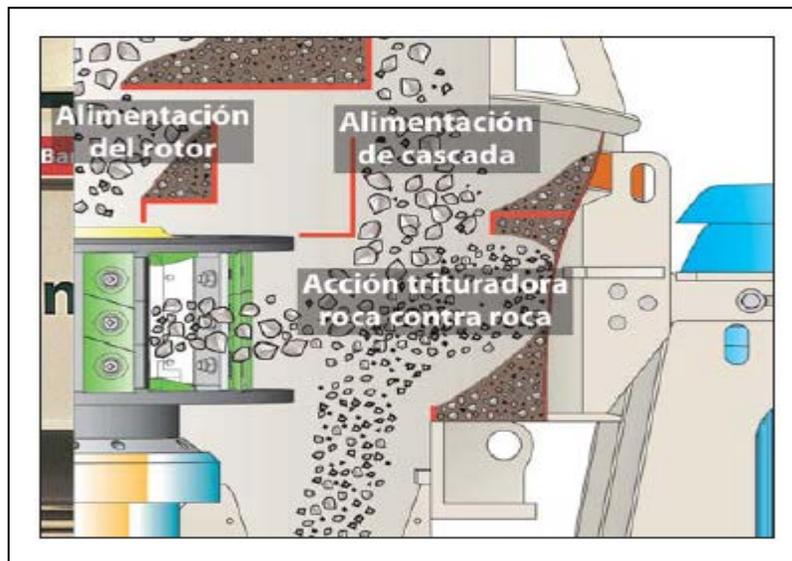


Figura 2.11. Acción trituradora roca contra roca de un molino Barmac serie B.

Fuente: Metso Minerals, 2007.

2.3.7. Ciclones

Los separadores ciclónicos son equipos purificadores de gas que emplean una fuerza centrífuga, generada haciendo girar una corriente de gas, con el fin de separar las partículas (sólidas o líquidas) del gas que las transporta.

No tiene partes móviles, está formado por un cilindro vertical con el fondo cónico, una entrada tangencial en la parte superior y una salida para el polvo en el fondo cónico. El conducto de salida (chimenea), se prolonga dentro del cilindro para impedir cortocircuito entre el aire de entrada y el de salida. La trayectoria de los gases es un torbellino descendente en espiral, adyacente a la pared, el cual trata de alcanzar el fondo del cono, pero a cierta altura cambia ascendiendo en espiral de menor diámetro en el centro del cuerpo. Esta espiral es concéntrica con la descendente y gira en el mismo sentido, finalmente el gas sale, todavía girando, a través de la chimenea. Un diagrama esquemático del flujo de aire se muestra en la figura 2.12 (Manual de diseño PDVSA, 1997).

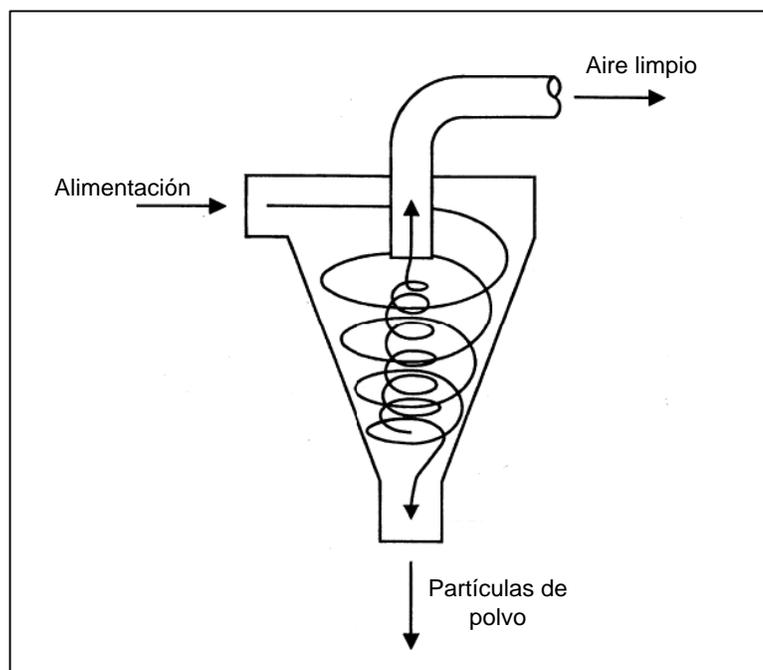


Figura 2.12. Diagrama esquemático de la trayectoria del flujo de aire en un ciclón.

Fuente: Manual de diseño PDVSA, 1997.

2.3.8. Filtro de Manga

Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso: aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa. Eliminan

las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido.

La separación del sólido se efectúa haciendo pasar el aire con partículas en suspensión mediante un ventilador, a través de la tela que forma la bolsa, de esa forma las partículas quedan retenidas entre los intersticios de la tela, formando una torta filtrante. De esta manera la torta va engrosando, con lo que aumenta la pérdida de carga del sistema. Para evitar disminuciones en el caudal se procede a efectuar una limpieza periódica de las mangas.

La característica principal que diferencia unos tipos de filtros de mangas de otros es la forma en que se lleve a cabo su limpieza. Esto además condiciona que los filtros sean continuos o discontinuos. En los continuos, la limpieza se realiza sin que cese el paso del aire por el filtro; mientras que en los discontinuos, es necesario aislar temporalmente la bolsa de la corriente de aire (Emison, 2001).

2.3.9. Cribas y Tamices

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. Además de lo anterior, se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas (cemento, caliza, arcilla, etc.).

El tamiz consiste en una superficie con perforaciones uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz.

Los tipos de tamices que vibran rápidamente con pequeñas amplitudes se les llama tamiz vibratorio. Las vibraciones pueden ser generadas mecánica o eléctricamente. Las vibraciones mecánicas usualmente son transmitidas por excéntricos de alta velocidad hacia la cubierta de la unidad, y de ahí hacia los tamices. El rango de vibraciones es aproximadamente 1800 a 3600 vibraciones por minuto.

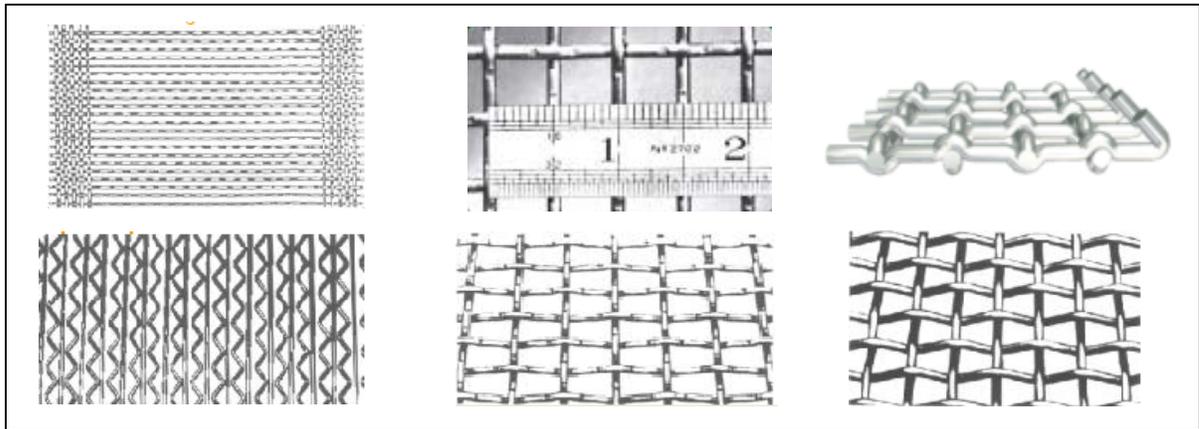


Figura 2.13. Tipos de mallas utilizados para el cribado.

Fuente: www.Cribas.biz, 2007

Las mallas usadas para las cribas deben estar entretejidas con un alambre que sea rígido y que sea resistente a la corrosión, como lo son el latón, el bronce o aceros inoxidable. El alambre no debe recubrirse o enchaparse y debe estar igualmente tenso en todas las direcciones de modo que no se altere la geometría de la malla. Este alambrado debe unirse al marco por medio de puntos de soldadura, excepto aquellas mallas con aberturas de 0,063 mm o menos (Manual de diseño PDVSA, 1997).

CAPÍTULO III. MARCO DESCRIPTIVO

En esta sección se presenta una breve reseña de la empresa Feldepatos Procesados C.A. y su estructura física, así como una descripción del proceso productivo del feldepatato.

3.1. RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.

En sus inicios, la empresa empleaba alrededor de 15 personas entre obreros y personal administrativo y poseía una capacidad de procesamiento de 178.200 toneladas anuales de feldepatato.

Para el año 2006, gracias a la iniciativa de Carlos Enrique Landaeta y Chady Makarem, quienes de ahora en adelante serán parte importante en la dirección de la firma, se realiza un conjunto de proyectos destinados a mejorar la gestión productiva de la empresa, incluyendo un nuevo modelo de producción donde los accionistas, el trabajador y la comunidad organizada son partícipes de los beneficios generados de la actividad productiva; lo cual permitirá generar más de 60 empleos e incrementar la capacidad de producción para satisfacer la creciente demanda de la industria nacional. La planta queda ubicada en el Hato San Antonio, a 58 km de Valencia, en las cercanías de la población de Tinaquillo, estado Cojedes.

3.1.1. Lineamiento de la Empresa

La empresa tiene como misión proveer el mejor producto para las diferentes aplicaciones en la industria, a través de tecnología de punta y capacitación de los recursos humanos bajo un modelo socio-económicamente sostenible con preservación del medio ambiente. La empresa tiene como visión ser líder en el procesamiento de feldepatato de referencia nacional e internacional, por sus excelentes propiedades de producto, alta tecnificación, profunda sensibilidad social y conservación del medio ambiente, que satisfagan las expectativas de sus grupos de interés. Los valores de la empresa son:

- Comprender y llenar las expectativas y requerimientos de los clientes.
- Comprometidos con la seguridad, salud y protección del entorno.
- Respeto mutuo y aprecio de las contribuciones que pueda hacer cada uno.
- Trabajo en equipo y comunicación abierta.
- Entrenamiento y desarrollo permanente de las capacidades y actitudes.
- Apertura y confianza en todas las relaciones.
- Igualdad de oportunidades para desarrollar las potencialidades.
- Dedicados al mejoramiento continuo de los procesos y técnicas de producción.
- Responsabilidad y honestidad en el desempeño de las actividades.
- Evolución y fortalecimiento de la estructura organizativa.
- Comprometidos con la inclusión de la comunidad organizada en la participación de los beneficios obtenidos de la actividad productiva.
- Ganancias para promover el crecimiento empresarial a largo plazo y mejoramiento de la calidad de vida y de las comunidades circundantes.

3.1.2. Mercados

Feldespatos Procesados C.A. cubre gran parte del mercado nacional, destacándose empresas como Owens Illinois, TRENCO, Cerámicas Carabobo, entre otras. Entre los mercados a los cuales se les supe materia prima, se tiene:

- | | |
|----------|------------|
| • Vidrio | • Cerámica |
| • Pego | • Goma |

3.2. PROCESO PRODUCTIVO DE FELDESPATO

Este proceso consiste en un conjunto de etapas en serie, las cuales son descritas a continuación:

3.2.1. Extracción del Mineral

La extracción del mineral se realiza a través de minado a cielo abierto, en donde se usan palas mecánicas-hidráulicas y explosivos, para lograr la fragmentación de la roca, de manera que pueda ser removida de su posición original y ser depositada fuera de la mina como material suelto a una granulometría manejable.

3.2.2. Sección de Trituración y Parque de Almacenamiento

En esta primera sección del procesamiento de feldespato, la granulometría de los minerales procedentes de la explotación minera será reducida, con objeto de proceder posteriormente a su clasificación en tres fracciones granulométricas.

La trituración se efectúa en dos etapas, una primaria y otra secundaria. El mineral procedente del yacimiento es primeramente surtido por medio de un alimentador vibratorio a una trituradora de mandíbula que se encuentra en un circuito abierto, que permite obtener un producto de granulometría manejable, el cual será conducido por medio de una banda transportadora de 22" de ancho a una segunda etapa de trituración, que consiste en un triturador de cono dispuesto en un circuito cerrado por medio de un sistema de cribado, que consta de dos mallas con aberturas de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ "; este sistema cerrado está dispuesto de manera que el rechazo de la malla de $\frac{3}{4}$ " sea recirculado y procesado por el triturador de cono, cuya alimentación se realiza con una banda transportadora de 36", mientras que el material pasante alimenta a la malla de $\frac{3}{8}$ ", en donde su rechazo es reclasificado por otra malla de $\frac{1}{2}$ " abertura en donde se obtienen dos subproductos, arrocillo $\frac{1}{2}$ " y piedra picada o también llamado material $\frac{3}{4}$ ". Por su parte, el material pasante de la malla de $\frac{3}{8}$ ", es conocido como polvillo (ver figura 3.1). Estos sub-productos son almacenados en pilas a cielo abierto.

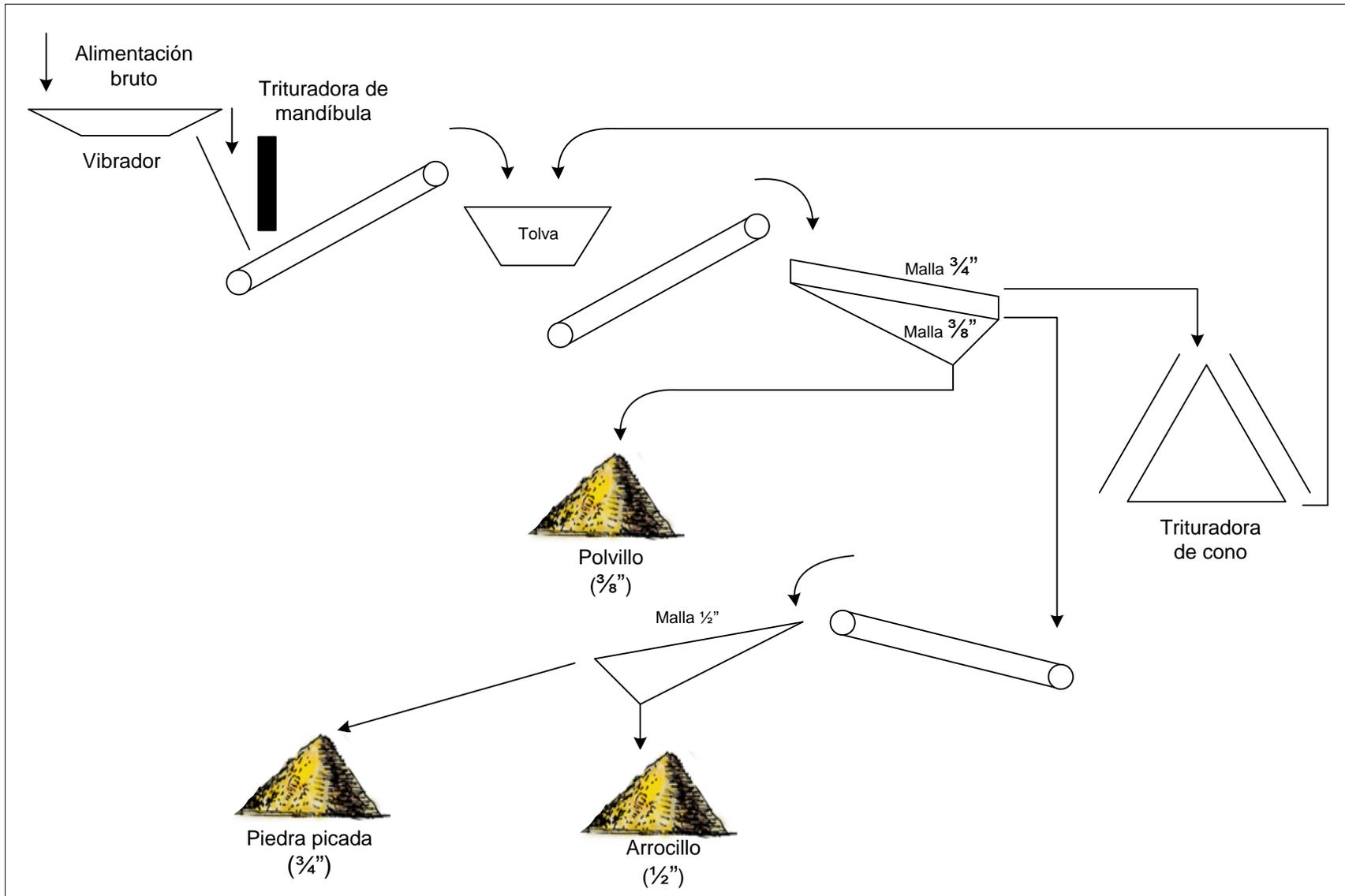


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la sección de trituración primaria de Feldespatos Procesados C.A.
 Fuente: Feldespato Procesado C.A.

3.2.3. Sección de Secado

La piedra picada o material $\frac{3}{4}$ " proveniente de la sección de trituración primaria es almacenado en una tolva de flujo embudo de 30 toneladas y es alimentada a un secador rotatorio por medio del uso de una banda transportadora de 24" de ancho, con una velocidad de 0,7 m/s. Este secador, con un diámetro de 1,6 m, 13 m de largo, velocidad de giro de 2 rpm y un ángulo de inclinación de 1° , opera manteniendo una temperatura promedio entre 70°C y 80°C , usando gasoil como combustible y aire suministrado en contracorriente al flujo de roca. En la salida del secador, se encuentra una criba de $\frac{1}{4}$ ", en donde el rechazo es transportado con una banda transportadora de 24", con una velocidad de 0,8 m/s a la sección de molienda, mientras que el material pasante es depositado en una laguna espesadora (ver figura 3.2).

3.2.4. Sección de Molienda

El material $\frac{3}{4}$ " proveniente de la sección de secado es almacenado en una tolva de flujo embudo de 75 toneladas, desde donde es alimentado a través de una banda transportadora de 24", con una velocidad de 1,56 m/s, a un circuito de molienda cerrado, que opera con un molino modelo Barmac B7000 a 200 hp, al que se le alimenta 9 TM/h. Esta sección de molienda presenta un sistema de cribado constituido por tres mallas en serie; siendo estas de $5\frac{1}{16}$ ", $\frac{1}{8}$ " y 25 malla Tyler, en donde el material de rechazo de todas las mallas es recirculado hacia la banda transportadora alimentadora del molino, mientras que el material pasante es alimentado a un atricionador, el cual es un tanque donde se realiza el lavado con un flujo de agua de 21.000 L/h, con la finalidad de eliminar el óxido de hierro presente en el mineral, ya que éste se considera como impureza por la industria de vidrio, afectando la calidad del mineral como materia prima. El óxido de hierro se suspende en el agua de lavado y es bombeado hacia la laguna espesadora, mientras que el material procesado es transportado por medio de un tornillo helicoidal hacia un apilador radial que posee una banda transportadora de 18" y con una velocidad de 1 m/s. Ver figura 3.3.

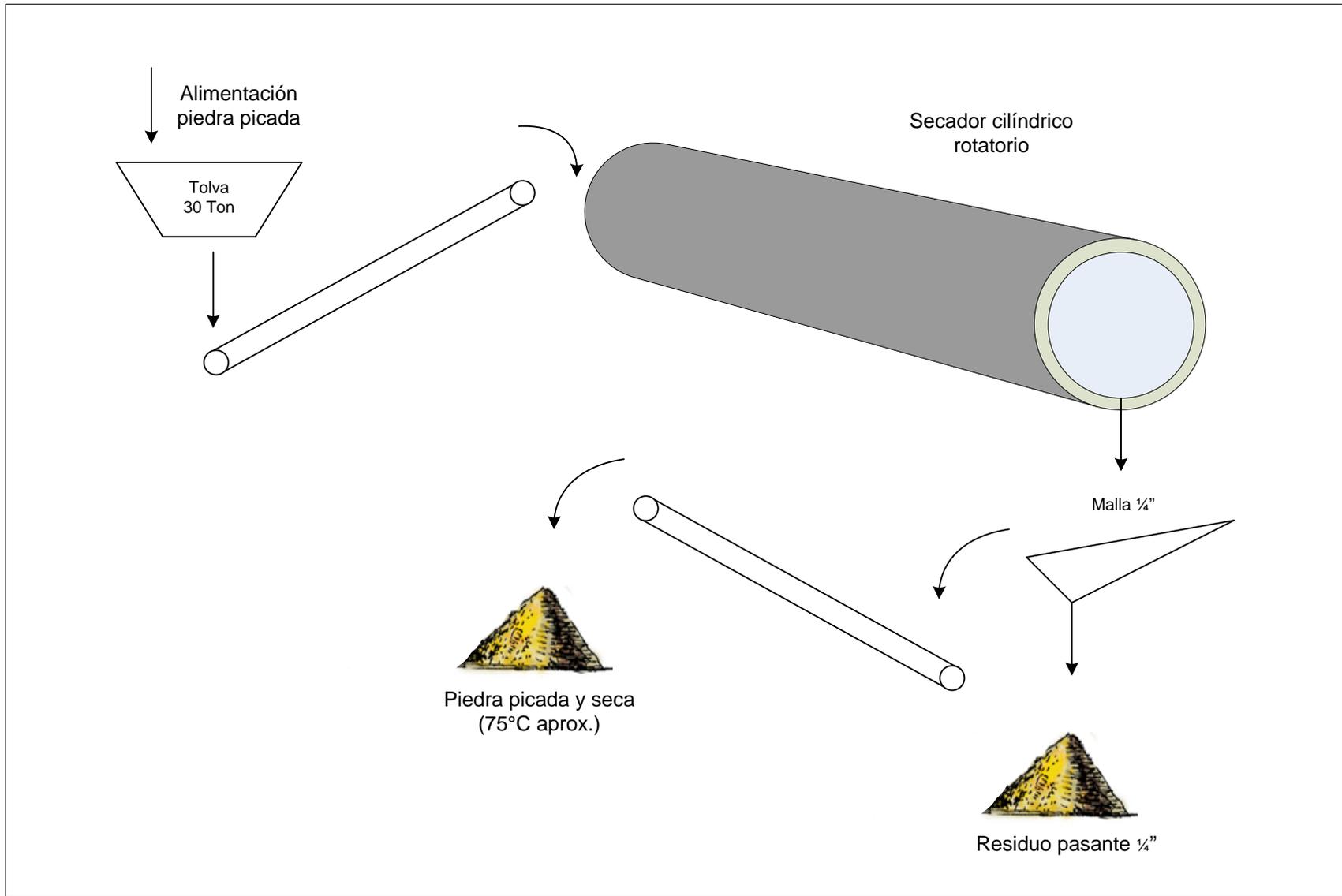


Figura 3.2. Diagrama de flujo de la sección de secado de Feldspatos Procesados C.A.
Fuente: Feldespato Procesado C.A.

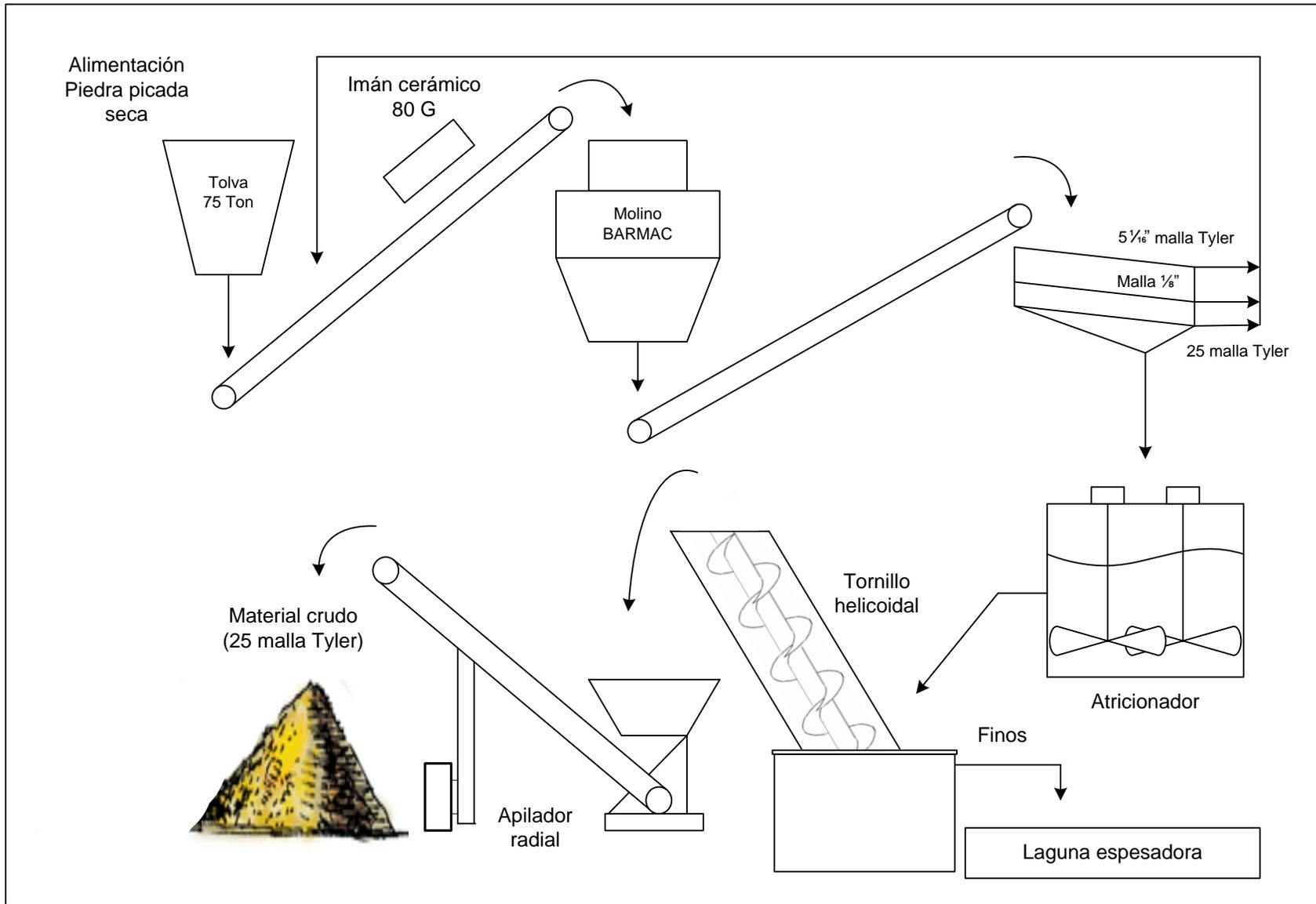


Figura 3.3. Diagrama de flujo de la sección de molienda y lavado de Feldespatos Procesados C.A.

Fuente: Feldespato Procesado C.A.

3.2.5. Sección de Clasificación y Almacenamiento

El material procesado en la sección de molienda es transportado a través de camiones de carga hacia la planta de clasificación y almacenamiento, en donde es primeramente acumulado en pilas y luego alimentado a un horno de lecho fluido con el uso de una tolva de 20 toneladas. Este secado se realiza debido a que el material llega con un alto porcentaje de humedad como consecuencia del lavado realizado en la sección de molienda.

El horno de lecho fluido está compuesto por una cámara de combustión y una cámara de secado. A la cámara de combustión se le suministra aire como elemento comburente y gasoil como combustible, la cual es necesaria para suministrar aire caliente a la cámara de secado para que se logre deshidratar el sólido a procesar. En la cámara de secado se usa un sistema de lecho fluido, en donde el aire caliente a una temperatura máxima de 800°C se hace pasar a través de un disco agujereado, que distribuye de forma ascendente el aire caliente desde la parte inferior, a toda la masa de sólido a secar en el lecho. Este íntimo contacto hace que el sólido fluidice y la transferencia de energía sea alta. De la cámara de secado se obtienen dos corrientes; la primera de material fino, que es arrastrado por la corriente de aire caliente y extraído con un ventilador a un sistema de separadores de mangas, que filtran el material en granulometrías de 140 y 200 malla Tyler, las cuales son transportadas a través de elevadores de cangilones y almacenadas en silos. Luego el aire con partículas de polvo pasantes, es alimentado a cuatro ciclones que trabajan en paralelo y separan por acción centrífuga las partículas finas, para obtener de esta manera un producto de 400 malla Tyler (almacenado en sacos) y aire limpio que es liberado al ambiente.

Por su parte, la segunda corriente con material de mayor granulometría no arrastrado por el aire, es retirado del lecho fluido con el uso de un elevador de cangilones, el cual transporta el material seco a un sistema paralelo de cribado con mallas de 25 Tyler. El material pasante es transportado por medio de una banda transportadora hacia un patio cerrado, en donde se almacena y despacha el material de 80 malla Tyler hacia los camiones de transporte. Por otro lado, el material rechazado del sistema paralelo de cribado, es transportado por una banda transportadora hacia

una criba de 10 malla Tyler, de donde el material pasante es almacenado en un silo por medio de elevadores de cangilones y el rechazo es desechado. Ver figura 3.4.

3.2.6. Despacho del Producto Terminado

Feldespatos Procesados C.A. cuenta con dos sistemas de despacho del producto terminado según su granulometría. Para el material grueso proveniente de las pilas almacenadas a cielo abierto, como lo son el Polvillo de $\frac{1}{2}$ " y el Arrocillo de $\frac{3}{4}$ ", los cuales son destinados para uso como materia prima para la industria de cerámica, son cargados con el uso de bulldozer a camiones de transporte a granel, que distribuyen el producto hacia las instalaciones del cliente final.

Por su parte, el material fino almacenado en tolvas (material con granulometría de 20, 140 y 200 malla Tyler con destino final hacia la industria de cerámica, goma, esmalte y pegó respectivamente), es despachado con el uso de una banda transportadora inclinada, cuya alimentación es efectuada desde los silos de almacenamiento, desembocando directamente en los camiones de transporte a granel.

El material de granulometría de 80 malla Tyler, el cual se almacena en pilas dentro de un patio cerrado, es arrastrado con ayuda de un bulldozer hacia una tolva subterránea en donde se encuentra una banda transportadora inclinada, la cual desemboca directamente en los camiones de transporte a granel con destino a la industria de vidrio.

Por otro lado, el material más fino de granulometría de 400 malla Tyler, es almacenado en sacos. Generalmente este material se mezcla con el de 140 y 200 malla Tyler debido a que también es usado por la industria de pegó, esmalte y goma.

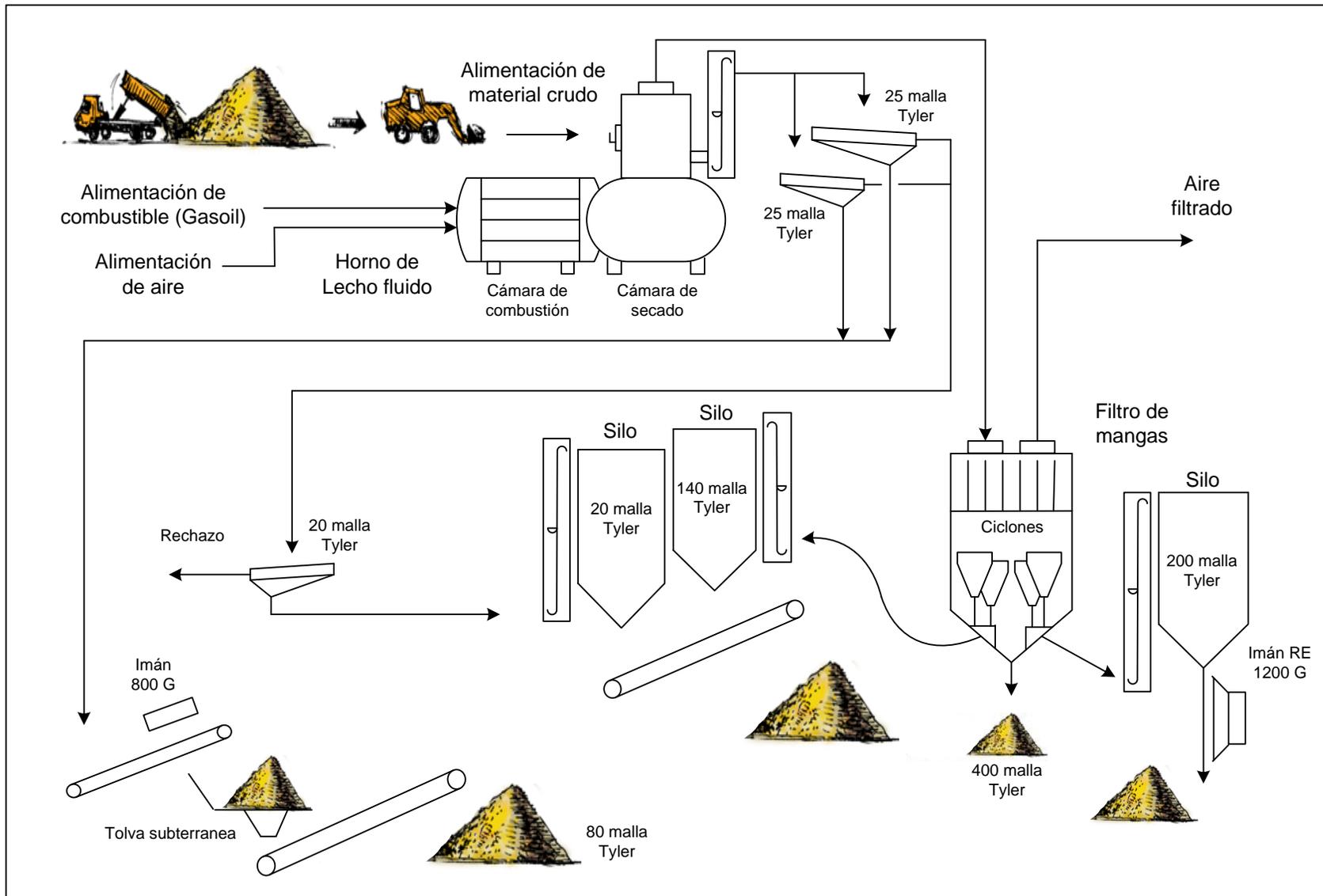


Figura 3.4. Diagrama de flujo de la sección de clasificación de Feldespatos Procesados C.A.
 Fuente: Feldespatos Procesados C.A.

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

A continuación se describe brevemente cada una de las etapas de la metodología planteada para desarrollar el presente trabajo especial de grado.

La investigación corresponde a un proyecto de tipo factible, ya que consiste en la elaboración y desarrollo de una propuesta que se convierte en un modelo operativo viable para resolver una situación específica en la empresa Feldespatos Procesados, en función de sus necesidades y requerimientos.

4.1. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS Y ETAPAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO.

Para desarrollar este objetivo, primero se lleva a cabo una familiarización con el proceso de producción del feldespatato, realizando para ello recorridos en la planta e interactuando con el personal que labora directamente en cada una de las etapas del proceso, es decir, operarios, técnicos e ingenieros; reconocimiento de la función específica de cada componente de la línea de producción y establecimiento de las condiciones generales, tanto físicas como operacionales de los equipos involucrados en el proceso. Además se consultan diagramas de flujo, manuales, bibliografía especializada, estudios previos o antecedentes, páginas de internet y se interactúa con supervisores, personal de los Departamentos de Producción e Investigación y Desarrollo.

4.1.1. Rendimiento Másico del Proceso de Producción de Feldespatato

A través de un balance global de materia se puede dar a conocer la totalidad de las corrientes que alimentan al proceso y salen del mismo, ya sea en forma de producto o como pérdida, gracias al principio de conservación de la masa. Se toma como volumen de control el proceso de producción de feldespatato, limitando al mismo desde la descarga de los camiones que vienen de la mina hasta la salida del feldespatato como material procesado para uso industrial, considerando todo el conjunto de equipos con conforman a la planta.

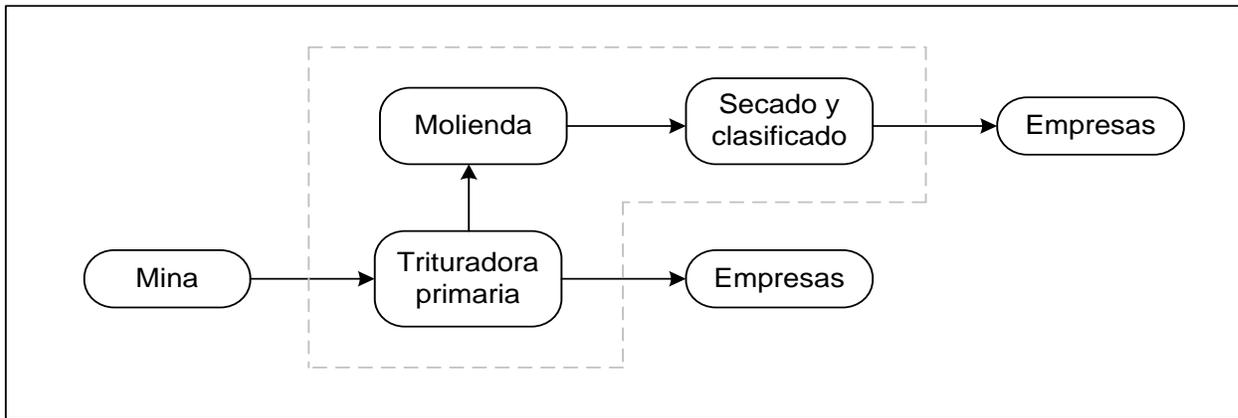


Figura 4.1. Diagrama de bloque global simplificado.

El rendimiento de todo proceso semi-continuo se determina como el cociente del material real que sale del sistema (material aprovechado) y la materia prima total que se introduce al mismo. Este rendimiento másico contempla la cantidad de materia prima que es aprovechada en el proceso, por ende, una vez determinado, se puede conocer para cualquier fecha la producción de feldespato en función de la cantidad total de materia prima que se introduce al proceso.

Tanto la cantidad de feldespato que se procesa en la planta o material real del sistema como la materia prima que entra a la planta, se determinan por la cantidad de material que se carga en los camiones de transporte, en donde se conocen las dimensiones del camión y la densidad del producto.

$$m = V_C \cdot \rho \cdot Fc \quad 4.1$$

Donde:

m: Cantidad de feldespato que entra o sale de la planta, (TM).

V_C : Volumen del camión de transporte, (m^3).

ρ : Densidad del feldespato, ($2,5 \frac{kg}{m^3}$).

Fc: Factor de conversión, ($\frac{1 TM}{1000 kg}$).

Para el período del mes de junio, se realizó un registro de todos los camiones de transporte que entraron y salieron de la planta, con la finalidad de poder cuantificar con exactitud el rendimiento másico de la empresa. Ver tablas 5.2 y 5.3.

El material real del sistema se puede definir como la suma de la cantidad de feldespatos que sale de la planta hacia las otras empresas.

$$m_{\text{Real}} = m_{\text{fa}} + m_{\text{fb}} \quad 4.2$$

Donde:

m_{Real} : Material total aprovechado del sistema, (TM).

m_{fa} : Material final que sale de la trituradora primaria como polvillo y arrocillo, (TM).

m_{fb} : Material final que sale de la planta como 20, 80, 140, 200, 400 malla Tyler, (TM).

Por lo tanto, el rendimiento másico del proceso quedará expresado como:

$$RM_{\text{Proceso}} = \frac{m_{\text{Real}}}{m_{\text{Entrada}}} \cdot 100 \quad 4.3$$

Donde:

RM_{Proceso} : Rendimiento másico del proceso, (%).

m_{Entrada} : Material que llega de la mina, (TM).

Por otra parte, el material que se encuentra acumulado para su posterior molienda se puede cuantificar realizando un balance de masa. Ver figura 4.1.

$$m_{\text{Acum}} = m_{\text{Entrada}} - m_{\text{Real}} \quad 4.4$$

Donde:

m_{Acum} : Material acumulado entre la sección de trituración primaria y de molienda, (TM).

4.2. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS, ETAPAS Y VARIABLES CRÍTICAS DE OPERACIÓN.

Para desarrollar este objetivo, primero se construye el diagrama de Ishikawa o también conocido como diagrama causa-efecto, de los problemas presentados en la planta. Ésta es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto las posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad.

Como uno de los problemas que enfrenta la empresa actualmente, se encuentra la acumulación de material en el proceso de producción. Al aplicar el diagrama causa-

efecto se pudo identificar el campo donde se localizan las posibles causas que provocan este problema.

A continuación se describen cada uno de los campos o categorías que contempla el análisis de problemas.

- **Mano de obra**

En todo lugar de trabajo es importante crear un ambiente de cooperación y entendimiento. Esta categoría incluye todas las variables involucradas para que esto ocurra, como lo son el cumplimiento de las responsabilidades, la motivación, la capacitación y el desempeño del personal que labora en las áreas relacionadas con el problema planteado en esta evaluación.

- **Máquinas y equipos**

Esta categoría considera todos los equipos pertenecientes a la planta de feldespatos que pudiesen influir sobre el problema analizado, así como también cualquier otro elemento perteneciente a la maquinaria empleada en cualquier otra etapa del proceso que represente una causa potencial en la problemática evaluada.

- **Medición**

Este campo incluye todo lo relacionado con el logro del comportamiento deseado del proceso y del producto. Es decir, se considera la manera en la cual se cuantifican las variables involucradas en los sectores críticos del proceso, así como los equipos empleados para este fin. Se analizan desde el punto de vista de la medición de las variables, si las mismas son determinadas de la manera adecuada y si estos aspectos influyen sobre la problemática analizada.

- **Metodología**

En este punto se consideran los pasos que se llevan a cabo en el proceso de producción de feldespatos. Los procedimientos, las tareas y labores que desarrolla cada departamento involucrado en la situación planteada por esta evaluación y la manera en

que cada uno de estos aspectos es llevada a cabo, es examinada para cuantificar su influencia sobre la problemática planteada.

- **Medio ambiente**

Esta categoría engloba todo lo relativo al ambiente físico presente en las áreas de trabajo y la influencia que esto tiene sobre el problema planteado. Para esto se considera el efecto de la temperatura, humedad, luminosidad, lluvias, viento, los niveles de contaminación y cualquier otro elemento similar que pueda afectar el cabal desempeño del proceso productivo.

- **Materia prima**

En este campo se engloba todo lo relacionado a las propiedades físicas y químicas del material utilizado que pueda repercutir en la problemática evaluada.

4.2.1. Evaluación de la Sección de Secado

A partir de la evaluación del comportamiento térmico del secador se puede establecer el régimen estacionario del mismo, que será el que permita alcanzar la mayor producción de feldespatos, con un mínimo consumo energético.

La metodología que se lleva a cabo consiste en la cuantificación de los flujos de calor involucrados en el secador como volumen de control, así como también en la determinación de los criterios necesarios para dar a conocer el comportamiento térmico de dicho equipo.

4.2.1.1 Cálculo del consumo de calor

Para la evaluación de este equipo, suponiendo que los calores específicos y el calor latente de vaporización son constantes y que la vaporización transcurre a una temperatura constante, la cantidad de calor transmitido por unidad de masa se puede definir de la siguiente manera (McCabe y col., 1991).

$$\frac{Q_T}{m_s} = C_{p_s} \cdot (T_{Ss} - T_{Se}) + X_a \cdot C_{p_l} \cdot (T_{He} - T_{Se}) + (X_a - X_b) \cdot H_v + \dots \quad 4.5$$

$$\dots + X_b \cdot C_{p_l} \cdot (T_{Ss} - T_{He}) + (X_a - X_b) \cdot C_{p_v} \cdot (T_{As} - T_{He})$$

Donde:

T_{Ss} : Temperatura de salida del sólido, (K).

T_{Se} : Temperatura de entrada del sólido, (K).

T_{He} : Temperatura de vaporización a la entrada, (K).

T_{As} : Temperatura de salida del aire, (K).

X_a, X_b : Humedad de entrada y salida, respectivamente, $\left(\frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seco}}}\right)$.

H_v : Calor latente de vaporización, $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$.

$C_{p_s}, C_{p_l}, C_{p_v}$: Capacidad calorífica de sólido, líquido y vapor, respectivamente, $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$.

El calor transmitido al sólido, al líquido y al vapor, tal como se expresa en la ecuación 4.5, viene dado como producto del enfriamiento del aire. Para un secador adiabático continuo el balance de energía conduce a (McCabe y col., 1991):

$$Q_T = m_g \cdot (1 + X_{\text{Eaire}}) \cdot C_{sa} \cdot (T_{As} - T_{He}) \quad 4.6$$

Donde:

m_g : Velocidad másica del aire seco, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$.

X_{Eaire} : Humedad de entrada del aire, $\left(\frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seco}}}\right)$

C_{sa} : Calor húmedo del aire para la humedad de entrada, $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$.

Como la fracción de superficie calentada que está en contacto con los sólidos en un secador es difícil de estimar y raramente se conoce el área de la superficie total de las partículas sólidas expuestas a una superficie calentada, muchos secadores se diseñan sobre la base de un coeficiente volumétrico de transmisión de calor (U_a), tal como se puede observar en la siguiente ecuación (McCabe y col., 1991).

$$Q_T = U_a \cdot V_{SEC} \cdot \overline{\Delta T} \quad 4.7$$

Donde:

V_{SEC} : Volumen del secador, (m^3).

$\overline{\Delta T}$: Diferencia media de temperatura, (K).

Los secaderos rotatorios se diseñan basándose en la transmisión de calor. Una ecuación empírica dimensional para el coeficiente volumétrico de transmisión de calor es (McCabe y col., 1991):

$$U_a = \frac{0,5 \cdot G^{0,67}}{D_{SEC}} \quad 4.8$$

Donde:

G : Velocidad másica del aire, ($\frac{kg}{m^2 \cdot h}$).

D_{SEC} : diámetro del secador, (m).

Sabiendo que el volumen de un cilindro se define como (McCabe y col., 1991):

$$V_{SEC} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{SEC}^2 \cdot L_{SEC} \quad 4.9$$

Donde:

L_{SEC} : Longitud del secador, (m).

Sustituyéndola la ecuación 4.8 y 4.9, en 4.7, se obtiene una expresión del calor total necesario en función de las dimensiones del secador (McCabe y col., 1991):

$$Q_T = 0,125 \cdot \pi \cdot G^{0,67} \cdot D_{SEC} \cdot L_{SEC} \cdot \overline{\Delta T} \quad 4.10$$

Generalmente los secadores rotatorios se diseñan en función del número de unidades de transferencia de calor que contienen. Una unidad de transferencia de calor es la sección o zona del equipo en el que la variación de temperatura es igual a la fuerza impulsora (diferencia de temperatura) media en dicha sección. Las unidades de transferencia pueden basarse en la variación de temperatura en cualquiera de las fases, pero en los secaderos siempre se basan en la fase gaseosa (McCabe y col., 1991).

$$N_t = \frac{T_{Ae} - T_{As}}{\Delta T} \quad 4.11$$

Cuando el contenido inicial de líquido de los sólidos es elevado y la mayor parte del calor transmitido se utiliza en la vaporización, $\overline{\Delta T}$ puede tomarse como la diferencia media logarítmica entre las temperaturas seca y húmeda (McCabe y col., 1991).

$$\overline{\Delta T} = \frac{(T_{Ae} - T_{He}) - (T_{As} - T_{Hs})}{\ln\left(\frac{T_{Ae} - T_{He}}{T_{As} - T_{Hs}}\right)} \quad 4.12$$

Donde:

T_{Ae} : Temperatura de entrada del aire, (K).

T_{Hs} : Temperatura de salida de vaporización, (K).

Para el sistema aire-agua, se puede suponer que la temperatura de vaporización ocurre de manera constante (en donde $T_{He} = T_{Hs}$), por lo que al sustituir la diferencia media logarítmica en la ecuación 4.12 se obtiene (McCabe y col., 1991).

$$N_t = \ln\left(\frac{T_{Ae} - T_{He}}{T_{As} - T_{He}}\right) \quad 4.13$$

Donde:

N_t : Número de unidades de transferencia de calor, (adim).

4.2.1.2 Cálculo de la transferencia de materia

En todos los secadores en los que el aire circula sobre o a través de los sólidos, la materia tiene que transferirse desde la superficie del sólido hasta el aire, y a veces a través de los poros interiores del sólido. La resistencia a la transferencia de materia, y no la transmisión de calor, puede controlar la velocidad de secado (McCabe y col., 1991).

4.14

$$m_v = m_s \cdot (X_a - X_b)$$

Donde:

m_v : Velocidad media de transferencia de materia, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$.

m_s : Alimentación al secador, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$.

Debido a que el aire usado para el calentamiento entra con una cierta humedad, es posible calcular la humedad existente en la corriente de aire de salida (McCabe y col., 1991).

$$X_{\text{Saire}} = X_{\text{Eaire}} + \frac{m_v}{m_g} \quad 4.15$$

Donde:

X_{Saire} : Humedad de salida del aire, $\left(\frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seco}}}\right)$.

4.2.2. Evaluación de la Sección de Molienda vía Húmeda.

Este sistema de molienda húmeda considera un molino de bola en circuito cerrado con un sistema de hidrociclones que clasifican el mineral, produciendo una corriente de tope con las especificaciones granulométricas fijadas.

4.2.2.1. Dimensionamiento de un molino de bolas para molienda vía húmeda

- El consumo específico de energía de este nuevo equipo se puede estimar con la siguiente ecuación (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$E = 10 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad 4.16$$

Donde:

E: Consumo específico de energía, (kWh/TM).

F_{80} : Tamaño 80% pasante en la alimentación, (μm).

P_{80} : Tamaño 80% pasante en el producto, (μm).

W_i : Índice de trabajo de Bond, indicativo de la dureza del mineral, (kWh/TM).

Luego empleando la ecuación 4.17 se calcula el requerimiento de potencia neto en el sistema (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$P_{\text{RS}} = E \cdot T \quad 4.17$$

Donde:

P_{RS} : Requerimiento de potencia neto en el sistema, (kW).

E: Consumo específico de energía, (kWh/TM).

T: Producción del sistema, (TM/h).

Se determina la potencia neta por molino, por cuestiones económicas se seleccionará un solo molino (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$P_{\text{neta}} = \frac{P_{\text{RS}}}{n} \quad 4.18$$

Donde:

P_{neta} : Potencia neta de un molino, (kW).

n: número de molinos operando en el sistema, (adim.).

Para hallar las dimensiones del molino se realiza un cálculo recursivo, en donde se busca un porcentaje de sobredimensionamiento de potencia neta esperado de 4% (sugerida por la bibliografía), variando para ello el diámetro del molino. Como primer párametro geométrico se determina el largo del molino (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$L_{\text{MOL}} = D_{\text{MOL}} \cdot r \quad 4.19$$

Donde:

L_{MOL} : Largo del molino, (pies).

D_{MOL} : Diámetro interior molino, (pies).

r: Razón largo/diámetro del molino, (adim.).

La velocidad de giro del molino se determina empleando la ecuación 4.20 para una fracción de velocidad crítica utilizada de 72% (valor óptimo sugerido por la bibliografía), determinando primero la velocidad crítica de rotación del molino por la ecuación 4.21. Velocidad de giro del molino (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$N_c = N_{\text{crit}} \cdot \phi \quad 4.20$$

Donde:

N_c : Velocidad giro molino, (rpm).

ϕ : Fracción de velocidad crítica utilizada, (%).

N_{crit} : Velocidad crítica de rotación del molino, (rpm).

- Velocidad crítica de rotación del molino (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$N_{\text{crit}} = \frac{76,6}{\sqrt{D_{\text{MOL}}}} \quad 4.21$$

Densidad de la pulpa (compuesta por mineral y agua). Se considera un volumen de control de una tonelada de pulpa y densidad del agua de 1 TM/m³, se obtiene (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$\rho_p = \frac{1}{\left(\frac{S}{100} \cdot \frac{1}{\rho_m}\right) + \left(1 - \frac{S}{100}\right)} \quad 4.22$$

Donde:

ρ_p : Densidad de la pulpa, (TM/m³).

ρ_m , Densidad del mineral, (TM/m³).

S: Fracción en peso de sólidos en la pulpa, (%). Se debe asegurar un porcentaje en peso de sólidos de 72% (Gupta y D.S. Yan, 2006), para que se favorezca la molienda del mineral.

Para el cálculo del volumen interior del molino, se usa la ecuación 4.23 estableciendo una relación de largo/diámetro (parámetro r) comprendida entre 0 y 2. (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$V_{\text{MOL}} = \frac{\pi}{4} (0,305 \cdot D_{\text{MOL}})^2 \cdot (0,305 \cdot D_{\text{MOL}} \cdot r) \quad 4.23$$

Donde:

V_{MOL} : Volumen interior del molino, (m³).

Luego se determina el volumen de la carga interior del molino y el volumen ocupado por las bolas, empleando las ecuaciones 4.24 y 4.25, considerando valores de nivel de llenado comprendidos entre 0 y 100%; sin embargo se recomienda usar valores entre 35 y 45%, ya que se maximiza la eficiencia de la molienda del mineral (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$V_c = V_{\text{MOL}} \cdot \frac{J}{100} \quad 4.24$$

Donde:

V_c : Volumen de la carga interior del molino, (m^3).

J: Nivel de llenado aparente. Porcentaje de la carga volumétrica aparente de llenado respecto al volumen interno del molino (incluyendo bolas y exceso de pulpa sobre el nivel de las bolas cargadas, mas pulpa en espacios intersticiales entre bolas), (%).

- Volumen ocupado por las bolas en el interior del molino (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$V_B = V_{MOL} \cdot \frac{J_B}{100} \quad 4.25$$

Donde:

V_B : Volumen ocupado por las bolas en el interior del molino, (m^3).

J_B : Nivel de llenado de las bolas dentro del molino, (%).

Con el volumen ocupado por las bolas, se puede determinar su peso, y cantidad de bolas requeridas. Peso de la carga de las bolas (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$M_B = (1 - f_v) \cdot \rho_B \cdot V_B \quad 4.26$$

Donde:

M_B : Peso de la carga de las bolas, (TM).

f_v : Fracción volumétrica de los espacios intersticiales entre bolas (aprox. 40% del volumen aparente ocupado por la carga), (%).

ρ_B : Densidad de las bolas, (TM/ m^3).

- Diámetro de las bolas (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$D_B = 25,4 \cdot \left[\left(\frac{F_{80}}{k} \right)^{0,5} \left(\frac{\rho_B \cdot W_i}{100 \cdot \phi \cdot (3,281 \cdot D_{MOL})^{0,5}} \right)^{0,33} \right] \quad 4.27$$

Donde:

D_B : Diámetro de las bolas, (mm).

k: Constante asociada al sistema de molienda empleado. Para molienda en base húmeda con recirculación de underflow de un sistema de hidrociclón, $k = 350$ adim.

- Número de bolas requeridas (Gupta y D.S. Yan, 2006).

$$N_B = \frac{\frac{M_B}{\rho_B}}{\frac{4}{3}\pi \cdot r^3} \quad 4.28$$

Donde:

r: Radio de las bolas, (m).

Para la determinación del peso de la pulpa en los espacios intersticiales entre bolas, se usa la ecuación 4.29, usando un nivel de llenado de la pulpa en los espacios intersticiales de 100%. Peso de la pulpa en los espacios intersticiales entre bolas (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$M_P^{EI} = J_p \cdot f_v \cdot V_B \cdot \rho_p \quad 4.29$$

Donde:

M_P^{EI} : Peso de la pulpa en los espacios intersticiales, (TM).

J_p : Nivel de llenado de la pulpa en los espacios intersticiales, (%).

Posteriormente se determina el nivel de exceso de pulpa, correspondiente al nivel de pulpa sobre nivel de bolas, y el peso del exceso de pulpa, usando las ecuaciones 4.30 y 4.31. Nivel de exceso de pulpa, corresponde al nivel de pulpa sobre nivel de bolas (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$J_E = J - J_B \quad 4.30$$

Donde:

J_E : Nivel de exceso de pulpa, (%).

- Peso del exceso de pulpa (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$M_P^E = J_E \cdot V \cdot \rho_p \quad 4.31$$

Donde:

M_P^E : Peso del exceso de pulpa, (TM).

Luego es posible calcular la densidad aparente de la carga dentro del molino, usando para ello la ecuación 4.32. Densidad aparente de la carga del molino (razón

entre el peso total de la carga y su volumen aparente, incluyendo los espacios intersticiales) (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$\rho_{ap} = \frac{M_B + M_p^{EI} + M_p^E}{V_c} \quad 4.32$$

Donde:

ρ_{ap} : Densidad aparente de la carga del molino, (TM/m³).

Finalmente, se calcula la potencia neta real del molino usando la ecuación 4.33; así como también la potencia bruta considerando un 10% de pérdidas (sugerido por la bibliografía), usando la ecuación 4.34. Potencia neta real del molino (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$P_{neta-real} = 0,238 \cdot D^{3,5} \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot N_c \cdot \rho_{ap} \cdot \left(\frac{J}{100} - 1,065 \frac{J^2}{100^2}\right) \cdot \text{sen} \alpha \quad 4.33$$

- Potencia bruta (considerando pérdidas) (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$P = \frac{P_{neta-real}}{1 - \frac{L_p}{100}} \quad 4.34$$

Donde:

P: Potencia bruta, (kW).

Lp: Pérdidas de potencia, (%).

α : Ángulo de inclinación del molino, (adim.).

- Potencia neta en un sistema con varios molinos (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$P_s = n \cdot P_{neta-real} \quad 4.35$$

Donde:

P_s: Potencia neta en el sistema, (kW).

Y por último, se calcula el grado de sobredimensionamiento de la potencia neta en el molino, usando la ecuación 4.36. Sobredimensionamiento de potencia neta (Gupta y D.S. Yan, 2006):

$$S = \frac{P_{\text{neto-real}} - P_{\text{neto}}}{P_{\text{neto}}} \cdot 100 \quad 4.36$$

Donde:

S: Sobredimensionamiento del molino, (%).

4.2.2.2. Dimensionamiento del sistema de hidrociclones usados en la molienda vía húmeda

Para el diseño del sistema de hidrociclones, inicialmente se considera una carga circulante de 250%, y un porcentaje en peso de sólido para la corriente de tope y fondo de 40% y 76%, respectivamente. Estos datos son los recomendados por Richard y Arterburn (2001). Luego se determina la carga circulante en el sistema de hidrociclones:

- Carga circulante (Richard y Arterburn, 2001):

$$CC = \frac{U}{O} \cdot 100 \quad 4.37$$

Donde:

CC: Carga circulante, (%).

U: Underflow, (TM/h).

O: Overflow, (TM/h).

Posteriormente con los datos de granulometría establecidas para las corrientes en el underflow y overflow del sistema de hidrociclones, se determina el tamaño de corte requerido. Tamaño de corte requerido (Richard y Arterburn, 2001):

$$D50_{\text{CREQ}} = k \cdot P \quad 4.38$$

Donde:

$D50_{\text{CREQ}}$: Tamaño de corte requerido, (μm).

k: Constante reportada en la tabla C.1.

P: Tamaño del overflow (μm).

Posteriormente se calcula el tamaño de corte base usando la ecuación 4.39, para lo cual es requerido determinar gráficamente los parámetros C_1 , C_2 y C_3 . Tamaño de corte base (Richard y Arterburn, 2001):

$$D50_{C_{BASE}} = \frac{D50_{C_{REQ}}}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \quad 4.39$$

Donde:

$D50_{C_{BASE}}$: Tamaño de corte base (μm).

C_1 , C_2 , C_3 : Factores de corrección indicados en las figuras C.1, C.2 y C.3 (ver apéndice).

Luego se determina el diámetro del hidrociclón estándar y el número de unidades requeridas, utilizando para ello la figura C.4 y la ecuación 4.41; donde el caudal estándar que fluye por cada ciclón es el reportado por la figura C.5 para diversas caídas de presión. Diámetro de un hidrociclón estándar (Richard y Arterburn, 2001):

$$D = f(D50_{C_{BASE}}) \quad 4.40$$

Donde:

D: Diámetro del hidrociclón estándar reportado en la gráfica C.4 para diversos tamaños de cortes base.

• Número de unidades requeridas (Richard y Arterburn, 2001):

$$N = \frac{F}{Q} \quad 4.41$$

Donde:

F: Caudal de alimentación, (usgpm).

Q: Caudal estándar de alimentación, (usgpm). Reportado para diversos diámetros de hidrociclones en la figura C.5.

Para las relaciones geométricas constitutivas del hidrociclón, se usan las ecuaciones dispuestas en la tabla C.2 ubicadas en el apéndice.

4.3. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE MEJORA AL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO.

Teniendo como base el análisis de causas obtenido en los apartados anteriormente descritos, se establecen programas de mejoras que permitan disminuir las problemáticas presentadas en el proceso estudiado, estos programas se clasifican según la necesidad o ausencia de una inversión considerable de dinero para su implementación.

Para el establecimiento de alternativas de mejora, se analizan los resultados obtenidos de la evaluación de las variables críticas del proceso, y mediante reuniones planificadas con el personal de la planta, se plantean alternativas técnicas que den soluciones específicas y concretas a fin de minimizar o eliminar las fallas encontradas. Por otro lado también se consideran los lineamientos actualmente establecidos para la producción de este tipo de mineral, para ello es necesario consultar la bibliografía existente a fin de concretar ideas que a la empresa le parezca oportuna. Cabe destacar que la participación de la empresa en este punto es crucial, debido a que actualmente se encuentra interesada en el establecimiento de programas de mejoras, por ello deben ser oídas las sugerencias del personal técnico y especializado, con la finalidad de que las propuestas estén bien definidas, y no que se generen grandes cantidades de alternativas no aplicables.

4.4. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO-COSTO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

El análisis beneficio-costos sirve para decidir si los programas de mejoras que se analizan son viables o no. Dicha relación se determina para cada programa de la siguiente manera:

- Se plantea un horizonte de estudio de 15 años.
- Se determina el ingreso bruto para el sistema productivo, usando para ello la tasa de producción de cada producto y su respectivo precio de venta.

- Se determinan los egresos calculando para ello los costos de producción, los costos de capital fijo y el impuesto sobre la renta.
- Se calculan los flujos de caja para cada año de estudio, así como los ingresos y egresos globales.
- Se evalúa la factibilidad de la propuesta determinando para ello el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio-costos.

4.4.1. Evaluación Económica de la Implementación del Proyecto.

El estudio económico para una planta de procesos debe desarrollar los conceptos de ingresos y gastos que permitan establecer el balance económico o flujo de caja, y de esta manera determinar la viabilidad económica de la actividad productiva a desarrollar, a través de indicadores como el valor presente neto y la relación beneficio – costo, entre otros. Ello puede resumirse de la siguiente manera:

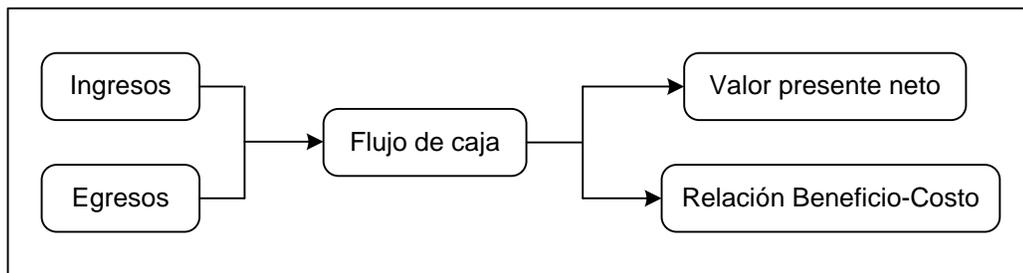


Figura 4.2. Esquema representativo del flujo de caja

Por otra parte, la elaboración de un proyecto de inversión debe comprender un lapso predefinido: el horizonte económico de la inversión o plazo requerido para llevar a cabo la inversión. En este caso, el estudio económico será establecido para un lapso de 15 años comprendidos entre el año 2006 y el 2021.

La evaluación económica de la implementación del proceso comprenderá la determinación de los siguientes parámetros:

4.4.1.1. Flujo de caja

Comprende el balance de las entradas y salidas de dinero generadas por la actividad productiva a desarrollar en el año t: (Giugni y col., 2001)

$$\text{Flujo}_t = \text{IB}_t - \text{E}_t$$

Donde:

Flujo_t: Flujo de caja en el año "t" (\$).

IB_t: Ingresos brutos en el año "t" (\$).

E_t: Egresos en el año "t" (\$).

Los ingresos brutos, vienen dados por la venta del producto a partir del precio de venta del mismo (Pv) y su producción anual (Q); (Giugni y col., 2001)

$$\text{IB}_t = \text{Pv} \cdot \text{Q} \quad 4.43$$

Donde:

Pv: Precio de venta del producto (\$/TM).

Q: Producción anual (TM/año).

Los egresos se encuentran asociados a desembolsos monetarios por conceptos de adecuación de la infraestructura, operación de manufactura y/o cualquier gasto relacionado con la actividad productiva. Se determina mediante la siguiente ecuación: (Giugni y col., 2001)

$$\text{Egresos} = \text{Inversión} + \text{Costos}_{\text{Producción}} + \text{I.S.L.R.} \quad 4.44$$

Ellos se encuentran clasificados de la manera mostrada en la figura 4.3.

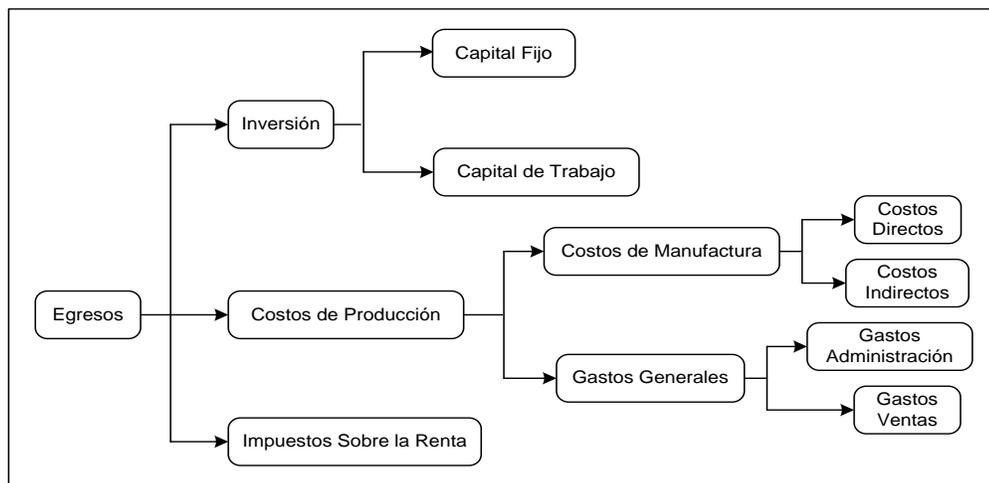


Figura 4.3. Representación esquemática de los componentes de los egresos del análisis económico.

Fuente: Giugni y col., 2001.

4.4.1.2. Inversión

Viene dada por la cantidad de dinero requerida para el financiamiento del proyecto o actividad productiva. Se encuentra integrada por la suma de capital fijo y el capital de trabajo (Giugni y col., 2001).

$$\text{Inversión} = \text{Capital}_{\text{fijo}} + \text{Capital}_{\text{trabajo}} \quad 4.45$$

4.4.1.2.1. Capital fijo: es la cantidad de dinero necesaria para el acondicionamiento de la actividad productiva desde conceptualización de ideas hasta gastos de arranque y puesta en marcha de sistemas. Incluye elementos tangibles (equipos, terreno, etc.) e intangibles (estudios, entrenamiento, etc.), (Giugni y col., 2001):

$$\text{Capital}_{\text{fijo}} = \text{Costos}_{\text{Activos tangibles}} + \text{Costos}_{\text{Activos intangibles}} \quad 4.46$$

Entre los activos tangibles:

- Costos de equipos principales

Algunos costes de equipos principales (mangas telescópicas y molino de barra) fueron obtenidos a través de cotizaciones a proveedores; por su parte el coste del resto de los equipos principales, fueron obtenidos a través de un software de simulación económica ampliamente galardonado llamado Questimate 12.0 (ver apéndice D).

El apéndice D muestra el procedimiento usado para la obtención de costos de equipos con el uso del módulo Questimate 12.0 del software Aspen Icarus Products. La versión de Questimate utilizada para la estimación de costos de equipos data del año 2002, por lo que es necesario realizar un ajuste de tiempo en el costo, para ello se utilizó el índice de costes para plantas de ingeniería química (Chemical Engineering Plant Cost Index, C.E.P.C.I. por sus siglas en ingles), publicado mensualmente por la revista Chemical Engineering, ver tabla C.4. Usando este método, el costo de los equipos expresados a tiempo actual, se reporta como: (Peters y col., 1991)

$$\text{Coste}_{\text{act}} = \text{Coste}_{\text{ref}} \cdot \frac{\text{índice}_{\text{act}}}{\text{índice}_{\text{ref}}}$$

Donde:

$\text{Coste}_{\text{act}}$: Coste a tiempo actual del equipo, (\$).

$\text{Coste}_{\text{ref}}$: Coste a tiempo de referencia del equipo (\$).

$\text{índice}_{\text{ref}}$: Índice a tiempo de referencia del equipo, (\$). Año 2002, $\text{índice}_{\text{ref}} = 395,60$

$\text{índice}_{\text{act}}$: Índice a tiempo actual del equipo, (\$). Año 2006, $\text{índice}_{\text{act}} = 499,60$

- Acondicionamiento del terreno

Se refiere al levantamiento topográfico, modificaciones de la topografía, movimiento de tierra, accesos, drenajes, etc. (Peters y col., 1991)

$$\text{Costo}_{\text{Acondicionamiento}} = (10\% - 15\%) \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.48$$

- Costo de edificaciones

Compra o construcción de estructuras civiles cubiertas, aptas para actividad económica. (Peters y col., 1991)

$$\text{Costo}_{\text{Edificaciones}} = \text{CE} \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.49$$

Donde el porcentaje CE se obtiene de la tabla C.5.

- Instrumentación y control

Estimación de los costos de sistemas de instrumentación y control de los equipos principales. (Peters y col., 1991)

$$\text{Costo}_{\text{Instrumentación}} = 13\% \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.50$$

- Costos de servicios industriales

Infraestructura necesaria para suministrar servicios industriales (vapor, agua potable, aire) al proceso productivo. (Peters y col., 1991)

$$\text{Costo}_{\text{Servicios industriales}} = 55\% \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}}$$

- Costo de tuberías

Adquisición y montaje de tuberías de procesos. Si aislante es requerido, se considera un 15%-25% de incremento en la estimación (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Tuberías}} = \text{CT} \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \cdot [(15\% - 25\%) + 1] \quad 4.52$$

Donde el porcentaje CT se obtiene de la tabla C.6.

- Costo de equipos eléctricos

Adquisición y montaje de sistemas eléctricos (distribución, transformación, alumbrado) (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Equipos eléctricos}} = (10\% - 15\%) \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.53$$

Entre los activos intangibles, tenemos:

- Costos de estudios y proyectos, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Estudios y proyectos}} = 35\% \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.54$$

- Costos de ingeniería, supervisión y entrenamiento, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Ingeniería y supervisión}} = (2\% - 7\%) \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.55$$

- Ganancias de contratistas, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Contratistas}} = (2\% - 6\%) \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.56$$

- Costos de arranques, pruebas y contingencias, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Contingencias}} = (8\% - 10\%) \cdot (\sum \text{Costos}_{\text{Activos tangibles}} + \sum \text{Costos}_{\text{Activos intangibles}}) \quad 4.57$$

4.4.1.2.2. Capital de trabajo: comprende la disponibilidad de capital necesaria para iniciar las operaciones de producción, y para que una vez instalada y puesta en marcha la planta, pueda operar a los niveles previstos (inventarios, salarios, etc.).

Los costos asociados al capital de trabajo comprenden:

- Costo de inventario de materias primas.

Se refiere a reservas de dinero para asegurar la adquisición de insumos. Se define como la sumatoria de los costos de las materias primas empleadas en el proceso de producción para un lapso de 30 días, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Materias primas}} = 30 \cdot \sum \left(\frac{\text{Consumo}_{\text{Materia prima}}}{\text{Día}} \cdot \frac{\text{Costo}}{\text{TM}} \right) \quad 4.58$$

- Costo de inventario de producto.

Reserva de dinero para asegurar disponibilidad de producto terminado para atender ventas para un lapso de 15 días. Valoración al costo de manufactura, o en su defecto, precio de venta, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Inventario producto}} = 15 \cdot \sum \left(\frac{\text{Producción}_{\text{Producto}}}{\text{Día}} \cdot \frac{\text{Costo}}{\text{TM}} \right) \quad 4.59$$

- Costo de inventario de repuestos.

Disponibilidad de piezas o elementos que aseguren continuidad operativa del proceso productivo, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Inventario repuestos}} = (10\% - 15\%) \cdot \text{Costo}_{\text{Equipos}} \quad 4.60$$

- Costo por salarios.

Reserva de dinero para gastos de personal para un lapso de 2 meses, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Personal}} = 2 \cdot \sum \left(\frac{\text{Salario}}{\text{PersonaMes}} \cdot \text{Personal} \right) \quad 4.61$$

- Efectivo en caja.

Reserva de dinero por concepto de imprevistos para un periodo de dos meses (60 días), (Peters y col., 1991).

$$\text{Costo}_{\text{Efectivo caja}} = 4 \cdot \text{Costo}_{\text{Inventario producto}} \quad 4.62$$

4.4.1.3. Costos de producción

Se refiere a los costos de acuerdo a divisiones de horizonte económico y sólo aparecen una vez iniciado el proceso productivo. Se encuentra conformado por los costos de manufactura y gastos generales, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Producción}} = \text{Costos}_{\text{Manufactura}} + \text{Costos}_{\text{Gastos generales}} \quad 4.63$$

4.4.1.3.1. Costos de manufactura: se refiere a los costos involucrados en la operación de la planta, y pueden ser proporcionales al tamaño de producción (costos directos) o independiente de la producción (costos indirectos o fijos).

Entre los costos directos se consideran:

- Materia prima.

Referido a los costos de los elementos que conforman el producto final. Se manejan por alícuotas y aplica inflación, (Peters y col., 1991).

$$\text{Costos}_{\text{Materia prima}} = \sum \text{Alícuota}_{\text{Materia prima}} \cdot \text{Producción}_{\text{Anual}} \cdot \text{Costo}_{\text{Materia prima}} \quad 4.64$$

- Operadores de planta.

Beneficio salarial de operadores que laboran directamente en la línea de producción. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Operadores}} = \text{Cantidad}_{\text{Turnos}} \cdot \text{Cantidad}_{\text{Operadores/turno}} \cdot \text{Beneficio}_{\text{Anual}}$$

Donde el beneficio anual se calcula como, (Giugni y col., 2001):

$$\text{Beneficio}_{\text{Anual}} = (16 - 21) \cdot \text{Beneficio}_{\text{Mensual}} \quad 4.66$$

La cantidad de operadores en la planta se determina utilizando la siguiente ecuación, (Giugni y col., 2001):

$$\text{Cantidad}_{\text{Operadores/turno}} = \frac{t \cdot \text{Secciones}_{\text{Equipos esenciales}} \cdot \text{Producción}_{\text{Diaria}}^{0,24}}{8} \quad 4.67$$

Donde t es una constante reportada en la tabla C.7 para procesos con diversos sistemas de control.

- Supervisores de turno.

Gasto directamente proporcional a complejidad operativa. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Supervisores}} = (10\% - 15\%) \cdot \text{Costos}_{\text{Operadores}} \quad 4.68$$

- Materiales y mantenimiento.

Gasto por mantenimiento preventivo y correctivo. Incluye materiales y mano de obra. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Mantenimiento}} = (2\% - 6\%) \cdot \text{Capital}_{\text{fijo}} \quad 4.69$$

- Laboratorio.

Gastos por análisis de muestras, control rutinario y/o de calidad de la producción. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Laboratorio}} = (10\% - 20\%) \cdot (\text{Costos}_{\text{Operadores}} + \text{Costos}_{\text{Supervisores}}) \quad 4.70$$

En cuanto a costos fijos o indirectos, se tiene:

- Seguros.

Referido a la protección de activos. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Seguros}} = 1\% \cdot \text{Capital}_{\text{fijo}} \quad 4.71$$

- Seguridad y protección, servicios médicos, mantenimiento general y otros gastos.

Restante de gastos involucrados en proceso de producción. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Costos}_{\text{Seguridad y protección}} = (50\% - 70\%) \cdot \text{Costos}_{\text{Mantenimiento}} \quad 4.72$$

- Depreciación.

Disminución del valor de los activos por deterioro y/o desgaste físico, desactualización y daños ocasionados por accidentes. La depreciación aplicada a activos fijos tangibles (equipos principales y secundarios) se denomina depreciación de activos; aplicada a activos fijos intangibles (proyectos, estudios, entrenamiento, contingencia, etc.) se denomina amortización de activos. Se determinará, para efectos de este proyecto, empleando el modelo de depreciación lineal, (Giugni y col., 2001).

$$D_t = \frac{C_F}{n} \quad 4.73$$

$$V_{L-t} = C_F - D_t \cdot t \quad 4.74$$

Donde:

D_T : Cuota de depreciación, (\$).

C_F : Valor Inicial del activo al momento de su adquisición, (\$).

n : Vida contable o tiempo de vida útil del activo, (adim.).

V_{L-t} : Valor del activo para un tiempo cualquiera, (\$).

- Deuda.

Obligación monetaria al realizar la solicitud de un préstamo a un organismo de financiamiento. El cumplimiento de la obligación se denomina cuota de amortización. Para efectos de este proyecto, se considerarán amortizaciones uniformes durante el periodo de financiamiento establecido, (Giugni y col., 2001).

$$R = P \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^\alpha}{(1 + i)^\alpha - 1}$$

$$P_{i_t} = i \cdot (P_{P_{t-1}}) \quad 4.76$$

$$P_{P_t} = R - P_{i_t} \quad 4.77$$

Donde:

R: Monto de la cuota de amortización del periodo, (\$).

P_t: Capital que se amortiza con la cuota, (\$).

P_i: Pago de intereses, (\$).

t: Año del horizonte económico, (adim.).

Unos de los principales entes crediticios a nivel estatal es el Fondo de Crédito Industrial (FONCREI), cuyo aporte, de acuerdo a lo señalado en el Artículo 7 de las Normas Operativas, financiará el 70% de la inversión total del proyecto a ejecutarse. Los rubros que pueden ser financiables comprenden:

Inversiones fijas:

- Maquinaria y equipos, con inclusión de laboratorios de control de calidad.
- Construcción de obras civiles.
- Gastos de instalación y montaje.
- Acondicionamiento y accesorios de maquinaria y equipos.
- Traslado y reubicación de plantas industriales.

Activos intangibles:

- Actividades de Pre-inversión y estudios de factibilidad.
- Estudios y planes:
 - De mercado
 - Estratégicos
 - Económicos
 - Gerenciales
 - Productividad y calidad.

- Desarrollo de empaque.
- Desarrollo de mercados y canales de distribución.
- Contratación de servicios profesionales.
- Desarrollo de recursos humanos.
- Puesta en marcha.

El tiempo de financiamiento puede ser de 15 años, presentando hasta dos años de gracia con una tasa de interés comprendida entre un 8% y 12%.

4.4.1.3.2. Gastos generales: Costos involucrados en actividades periféricas (no medulares de producción), necesarias para la supervivencia de la actividad productiva. Se encuentran conformados por:

- Gastos administrativos.

Comprende los gastos de oficina, costos de comunicación, sueldos y salarios del personal de apoyo a las líneas productivas (personal de gerencia, técnico, administrativo, recursos humanos). Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Gastos}_{\text{Administrativos}} = (40\% - 60\%) \cdot \text{Costos}_{\text{Operadores}} \quad 4.78$$

- Gastos de ventas.

Costos incurridos al comercializar el producto. El monto del costo mantiene relación inversa con la antigüedad del producto en el mercado. Aplica inflación, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Gastos}_{\text{Ventas}} = (2\% - 20\%) \cdot (\text{Costos}_{\text{Manufactura}} + \text{Gastos}_{\text{Administrativos}}) \quad 4.79$$

4.4.1.4. Impuesto Sobre La Renta (I.S.L.R.)

Tributos cancelados a entes gubernamentales por ejecutar actividad productiva y lograr enriquecimiento, (Giugni y col., 2001).

$$\text{Enriquecimiento} = \text{Ingresos} - \text{Costos}_{\text{Producción}} \quad 4.80$$

$$\text{I.S.L.R.} = \text{Tasa} \cdot \text{Enriquecimiento} - \text{Sustraendo} \quad 4.81$$

El enriquecimiento se expresa en unidades tributarias (U.T.) con el fin de establecer la tasa y el sustraendo correspondiente. En este estudio se realiza la conversión tomando como referencia el valor señalado en la Gaceta Oficial N° 38.603, la cual establece el valor de la unidad tributaria en Bsf. 37,632. De acuerdo al Servicio Integrado de Administración Tributaria y Aduanera (SENIAT), las tarifas para la determinación del I.S.R.L. aplicada a sociedades capitales y compañías son las reportadas en la tabla C.8.

4.4.2. Indicadores Económicos

La rentabilidad económica del proyecto se estima mediante la determinación de indicadores económicos, a continuación se muestran los aplicados en el análisis económico de las alternativas de aumento de capacidad:

4.4.2.1. Valor Presente Neto o Valor Actual Neto (V.P.N. o V.A.N.)

Cuando se calcula el valor presente neto de un proyecto, el primer paso es el de restar todos los costos en un período, de los beneficios en dicho período para obtener los beneficios netos (positivos o negativos). Luego, se elige una tasa de descuento que mida el costo de oportunidad de los fondos con usos alternativos en la economía, (FONCREI, 2000).

$$V.P.N. = \sum_{t=0}^n \frac{\text{Ingresos} - \text{Egresos}}{(1 + i)^n} \quad 4.82$$

Utilizando esta tasa mínima de rendimiento (17%), se le imputa a cada proyecto un costo de fondos igual al retorno económico, en la mejor alternativa. Por lo tanto el V.P.N de un proyecto mide el monto en el que la economía estará peor. Esta característica del V.P.N, que es cierta bajo todas las circunstancias, conduce a un primer código que se debe recordar:

“No aceptar proyecto alguno a menos que genere un V.P.N positivo, cuando se descuenta utilizando el costo de oportunidad de los fondos”.

En segundo lugar, cuando existe una situación de restricción en los fondos, es decir, cuando no se pueden financiar todos los proyectos con un V.P.N positivo y se tiene que elegir entre los distintos proyectos, debemos observar las siguientes reglas:

“Cuando existe una restricción de fondos, elija el subconjunto del proyecto de tal manera, que el V.P.N generado por los fondos sea el máximo”

“En una situación en la que no existe restricción de fondos pero se debe elegir entre proyectos mutuamente excluyentes, se elegirá siempre aquella alternativa que genere el mayor V.P.N”.

4.4.2.2. Tasa beneficio-costos

Este criterio para clasificar inversiones es uno de los más utilizados. La razón beneficio - costo se calcula dividiendo el valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos, utilizando como tasa de descuento la que refleja el costo de los fondos, (FONCREI, 2000).

$$\text{Tasa}_{\text{Beneficio-Costo}} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{\text{Ingresos}}{(1+i)^n}}{\sum_{t=0}^n \frac{\text{Egresos}}{(1+i)^n}} \quad 4.83$$

Usando este criterio se requiere que la razón sea mayor que uno (1), para que el proyecto sea aceptable.

4.5. SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para el cumplimiento de este objetivo, se realiza una matriz de selección en donde se evalúan cuantitativamente los parámetros más relevantes de las alternativas propuestas, entre ellos el más importante es la relación beneficio-costos, el cual es un parámetro que indica el grado de factibilidad de un proyecto. Entre los parámetros también se considera el valor presente neto (V.P.N.), el cual representa la sumatoria de los flujos de caja en todo el horizonte económico. Por su parte, también se consideran las implicaciones de seguridad industrial y de ambiente, factor importante debido a la

existencia de previas citaciones por incumplimiento de las normativas ambientales establecidas actualmente; así como también los servicios industriales.

Para la selección de la alternativa que mejor se ajuste al proceso, se aplica una matriz de selección múltiple en donde se jerarquizan porcentualmente las cualidades predominantes de cada alternativa y se ponderan, con la intención de determinar cuantitativamente la que mejor se adapte. Para ello se utiliza una escala numérica del 1 al 5, en donde el 5 representa la opción que mejor se adapta y el 1 la menor.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En el capítulo que se presenta a continuación se estudian y se analizan los resultados obtenidos de la metodología llevada a cabo en el capítulo IV del presente trabajo, a partir de la cual se evalúa el proceso de producción de Feldespatos Procesados C.A.

5.1. ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS Y ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO

5.1.1. Condición Actual de la Planta

El estado actual de la planta de Feldespatos Procesados C.A. es identificado por medio de una inspección visual realizada a los equipos que la conforman y al personal que labora. De este análisis se obtienen las siguientes observaciones:

- **Personal**

Con los recorridos realizados por la planta y con la consulta con el personal técnico, se ha identificado que el personal obrero desempeña sus labores con motivación escasa sin valorar la importancia, hacia la empresa, de sus actividades realizadas. Esto puede traer como consecuencia que los equipos no sean operados óptimamente, disminuyendo la producción de la planta.

- **Trituración primaria del mineral**

De la inspección visual de los equipos que constituyen esta etapa (tritador de mandíbula y triturador de cono) se observó que operan cumpliendo los requerimientos solicitados para su aporte en la trituración primaria y secundaria del material extraído de la cantera; es por ello que logran procesar la carga suministrada, reduciendo efectivamente la granulometría del mineral preparándola para su molienda posterior, detectando de esta manera, que estos equipos no presentan variables críticas que pudieran afectar significativamente al proceso.

- **Secador rotatorio y molino Barmac B7000**

Se detectó que a las condiciones actuales de operación, estos equipos cumplen con su función de triturar y deshidratar el mineral alimentado, desde $\frac{3}{4}$ " hasta 25 malla Tyler y secar desde aproximadamente 2,6% a 0,2% de humedad, respectivamente (ver tabla A.5 para información sobre la humedad del mineral). Sin embargo, se puede identificar en la planta la existencia de una gran cantidad de material acumulado sin procesar, porque la capacidad de producción del secador y del molino Barmac limita la producción global (siendo el cuello de botella del proceso); esto es debido a que actualmente estos equipos operan a una capacidad que garantiza menores paradas por mantenimiento. Se han obtenido reseñas históricas en la empresa Feldespatos Procesados, en donde se indica que a mayor capacidad (que la operativa actual) estos equipos instalados presentan fallas en sus componentes (motor, rotor y partes móviles), lo cual no garantiza la calidad del producto de salida de la unidad, como el porcentaje de humedad y granulometría, respectivamente. Es por ello que estas dos etapas son consideradas el "cuello de botella" de la planta, ya que no procesan todo el material proveniente de las etapas anteriores sino que un pequeño porcentaje, trayendo como consecuencia una acumulación de materia en el proceso.

- **Atricionador**

Se puede considerar que este equipo no presenta ninguna variable crítica que pudiera afectar significativamente al proceso, debido a que reduce el contenido de óxido de hierro presente en el mineral hasta los niveles estándares permitido por la industria de vidrio, los cuales no deben superar el 1%.

- **Secador de lecho fluido**

Se he detectado que a las condiciones actuales de operación, el equipo cumple perfectamente con la función de deshidratar el material fino procesado en la sección de molienda. Se puede considerar que en este equipo no existen variables críticas que pudieran afectar al proceso.

5.1.2. Evaluación Cuantitativa del Proceso Productivo de la Empresa.

Se realizó un registro minucioso de los traslados de los camiones durante un mes, para cuantificar la totalidad del material bajado de la mina hacia el triturador primario y el material vendido como producto final a las empresas consumidoras (ver tablas A.1, A.2 y A.3). Feldespatos Procesados C.A. cuenta con dos camiones, de 35 y 40 toneladas, para el transporte del material de la mina hacia el triturador primario; por lo tanto para la estimación de la cantidad diaria total trasladada, se cuantificaron los viajes realizados con su carga aproximada con la asesoría del supervisor de producción.

A través de un balance global de materia se puede dar a conocer la totalidad de las corrientes que alimentan al proceso y salen del mismo de manera diaria, ver tabla 5.2. Este análisis del comportamiento de la planta se realizó para estimar el rendimiento másico de la planta.

Utilizando los datos de la tabla 5.2 y la ecuación IV.2 se determinó el material real del sistema, el cual se puede definir como la suma de la cantidad de feldespato que sale de la planta hacia las otras empresas. Como este material final es utilizado como materia prima por los clientes de la compañía, se requiere que los parámetros de calidad, como la granulometría y el porcentaje de humedad, estén dentro de las especificaciones técnicas requeridas. Posteriormente, durante los días 2, 3, 17, 23 y 24 del período de evaluación, la planta no operó debido tanto a reparaciones o mantenimientos de equipos como también por lluvias, generando paradas no programadas ocasionando una disminución en la producción de feldespato.

El material vendido por la planta procesadora es aquel que sale como producto de la etapa de clasificación, el cual tiene productos de granulometría 20, 80, 140 y 200 malla Tyler, mientras que el material vendido a la industria de la cerámica viene representado por el polvillo y el arrocillo. Actualmente la sección de secado-molienda opera a 7,60 TM/h (2434 TM/mes), por lo que se requiere aumentar la producción a un mínimo de capacidad de 38,91 TM/h (12452 TM/mes), para que se pueda procesar el material acumulado más lo enviado a la planta procesadora actualmente (ver tabla 5.3); sin embargo estableciendo un 10% de sobrediseño, se pretende consumir

gradualmente el acumulado de meses anteriores y cualquier variación en la producción mensual. Este sobrediseño representa una producción en esta sección de 42,8 TM/h, lo que representa 13700 TM/mes.

En la tabla 5.1 se puede observar el porcentaje de distribución de las corrientes de los distintos sub-productos respecto a la alimentación inicial. Como se observa, el 32,5% de la producción total es destinado a la industria de la cerámica, siendo el resto (67,5%) enviado hacia la sección de secado-molienda con destino a la planta procesadora, en donde al finalizar la clasificación, el material es distribuido en productos con granulometría de 20, 80 malla tyler y material fino con los porcentajes indicados (11,8, 47,5 y 26,8%).

TABLA 5.1.
DATOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATOS PROCESADOS C.A.
PARA EL MES DE ESTUDIO (JUNIO DE 2007)

Producto	Producción ($m_p \pm 1$) TM/mes	Porcentaje ($P_p \pm 0,1$) %	
20 Malla Tyler	288	67,5	11,8
80 Malla Tyler	1156		47,5
Finos	653		26,8
Polvillo/Arrocillo	6013	32,5	

Total enviado a la planta procesadora en el mes de junio: 2434 TM.

TABLA 5.2.
DATOS DIARIOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATOS
PROCESADOS C.A. EN EL MES DE ESTUDIO (JUNIO DE 2007)

Fecha	Material bajado mina ($m_{BM} \pm 1$) TM	Vendido a empresas cerámicas ($m_{VC} \pm 1$) TM	Recibido planta procesadora ($m_{RP} \pm 1$) TM	Vendido planta procesadora ($m_{VP} \pm 1$) TM	Stock planta procesadora ($m_{SP} \pm 1$) TM
1	172	239	180	290	253
4	0	16	200	37	269
5	0	148	80	59	397
6	0	267	211	98	404
7	1449	126	69	137	406
8	1725	712	60	109	349
9	356	0	0	43	306
10	554	0	0	0	306
11	1716	375	117	135	324
12	1111	492	115	34	365
13	836	598	155	62	419
14	1322	287	155	147	402
15	1478	207	72	60	342
16	673	0	0	0	342
18	1030	396	200	126	389
19	1141	242	100	157	354
20	806	454	0	82	280
21	1062	276	0	62	218
22	832	233	160	104	227
25	0	427	0	2.2	225
26	0	277	0	50	175
27	400	86	0	0	175
28	653	153	220	22	305
29	458	0	160	48	395
30	690	0	180	0	548

Total bajado de la mina en el mes de junio: 18465 TM.

Como se puede observar en la tabla 5.3, el material realmente aprovechado por la empresa es inferior a la cantidad de material que permanece acumulado por deficiencias en el proceso de producción. Esto trae como consecuencia, un porcentaje

de rendimiento másico muy bajo. Esta incapacidad de procesar todo el material bajado de la mina lleva a realizar una evaluación detallada de cada uno de los equipos y etapas que conforman el proceso de producción, de manera que se pudiera identificar el/los equipos responsables de este bajo rendimiento, con la finalidad de sustituirlos o realizar un re-arreglo, aumentando la producción y de esta forma obtener mayores ganancias, producto de la alta demanda del feldespatos. Cuantitativamente hablando, el material aprovechado en el mes de estudio por la planta es de (8.426 ± 1) TM, siendo (2.434 ± 1) TM procesados por las secciones de secado y molienda, respecto a un material total bajado de la mina de (18.465 ± 1) TM, lo que indica un material acumulado de (10.018 ± 1) TM, lo que representaría una ganancia anual de 7.100 M\$ si fuera procesado.

TABLA 5.3.
EFICIENCIA MÁSCICA DE LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS C.A.
PARA EL MES DE ESTUDIO (JUNIO DE 2007)

Mes	Rendimiento másico ($RM_{\text{Proceso}} \pm 0,1$) %	Material aprovechado ($M_{\text{Apro}} \pm 1$) TM	Acumulado en mina ($M_{\text{Acum}} \pm 1$) TM
Junio	45,6	8426	10018

5.2. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS, ETAPAS Y VARIABLES CRÍTICAS DE OPERACIÓN, QUE INTERFIEREN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.

Como se identificó en el apartado 5.1.1 (condición actual de la planta) uno de las problemáticas críticas actuales en la planta, es que el desempeño del personal obrero es deficiente, esto es ocasionado por la falta de charlas de motivación, en donde se promueva un trabajo orientado al cumplimiento de objetivos y no al cumplimiento de un horario de trabajo. Es por ello que esta problemática crítica debe ser tomada en cuenta y se debe ser propuesta una alternativa para su mejora.

5.2.1. Análisis de Causas Potenciales de la Alta Cantidad de Producto Acumulado.

Para determinar las causas del producto acumulado se analizan cada una de las categorías que comprende el Diagrama de Ishikawa o Diagrama Causa-Efecto, que fueron descritas en el capítulo anterior. Para ello se compilan inicialmente todos los factores que podrían influir sobre esta problemática, como se muestra en la figura 5.1, para luego ser considerados de manera individual de acuerdo al nivel de repercusión que cada uno tiene sobre el problema principal. Cabe destacar, que ciertos componentes no aplican para la problemática evaluada (método y medición), por lo que fueron descartados directamente, de esta manera sólo fueron evaluadas aquellas categorías que afectaban directamente el problema.

- **Materia Prima**

Las características de la materia prima en el proceso de producción del feldespató repercuten directamente en las características y en la cantidad de producto final, como el desempeño general del proceso.

Uno de los factores más importantes en el proceso de extracción de la mina es la dureza del yacimiento de donde se está explotando el mineral, debido a que resultará más difícil reducir su tamaño en la sección de trituración primaria y de molienda.

- **Medio Ambiente**

Las condiciones atmosféricas afectan las características del material a lo largo de la línea de producción. Debido a que la planta se encuentra a cielo abierto, se encuentra expuesta a las lluvias, por muy leves que sean, alterando el contenido de humedad del material. Por esta razón, cuando se presentan precipitaciones durante la producción, ocurren paradas no programadas debido a que el manejo del material a granel se complica, además que se comprometen las especificaciones del producto.

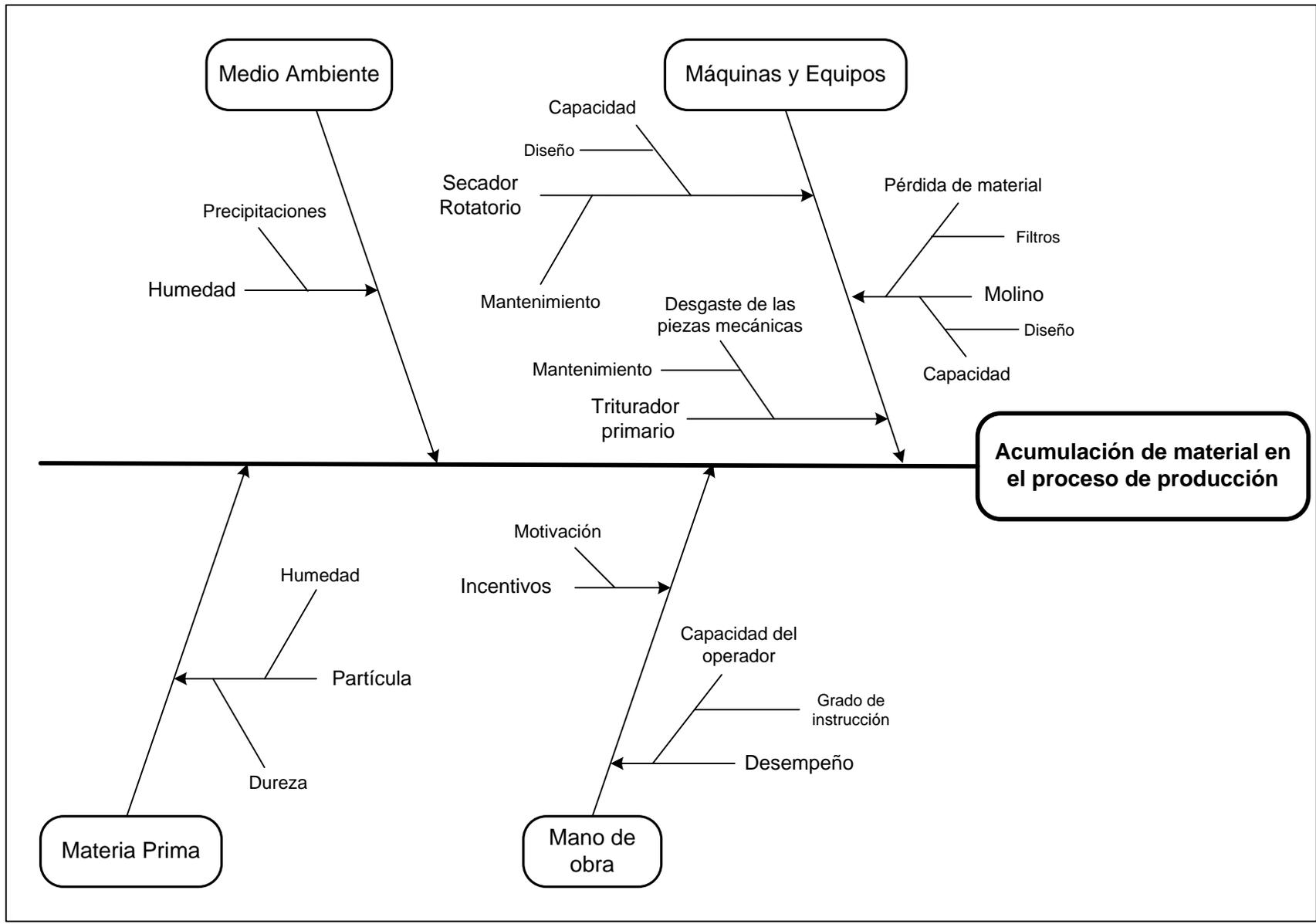


Figura 5.1. Diagrama causa-efecto preliminar para el análisis de la acumulación de material en el proceso de producción.

- **Mano de Obra**

Los factores concernientes a la mano de obra de una empresa pueden influir notablemente en muchos procesos industriales; más aún cuando se trata de procesos no automatizados en los cuales la obtención de resultados esperados depende del criterio del personal. La capacitación, la actitud y el desempeño de las tareas de cada uno de los operadores, técnicos y demás personal involucrado con el proceso productivo, afectan directamente el resultado del proceso.

En la planta de producción de feldespatos, el personal en su gran mayoría desconoce con exactitud el por qué de la importancia de seguir correctamente los procedimientos pautados. Además el personal se desempeña en un ambiente de trabajo adverso (ruido, partículas de polvo y calor según sea el caso), por esa razón, este factor es considerado como influyente sobre la problemática analizada.

- **Maquinaria**

Uno de los aspectos más influyentes en todo proceso industrial es el tipo de maquinaria utilizada y el estado de las mismas. En la sección de trituración primaria existen paradas no programadas cuyo efecto sobre la producción global es poca, debido a que éstas ocurren con baja frecuencia. Durante el mes de recolección de datos (junio del 2007), sólo se observó una parada causada por el desgaste de una pieza mecánica en este equipo. De igual manera, los equipos principales asociados a las secciones de secado y molienda, presentan pocos desgastes mecánicos; sin embargo a la capacidad operativa actual, no se consume el material proveniente de la sección anterior, afectando directamente la eficiencia másica del proceso.

Luego del análisis de estos principales componentes del Diagrama de Ishikawa para la problemática evaluada, se descartan aquellos que no repercuten significativamente, dejando los aspectos críticos que inciden directamente sobre el problema. De esta manera, el diagrama se resume según el mostrado en la figura 5.2.

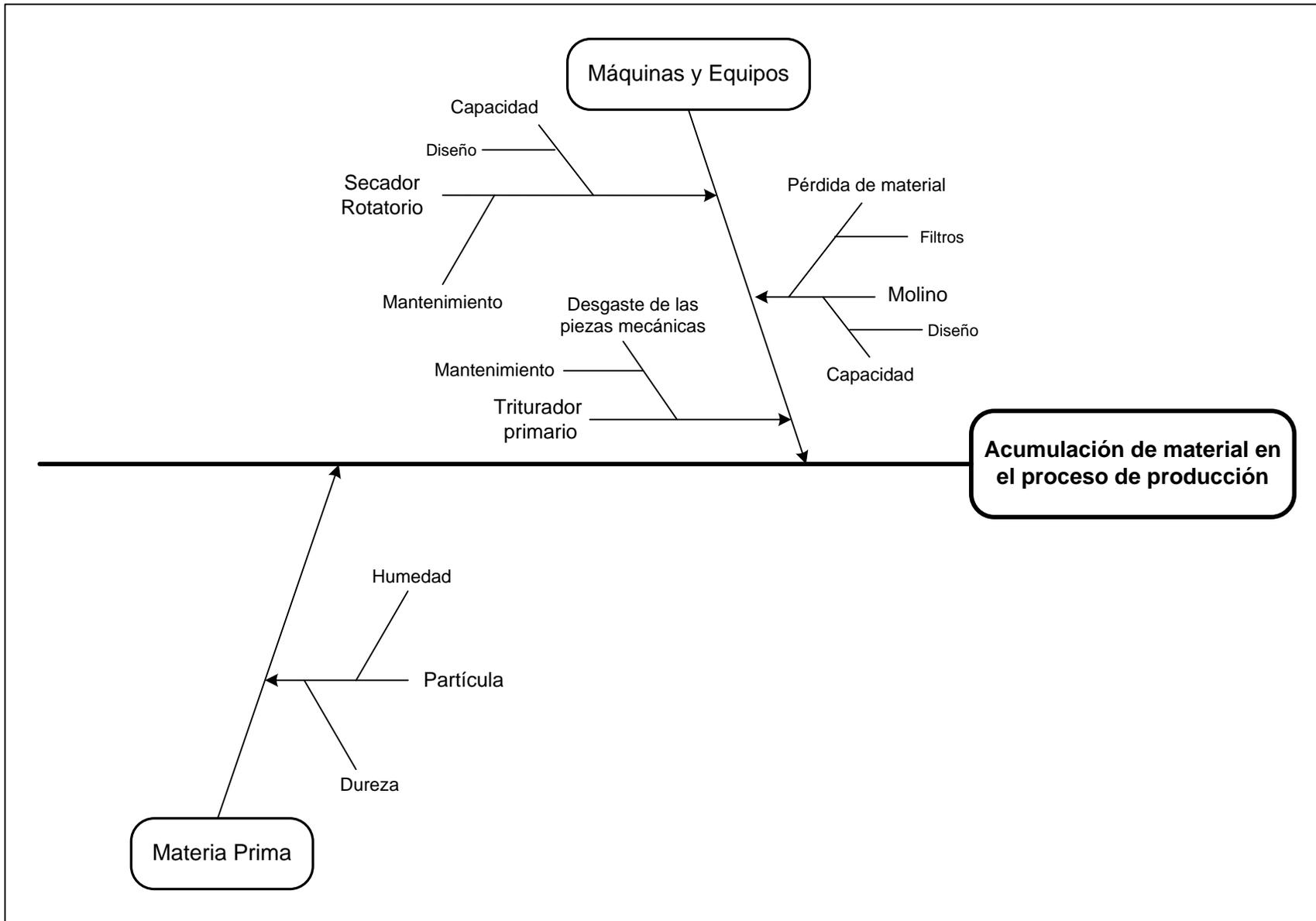


Figura 5.2. Diagrama causa-efecto simplificado para el análisis de la Acumulación de material en el proceso de producción.

5.2.2. Análisis de Causas Potenciales que Producen Pérdidas de Material Durante el Despacho del Producto Terminado.

En el despacho del material procesado existen básicamente dos métodos para cargar los camiones de transporte, los cuales dependen de la granulometría del feldespato. El material fino almacenado en tolvas (material con granulometría de 20, 140 y 200 malla Tyler con destino final hacia la industria de cerámica, goma, esmalte y pego respectivamente) es despachado con el uso de una banda transportadora inclinada, cuya alimentación es efectuada desde los silos de almacenamiento, desembocando directamente en los camiones de transporte a granel. El material de granulometría de 80 malla Tyler, el cual se almacena en pilas dentro de un patio cerrado, es arrastrado con ayuda de un bulldozer hacia una tolva subterránea en donde se encuentra una banda transportadora inclinada, la cual desemboca directamente en los camiones de transporte a granel con destino a la industria de vidrio. Por otro lado, el material más fino, de granulometría de 400 malla Tyler, es almacenado en sacos. Generalmente este material se mezcla con el de 140 y 200 malla Tyler debido a que también es usado por la industria de pego, esmalte y goma.

Existen ciertos componentes que no aplican para la problemática evaluada (materia prima y medición), por lo que fueron descartados directamente, de esta manera sólo fueron evaluadas aquellas categorías que influyen directamente sobre el problema.

- **Mano de Obra**

El personal obrero tiene poco impacto en el despacho del producto procesado debido a que éste se realiza a través de bandas transportadoras. Sin embargo, el flujo de material que se fija como salida de la tolva es muy alto, provocando pérdidas de material como producto del golpe del feldespato granulado con la superficie del camión, levantando una gran cantidad de material, generando adicionalmente un impacto en el ambiente.

En el caso de las pilas de material de 80 malla Tyler, no lavan continuamente el bulldozer utilizado para remover el feldespato, contaminando una parte del material que

posteriormente no podrá ser despachado, ocasionando pérdidas monetarias a la empresa.

- **Medio Ambiente**

Las condiciones atmosféricas afectan las características del producto despachado debido a que este es usado como materia prima para otros procesos de producción, por lo que su pedido es realizado estrictamente con la menor humedad posible. Esto trae como consecuencia que en los días lluviosos no se pueda realizar la carga de los camiones transportadores, con la finalidad de garantizar la calidad del producto.

Otro factor que ocurre con mayor frecuencia, son los vientos, los cuales ocasionan pérdidas de material y un impacto en el ambiente, resultando perjudicial no solo para la empresa sino también para las empresas vecinas debido a la contaminación de sus productos con el feldespató.

- **Maquinaria**

Tomando en consideración el impacto ambiental y la contaminación a empresas vecinas durante la carga de los camiones, estos son introducidos en una sección desarrollada especialmente para su carga, la cual es cerrada mediante el uso de persianas, que únicamente evitan el escape de partículas de feldespató hacia el ambiente, puesto que la nube de feldespató que se crea en el aire es amplia.

Este efecto se puede atribuir a una falla en la colocación de las persianas, debido a que estas deben de impedir el paso de cualquier partícula hacia al ambiente, manteniendo la zona de carga lo más hermético posible.

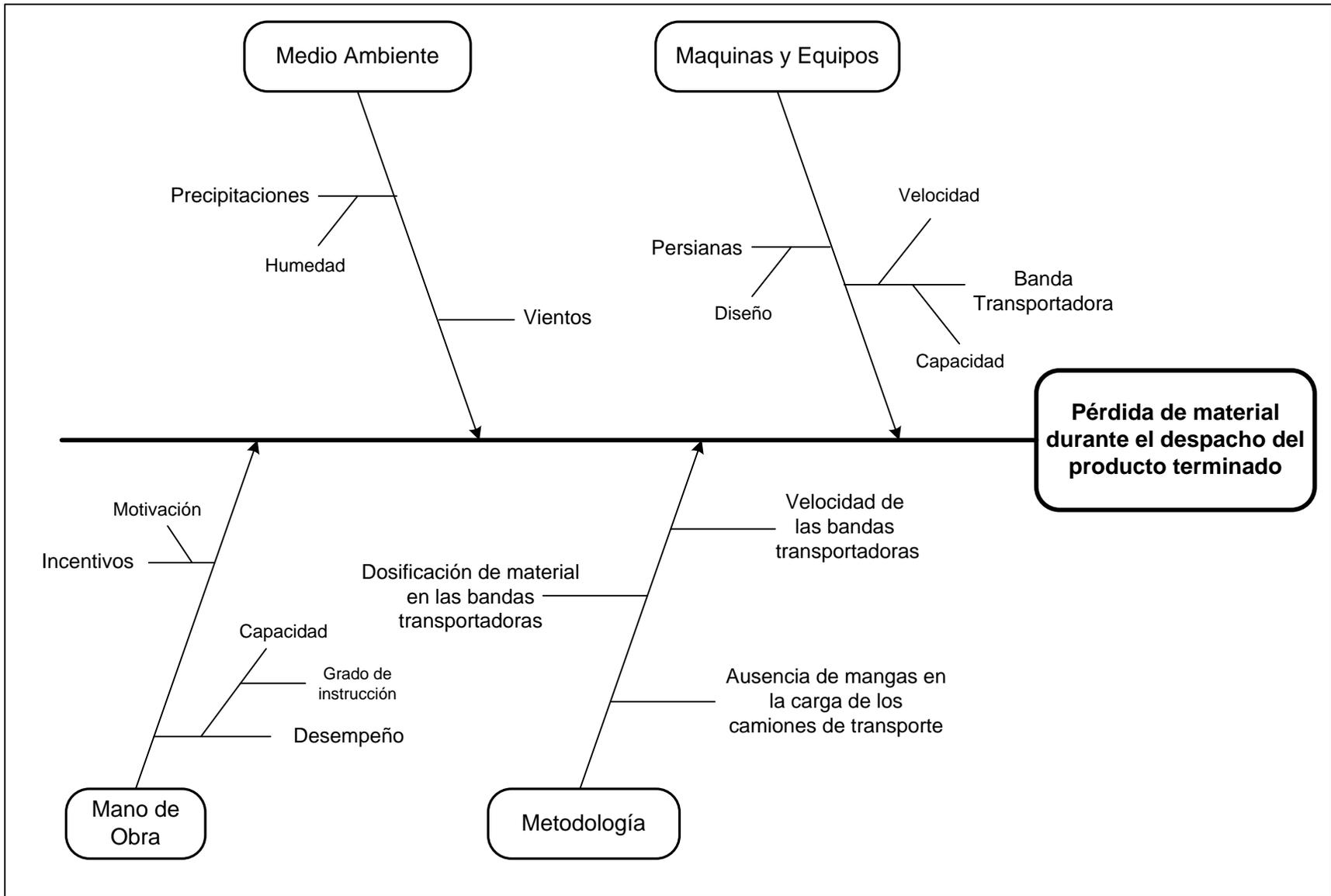


Figura 5.3. Diagrama causa-efecto preliminar para el análisis de la pérdida de material durante el despacho del producto terminado.

- **Metodología**

Diariamente la planta procesadora de feldespatos despacha grandes cantidades de material a otras empresas, por lo que la metodología empleada debe ser realmente eficiente.

La problemática previamente mencionada se puede atribuir tanto a la sobrecarga de las bandas transportadoras con el material procesado como a un exceso de velocidad de las mismas, creando una mayor fuerza de colisión entre las partículas ocasionando su levantamiento, creando un ambiente incómodo para el personal y pérdidas en material que se pueden traducir más adelante en pérdidas monetarias. Al reducir la velocidad de las bandas transportadoras o su cantidad de carga puede reducir en un porcentaje el levantamiento de material pero traerá como consecuencia un mayor tiempo de carga.

Luego del análisis de estos principales componentes del Diagrama de Ishikawa para la problemática evaluada, se descartan aquellos que no repercuten significativamente; como es el caso de las máquinas y equipos, donde ellas se encuentran en buen estado para la sección donde ocurre la problemática analizada y solo desempeñan funciones de contención de las partículas dispersas (persianas) y de dosificación (bandas transportadoras), y por otra parte, la presencia de la mano de obra en este proceso de carga de camiones no es significativa, ya que su trabajo es solo de inspección. De esta manera, el diagrama se resume según el mostrado en la figura 5.4.

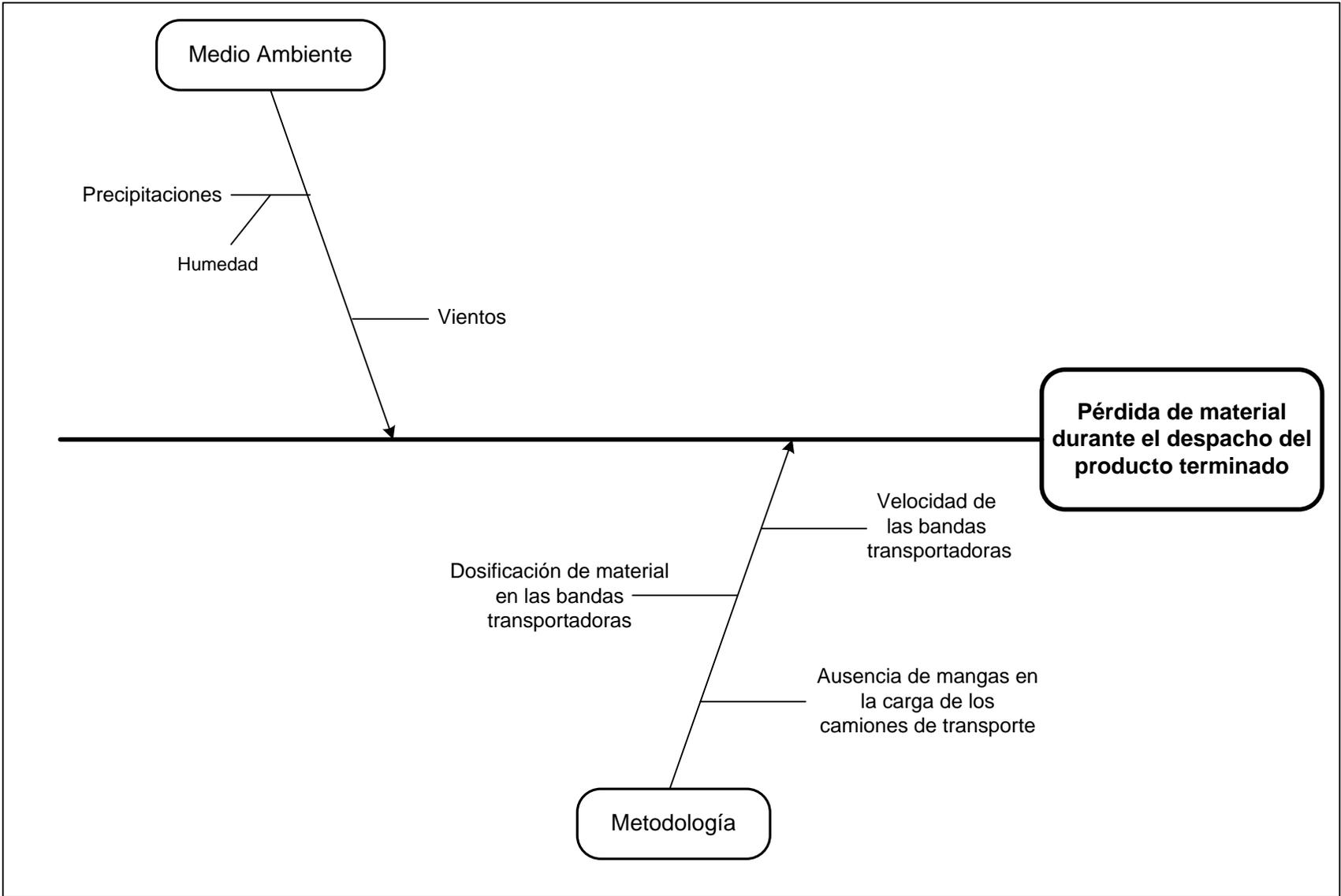


Figura 5.4. Diagrama causa-efecto simplificado para el análisis de la pérdida de material durante el despacho del producto terminado.

5.3. ALTERNATIVAS DE MEJORA AL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO

Con las propuestas de alternativas que se puedan definir, se espera que todo el material bajado de la mina sea aprovechado, aumentando de esta manera la eficiencia másica del proceso. Como la acumulación mensual actualmente es de 10018 TM y esta será completamente aprovechada, se espera entonces que la producción total de la sección de secado y molienda sea de 13700 TM mensuales frente a las 2434 TM producidas actualmente, lo que resulta en un aumento de la eficiencia másica del proceso de producción de feldespatos a 96,5% tomando en consideración la producción y el porcentaje de distribución de los sub-productos (ver tabla 5.1). Cabe destacar que en el dimensionamiento de equipos requeridos, se considera el sobredimensionamiento de seguridad (10%) discutido en el apartado 5.1.2.

Tomando en cuenta el análisis de los problemas identificados en los apartados anteriores, se establecen los siguientes planes de mejoras:

Alternativa N°1 Molienda en base seca	Alternativa N°2 Molienda en base húmeda
Reemplazo del secador rotatorio por uno de mayor capacidad.	Reemplazo de la sección de secado y molienda por un sistema de molienda vía húmeda.
Reemplazo del molino Barmac B7000 por un molino de barra de mayor capacidad.	Instalación de mangas telescópicas para las secciones de carga de los camiones de transporte.
Instalación de mangas telescópicas para las secciones de carga de los camiones de transporte.	Plan de formación, capacitación y cursos de motivación al personal.
Plan de formación, capacitación y cursos de motivación al personal.	

A continuación se presenta el análisis de las características de los planes de mejora:

5.3.1. Reemplazo del Secador Rotatorio y del Molino de la Sección de Molienda (Molienda en Base Seca).

Con el apoyo del análisis causa-efecto presentado en el punto 5.2, se propone la incorporación de un nuevo molino capaz de manejar mayor capacidad, de manera que

todo el material proveniente de la mina sea procesado, eliminando de esta manera la acumulación presentada en esta sección. Cabe destacar que un redimensionamiento de la sección de secado es necesario, debido a que el equipo actualmente instalado se encuentra sumamente desgastado y no garantiza mejores grados de eficiencia a capacidades mayores. Las especificaciones de los equipos propuestos que se presentan en las tablas 5.4 y 5.5 fueron determinadas como se indica en el apéndice B, D y mediante cotizaciones dispuestas en el anexo.

TABLA 5.4.
HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL MOLINO DE BARRAS

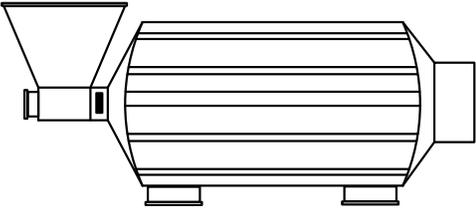
Nombre e identificación		Símbolo	
MOLINO DE BARRAS			
Especificaciones de operación			
Función	Molienda de la piedra picada hasta las especificaciones indicadas.		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Valor	
Potencia	hp	350	
Capacidad	TM/h	45	
Humedad de la roca de entrada	%	≤ 1	
Tamaño de la alimentación	μm	19050	
Tamaño del producto	μm	177	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Diámetro	m	8,5	
Longitud	m	12	
Tipo de molienda	N/A	Seco	
Circuito de molienda	N/A	Abierto	
Costo por unidad	\$	1130000	

TABLA 5.5.
HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SECADOR ROTATORIO

Nombre e identificación		Símbolo	
SECADOR ROTATORIO			
Especificaciones de operación			
Función	Realizar el secado del material procesado hasta la humedad especificada		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Valor	
Capacidad	TM/h	42,8	
Flujo de aire	Contracorriente		
Combustible	Gasoil		
Consumo de combustible	L/h	143,60	
Temperatura	°C	150	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Diámetro	mm	2045	
Longitud	m	23	
Velocidad	rpm	3,2 - 4,6	
Humedad inicial	%	2 - 5	
Humedad final	%	≤ 1	
Costo por unidad	\$	478004	

5.3.2. Implementación de un Sistema de Molienda Vía Húmeda.

Como propuesta alternativa, se encuentra la incorporación de un sistema de molienda vía húmeda la cual reemplazará a toda la sección de molienda existente y a la sección de secado previo. Por otra parte, la implementación de la molienda húmeda trae una serie de ventajas frente a la molienda seca, como se presentan a continuación:

- Menor consumo de energía por tonelada de producto.
- Mayor capacidad por unidad de volumen.
- Elimina el problema del polvo (criterio ambiental).

El amplio crecimiento en años recientes de la tecnología de molienda en vía húmeda, se encuentra enfocado al aumento de capacidades de procesos a un menor costo operativo, pudiendo además adaptar las características finales del producto a las especificaciones requeridas por el mercado. Este nuevo sistema incorpora un nuevo grupo de unidades principales, como hidrociclones y tanques de almacenamiento, cuya configuración se indica en la figura 5.5.

El sistema de molienda vía húmeda utiliza un molino de bolas que se encuentra en un circuito cerrado, usando para ello un sistema de hidrociclones para la clasificación, que se encuentra ubicado a una mayor altura respecto al molino, de manera que la corriente de fondo (contentiva de partículas gruesas) sea recirculada por gravedad a la alimentación del molino. Además existe una corriente de alimentación de agua fresca a la entrada del molino, para garantizar el porcentaje en peso (parámetro crítico de diseño) del lodo a triturar; por otro lado, para garantizar un alta grado de separación en el sistema de hidrociclones se requiere que el porcentaje en peso de su corriente de fondo sea aproximadamente 76%; para ello se incorpora un tanque de mezcla, en donde hay una entrada de agua usada para ajustar este parámetro. Cabe destacar que la corriente de tope contiene las partículas finas que son arrastradas hasta el tanque sedimentador, donde son transportadas por el tornillo helicoidal hasta el apilador radial.

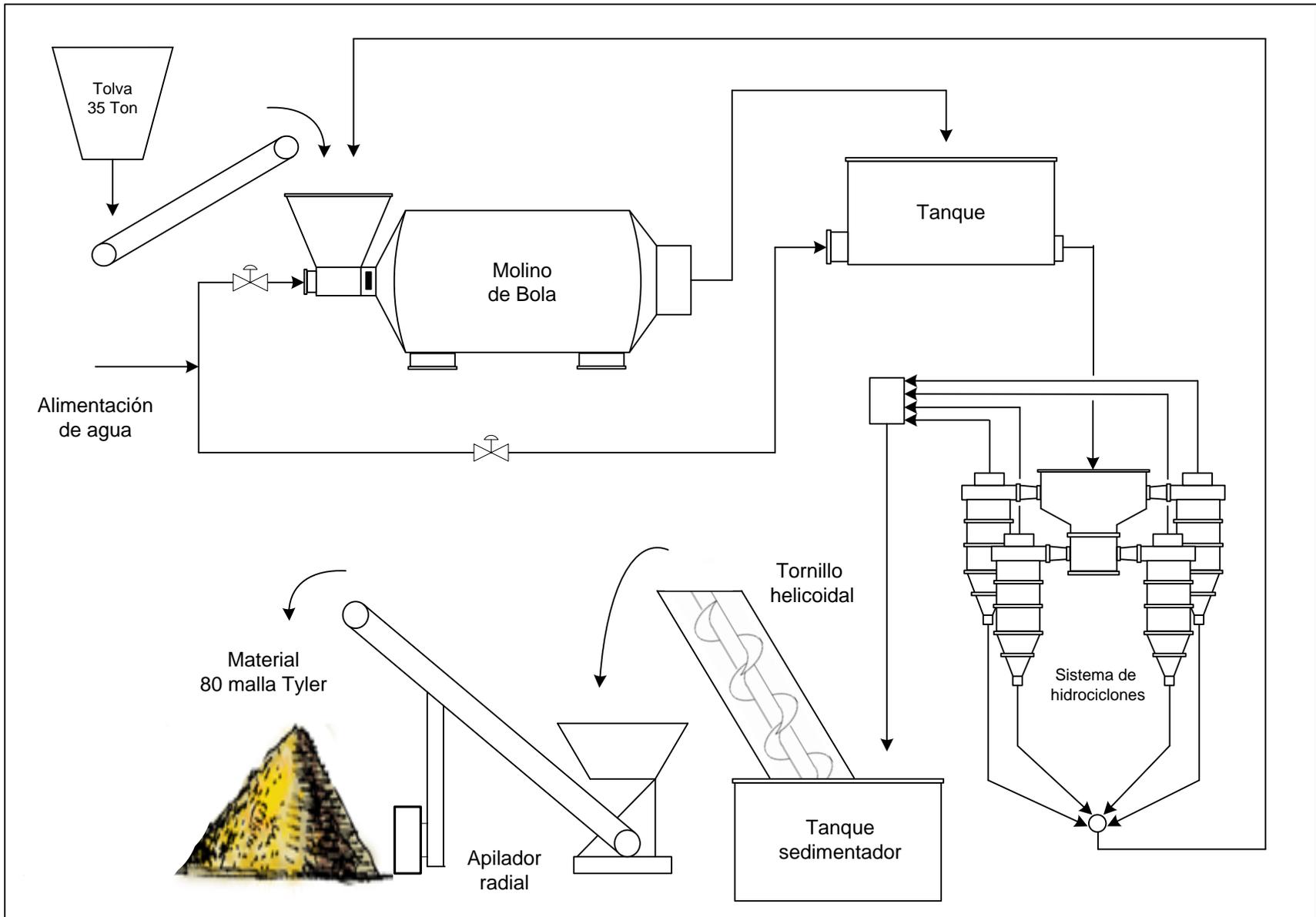


Figura 5.5. Diagrama de flujo de la sección de molienda vía húmeda propuesta

Las especificaciones de los equipos propuestos, se muestran a continuación:

TABLA 5.6.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL MOLINO DE BOLAS

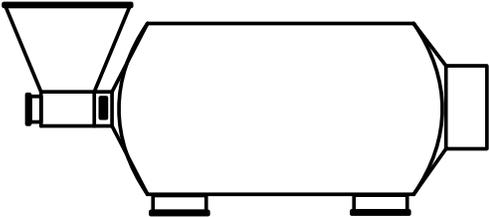
Nombre e identificación		Símbolo	
MOLINO DE BOLAS			
Especificaciones de operación			
Función	Molienda de la piedra picada hasta las especificaciones indicadas.		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Valor	
Potencia bruta	kW	1861,52	
Porcentaje de sólido	%	72	
Capacidad	TM/h	197,65	
Consumo de energía específica	kWh/TM	8,15	
Tamaño de la alimentación	μm	19050	
Tamaño del producto	μm	177	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Diámetro	m	4,4	
Longitud	m	5,3	
Velocidad de giro	rpm	14,4	
Porcentaje de llenado de la carga	%	40	
Ángulo de levantamiento	grados	35	
Densidad de las bolas	TM/m ³	7,75	
Diámetro de las bolas	mm	131	
Cantidad de bolas	adim.	14919	
Pérdida de potencia	%	10	
Costo por unidad	\$	2775836	

TABLA 5.7.
HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL HIDROCICLÓN

Nombre e identificación		Símbolo	
HIDROCICLÓN			
Especificaciones de operación			
Función	Clasificar un determinado caudal de pulpa en dos fracciones: la llamada de tope, que debe llevar los elementos más finos y la llamada corriente de fondo que debe contener los más gruesos.		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Valor	
Carga Circulante	%	250	
Porcentaje en volumen de sólido en la alimentación	%	38	
Capacidad del sistema de hidrociclones	TM/h	235	
Caída de presión	psi	9	
Número de unidades	adim.	3	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Dc	cm	25,4	
Do	cm	7,1	
D1	cm	8,6	
D2	cm	5,1	
α	grados	20	
L	cm	127,0	
L1	cm	17	
L2	cm	10,2	
Costo por unidad	\$	8587,66	

TABLA 5.8.
HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL TANQUE

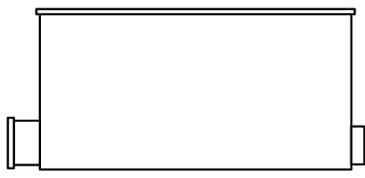
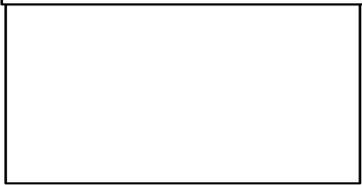
Nombre e identificación		Símbolo	
TANQUE			
Especificaciones de operación			
Función	Aumento de la cantidad de agua en el sistema, para garantizar un porcentaje en peso de la corriente de fondo del sistema de hidrociclones de 76 %.		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Valor	
Flujo de agua fresca de entrada	TM/h	37,75	
Flujo de lodo de entrada	TM/h	197,65	
Porcentaje en peso de sólidos del lodo de entrada	%	72,0	
Porcentaje en peso de sólidos del lodo de salida	%	60,45	
Densidad del lodo de entrada	TM/m ³	1,761	
Densidad del lodo de salida	TM/m ³	1,569	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Capacidad	gal	49536,91	
Altura	pies	32	
Diámetro	pies	17	
Espesor de pared	pulg	0,2088	
Peso	lb	21300	
Costo por unidad	\$	53799	

TABLA 5.9.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL TANQUE SEDIMENTADOR

Nombre e identificación		Símbolo	
TANQUE SEDIMENTADOR			
Especificaciones de operación			
Función	Disminución del alto contenido de agua del lodo clasificado, garantizando bajo grado de humedad.		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Valor	
Flujo de lodo de entrada	TM/h	101,65	
Porcentaje en peso de sólidos del lodo de entrada	%	40	
Densidad del lodo de entrada	TM/m ³	1,316	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Capacidad	gal	25510,45	
Altura	pies	25,7	
Diámetro	pies	13	
Espesor de pared	pulg	0,1875	
Peso	lb	11700	
Costo por unidad	\$	27657	

5.3.3. Instalación de Mangas Telescópicas para el Despacho del Producto Terminado.

En la industria minera existen actualmente varios sistemas de transportes para materiales a granel, sin embargo ante la necesidad de establecer un sistema de transporte económico, eficiente y amigable con el medio ambiente, es necesario estudiar otras alternativas. El sistema de transporte mediante bandas transportadoras es una alternativa moderna para el transporte de materiales a granel que cumple con las exigencias actuales de eficiencia en operación. Las ventajas de emplear las bandas transportadoras para cargar los camiones de transporte del material procesado son las siguientes:

- Flujo continuo de material.
- Capacidad para manejar un alto flujo másico.
- Posibilidad de manejar trayectorias inclinadas.
- Adaptabilidad a la automatización.
- Bajo impacto ambiental.

Por ello para reducir el impacto ambiental al máximo, es necesaria la incorporación de mangas telescópicas según las características sugeridas en la tabla 5.10, las que evitarían el levantamiento del material fino como producto del choque entre las partículas durante la carga de los camiones de transporte, como se indica en la siguiente figura.

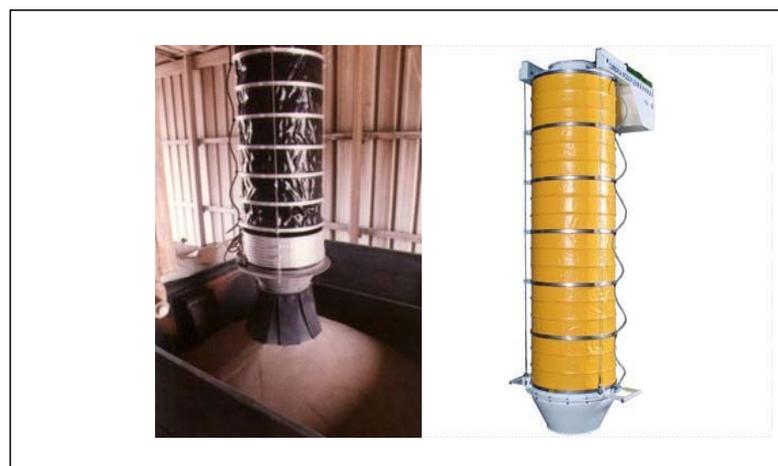
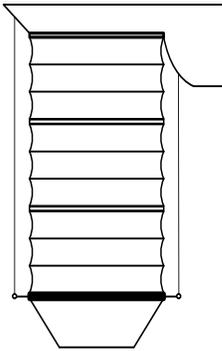


Figura 5.6. Mangas Telescópicas para la carga de material a granel.

Fuente: Emison, 2001.

TABLA 5.10.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LAS MANGAS TELESCÓPICAS

Nombre e identificación		Símbolo	
MANGAS TELESCÓPICAS			
Especificaciones de operación			
Función	Permite realizar la carga de material a granel, evitando la pérdida de material.		
Condiciones de operación			
Parámetro	Unidad	Tipo 1	Tipo 2
Capacidad	TM/h	15	19
Granulometría a manejar	Malla Tyler	140/200	80
Temperatura	Ambiente		
Altura de caída	m	4	
Especificaciones de diseño			
Parámetro	Unidad	Valor	
Diámetro del collar	pulg	7,88	7,88
Longitud máx.	pies	11	14
Longitud de la manga retraída	pies	2,5	2,9
Peso neto	lbs	905	1022
Costo por unidad	\$	9544	10640

CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS PLANTEADAS Y ESTABLECIMIENTO DEL PLAN DE MEJORA

A continuación se presenta el desarrollo del análisis económico de las alternativas planteadas, en el cual se determinan indicadores económicos como el valor presente neto y la relación beneficio costo, los cuales permiten comprobar la rentabilidad económica de los proyectos planteados. Además se indica el plan de mejora propuesto a la problemática evaluada en la empresa Feldespatos Procesados.

6.1. COMPONENTES DEL ESTUDIO ECONÓMICO

La evaluación económica de un proyecto se lleva a cabo a través de procedimientos que permiten medir aspectos como el capital requerido, la relación beneficio costo, entre otros.

Los componentes del flujo de caja, ingresos y egresos, se encuentran conformados por una serie de factores, los cuales serán mencionados a continuación. Se debe destacar que se consideró una inflación monetaria anual de 17%, y se estableció que los costos e ingresos percibidos se encuentren expresados tomando como unidad monetaria el dólar (\$), estimada de acuerdo al cambio oficial actual (2,150 Bs/\$).

6.2. FLUJO DE CAJA

6.2.1. Ingresos Brutos

El establecimiento de precios de los productos finales de la empresa Feldespatos Procesados se obtiene directamente del Departamento de Ventas, el cual reporta precios indicados en la tabla siguiente, estimando el valor del impuesto al valor agregado (I.V.A.) en 9%:

TABLA 6.1.
PRECIO DE LOS PRODUCTOS VENDIDOS POR LA EMPRESA
FELDESPATOS PROCESADOS

Producto	Precio (Bs./TM)	Precio (Bs./TM) + I.V.A.	Precio (\$/TM)
Arrocillo/Polvillo	46,500	50,685	23,59
Malla 20	150,000	163,500	76,08
Malla 80	136,500	148,785	69,23
Finos (malla 140 y 200)	126,500	137,885	64,16

Fuente: Feldespatos Procesados C.A.

A partir de dicha información, y con el uso de la nueva tasa de producción (planteada de igual magnitud para ambas alternativas) esperada para cada producto (ver tabla 6.2), se determinan los ingresos brutos para el horizonte económico de 15 años (ver tabla 6.3) el cual es un componente clave del flujo de caja.

TABLA 6.2.
PRODUCCIÓN DIARIA Y ANUAL DE LOS SUB-PRODUCTOS

Producto	Producción anual (TM/año)	Producción diaria (TM/día)
Arrocillo/Polvillo	72.146,53	300,61
Malla 20	19.429,37	80,96
Malla 80	78.079,12	325,33
Finos (malla 140 y 200)	44.118,81	183,83
Total	221.580,24	923,25

TABLA 6.3.

INGRESOS A PERCIBIR DURANTE LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Precio Arrocillo Polvillo (\$/año)	Precio malla 20 (\$/año)	Precio malla 80 (\$/año)	Precio malla 140 y 200 (\$/año)	Ingreso Polvillo Arrocillo (M\$/año)	Ingreso malla 20 (M\$/año)	Ingreso malla 80 (M\$/año)	Ingreso malla 140, 200 y 400 (M\$/año)	Ingresos brutos (M\$/año)
2007	23,59	76,08	69,23	64,16	1.701,60	1.478,22	5.405,77	2.830,77	11.416,37
2008	27,59	89,02	81,00	75,07	1.990,88	1.729,52	6.324,75	3.312,00	13.357,15
2009	32,29	104,15	94,78	87,83	2.329,33	2.023,54	7.399,96	3.875,04	15.627,86
2010	37,77	121,85	110,89	102,76	2.725,31	2.367,54	8.657,95	4.533,80	18.284,60
2011	44,20	142,57	129,74	120,23	3.188,61	2.770,02	10.129,80	5.304,54	21.392,98
2012	51,71	166,81	151,79	140,67	3.730,68	3.240,93	11.851,87	6.206,31	25.029,79
2013	60,50	195,16	177,60	164,59	4.364,89	3.791,89	13.866,69	7.261,39	29.284,86
2014	70,79	228,34	207,79	192,57	5.106,93	4.436,51	16.224,03	8.495,82	34.263,28
2015	82,82	267,16	243,11	225,30	5.975,10	5.190,71	18.982,11	9.940,11	40.088,04
2016	96,90	312,57	284,44	263,60	6.990,87	6.073,13	22.209,07	11.629,93	46.903,01
2017	113,37	365,71	332,80	308,42	8.179,32	7.105,57	25.984,61	13.607,02	54.876,52
2018	132,64	427,88	389,37	360,85	9.569,80	8.313,51	30.402,00	15.920,21	64.205,52
2019	155,19	500,62	455,57	422,19	11.196,67	9.726,81	35.570,34	18.626,65	75.120,46
2020	181,58	585,73	533,01	493,97	13.100,10	11.380,37	41.617,29	21.793,18	87.890,94
2021	212,44	685,30	623,63	577,94	15.327,12	13.315,03	48.692,23	25.498,02	102.832,40

6.2.2. Inversión

Los resultados se presentan en forma segmentada, especificando los componentes y clasificaciones asociadas a los elementos que constituyen la inversión de cada alternativa evaluada, a saber: capital fijo y capital de trabajo. Los cálculos de los mismos pueden ser visualizados de forma detallada en el apartado B.3.2.

- **Capital Fijo**

Como se puede observar en las tablas 6.4 y 6.5, para la determinación del capital fijo de ambas alternativas se evalúa en primera instancia el costo de los activos tangibles e intangibles. Para ello fueron necesarias las especificaciones de los equipos principales constitutivos de cada alternativa (ver tablas 5.4 a la 5.10).

TABLA 6.4.

CAPITAL FIJO NECESARIO PARA LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO, PARA LA ALTERNATIVA DE MOLIENDA HÚMEDA, EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Descripción	Costo por unidad (Miles \$ /Unidad)	Costo total (Miles \$)
ACTIVOS FIJOS TANGIBLES		
Equipos		
Molino de bolas (1) (2002)	2.775,84	2.775,84
Hidrociclón (3) (2002)	8,59	25,76
Tanque (1) (2002)	53,80	53,80
Manga telescópica tipo 1 (1) (2007)	10,64	10,64
Manga telescópica tipo 2 (1) (2007)	9,54	9,54
Tanque sedimentador (1) (2002)	27,66	27,66
Total costos de equipos	-	2.903,24
Acondicionamiento de terreno	-	290,32
Costo de edificaciones	-	725,81
Instrumentación y control	-	377,42
Costo de tuberías	-	900,00
Costo de equipos eléctricos	-	290,32
Total activos tangibles		7.083,90
ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES		
Ingeniería, supervisión y entrenamiento	-	203,23

TABLA 6.4.
CAPITAL FIJO NECESARIO PARA LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO, PARA LA
ALTERNATIVA DE MOLIENDA HÚMEDA, EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS
(Continuación)

Descripción	Costo por unidad (Miles \$ /Unidad)	Costo total (Miles \$)
Costo de estudios y proyectos	-	1.016,13
Arranque, pruebas y contingencias	-	841,94
Ganancia de contratistas	-	116,13
Total activos intangibles		2.177,43
TOTAL CAPITAL FIJO		9.261,33

TABLA 6.5.
CAPITAL FIJO NECESARIO PARA LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO, PARA LA
ALTERNATIVA DE MOLIENDA EN BASE SECA, EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Descripción	Costo por unidad (Miles \$ /Unidad)	Costo total (Miles \$)
ACTIVOS FIJOS TANGIBLES		
Equipos		
Molino de barras (1) (2007)	1.130,00	1.130,00
Manga telescópica tipo 1 (1) (2007)	10,64	10,64
Manga telescópica tipo 2 (1) (2007)	9,54	9,54
Secador rotatorio (1) (2002)	478,00	478,00
Total costos de equipos	-	1.628,19
Acondicionamiento de terreno	-	162,82
Costo de edificaciones	-	407,05
Instrumentación y control	-	211,66
Costo de tuberías	-	504,74
Costo de equipos eléctricos	-	162,82
Total activos tangibles		3.972,78
ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES		
Ingeniería, supervisión y entrenamiento	-	113,97
Costo de estudios y proyectos	-	569,87
Arranque, pruebas y contingencias	-	472,17
Ganancia de contratistas	-	65,13
Total activos intangibles		1.221,14
TOTAL CAPITAL FIJO		5.193,92

- **Capital de trabajo**

TABLA 6.6.
CAPITAL DE TRABAJO NECESARIO PARA LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO,
PARA LA ALTERNATIVA DE MOLIENDA HÚMEDA, EN UN
PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Descripción	Costo total (Miles \$)
Inventario de materia prima	7,64
Inventario de producto	713,52
Inventario de repuestos	290,32
Costo por salario	23,96
Efectivo en caja	2.854,09
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO (Miles \$)	3.889,53

TABLA 6.7.
CAPITAL DE TRABAJO NECESARIO PARA LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO,
PARA LA ALTERNATIVA DE MOLIENDA EN BASE SECA, EN UN
PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Descripción	Costo total (Miles \$)
Inventario de materia prima	5,13
Inventario de producto	713,52
Inventario de repuestos	162,82
Costo por salario	23,96
Efectivo en caja	2.854,09
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO (Miles \$)	3.759,52

Una vez obtenido el capital fijo y el capital de trabajo, se muestra a continuación el valor obtenido de la inversión inicial para cada alternativa:

Como se puede observar en la tabla 6.8, la inversión inicial requerida para la implementación de la alternativa en base seca (M\$ 8.953,44) es menor que la de la alternativa en base húmeda (M\$ 13.150,87), sin embargo deben ser considerados los costos de producción una vez iniciada la actividad productiva con la alternativa implementada, por ello en el apartado 6.2.3 se determina y se analizan los costos de producción para cada alternativa.

TABLA 6.8.
INVERSIÓN INICIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MOLIENDA HÚMEDA Y
SECA EN LA PRODUCCIÓN DE FELDESPATO, DURANTE
EL PERÍODO 2007-2021

Descripción	Base húmeda	Base seca
Capital Fijo (M\$)	9.261,33	5.193,92
Capital de trabajo (M\$)	3.889,53	3.759,52
INVERSIÓN (M\$)	13.150,87	8.953,44

6.2.3. Costos de Producción

Los desembolsos monetarios requeridos para ambas alternativas durante el transcurso del período 2007-2021, se muestran en las tablas 6.9 y 6.10; agrupados en costos de manufactura y gastos generales. En el apéndice B se muestran tablas con resultados de cálculos intermedios como depreciación y amortización de activos, costos directos, indirectos, de manufactura y gastos generales, los cuales son componentes claves de los costos de producción.

Como se puede observar en las tablas 6.9 y 6.10, los costos de producción para la alternativa de molienda en base seca, son siempre inferiores a lo largo de todo el horizonte económico respecto a los costos asociados a la alternativa de molienda en base húmeda, esa diferencia indica que una vez iniciada la actividad productiva, el desembolso monetario para la alternativa de molienda en base seca será siempre menor que el de la molienda en base húmeda, aún manteniendo la misma capacidad de producción.

TABLA 6.9.
 COSTOS DE PRODUCCIÓN GENERADOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE
 FELDESPATO, USANDO MOLIENDA EN BASE HÚMEDA, EN
 UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Costos de manufactura (Miles \$)	Gastos generales (Miles \$)	Total de gastos de producción (Miles \$)
2007	2.743,18	392,90	3.136,08
2008	3.292,59	468,00	3.760,58
2009	3.514,15	513,74	4.027,89
2010	3.773,38	567,26	4.340,63
2011	4.076,67	629,87	4.706,54
2012	4.431,53	703,13	5.134,66
2013	4.846,71	788,85	5.635,56
2014	5.332,47	889,13	6.221,60
2015	5.900,81	1.006,47	6.907,28
2016	6.565,77	1.143,75	7.709,52
2017	5.714,53	1.141,44	6.855,97
2018	6.624,79	1.329,37	7.954,16
2019	7.689,80	1.549,24	9.239,04
2020	8.935,86	1.806,49	10.742,35
2021	10.393,75	2.107,47	12.501,22

TABLA 6.10.
 COSTOS DE PRODUCCIÓN GENERADOS DURANTE LA PRODUCCIÓN DE
 FELDESPATO, USANDO MOLIENDA EN BASE SECA, EN UN
 PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Costos de manufactura (Miles \$)	Gastos generales (Miles \$)	Total de gastos de producción (Miles \$)
2007	1.896,65	308,24	2.204,89
2008	2.231,32	361,87	2.593,19
2009	2.387,93	401,12	2.789,05
2010	2.571,18	447,04	3.018,21
2011	2.785,57	500,76	3.286,33
2012	3.036,41	563,62	3.600,03
2013	3.329,89	637,16	3.967,06
2014	3.673,27	723,21	4.396,48
2015	4.075,01	823,89	4.898,90
2016	4.545,06	941,68	5.486,74
2017	3.985,78	968,57	4.954,35
2018	4.629,23	1.129,81	5.759,04
2019	5.382,06	1.318,46	6.700,52
2020	6.262,87	1.539,19	7.802,06
2021	7.293,42	1.797,44	9.090,86

6.2.4. Impuesto Sobre la Renta (I.S.L.R.)

La determinación del impuesto sobre la renta, tomando en cuenta las tarifas establecidas por las leyes venezolanas, refleja los valores mostrados en las tablas 6.11 y 6.12 relacionando la unidad tributaria en Bs. 37,632. Una vez determinada la inversión inicial, costos de producción e impuesto sobre la renta, se procede a la generación del flujo de caja. Dicho flujo representa el balance económico obtenido durante el período u horizonte económico durante los años 2007-2021 (Tablas 6.13 y 6.14).

TABLA 6.11.

IMPUESTO SOBRE LA RENTA GENERADO POR CONCEPTO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO, USANDO
MOLIENDA EN BASE HÚMEDA, EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Ingresos brutos (Miles \$)	Costos de producción (Miles \$)	Enriquecimiento (Miles \$)	Enriquecimiento (Miles U.T.)	I.S.R.L (Miles \$)
2007	11.416,37	3.136,08	4.335,03	247,55	1.465,15
2008	13.357,15	3.760,58	9.596,56	548,02	3.254,08
2009	15.627,86	4.027,89	11.599,98	662,42	3.935,24
2010	18.284,60	4.340,63	13.943,97	796,28	4.732,19
2011	21.392,98	4.706,54	16.686,44	952,89	5.664,63
2012	25.029,79	5.134,66	19.895,13	1.136,12	6.755,59
2013	29.284,86	5.635,56	23.649,30	1.350,51	8.032,01
2014	34.263,28	6.221,60	28.041,68	1.601,34	9.525,41
2015	40.088,04	6.907,28	33.180,76	1.894,81	11.272,70
2016	46.903,01	7.709,52	39.193,48	2.238,17	13.317,03
2017	54.876,52	6.855,97	48.020,54	2.742,24	16.318,23
2018	64.205,52	7.954,16	56.251,36	3.212,27	19.116,71
2019	75.120,46	9.239,04	65.881,42	3.762,20	22.390,93
2020	87.890,94	10.742,35	77.148,59	4.405,62	26.221,77
2021	102.832,40	12.501,22	90.331,18	5.158,42	30.703,85

TABLA 6.12.

IMPUESTO SOBRE LA RENTA GENERADO POR CONCEPTO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO, USANDO
MOLIENDA EN BASE SECA, EN UN PERÍODO DE QUINCE AÑOS

Año	Ingresos brutos (Miles \$)	Costos de producción (Miles \$)	Enriquecimiento (Miles \$)	Enriquecimiento (Miles U.T.)	I.S.R.L (Miles \$)
2007	11.416,37	2.204,89	6.525,44	372,64	2.209,90
2008	13.357,15	2.593,19	10.763,96	614,68	3.650,99
2009	15.627,86	2.789,05	12.838,81	733,17	4.356,44
2010	18.284,60	3.018,21	15.266,39	871,80	5.181,82
2011	21.392,98	3.286,33	18.106,65	1.033,99	6.147,51
2012	25.029,79	3.600,03	21.429,76	1.223,76	7.277,36
2013	29.284,86	3.967,06	25.317,80	1.445,79	8.599,30
2014	34.263,28	4.396,48	29.866,80	1.705,56	10.145,96
2015	40.088,04	4.898,90	35.189,14	2.009,50	11.955,55
2016	46.903,01	5.486,74	41.416,27	2.365,10	14.072,78
2017	54.876,52	4.954,35	49.922,17	2.850,84	16.964,78
2018	64.205,52	5.759,04	58.446,49	3.337,62	19.863,05
2019	75.120,46	6.700,52	68.419,94	3.907,17	23.254,02
2020	87.890,94	7.802,06	80.088,88	4.573,53	27.221,46
2021	102.832,40	9.090,86	93.741,55	5.353,17	31.863,37

Las tablas 6.13 y 6.14 muestran el balance económico resultante de la ejecución de los proyectos de aumento de capacidad en la planta. El flujo monetario neto considerando el capital total invertido, considera el pago del préstamo de un 70% de la inversión total con intereses fijos del 12% y cuotas de amortización constantes hasta el año 2016 (10 años). El balance económico muestra una variación de flujos positivos a partir del primer año, comprendidos entre 2,869 y 59,627 millones de dólares para la alternativa de molienda en base húmeda, y de 4,315 a 61,878 millones de dólares para la alternativa de molienda en base seca. Lo que indica que ambos proyectos presentan ganancias monetarias durante todo el horizonte económico, sin embargo la alternativa de molienda en base seca muestra valores superiores.

TABLA 6.13.

FLUJO DE CAJA PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD USANDO MOLIENDA EN VÍA HÚMEDA, EN UN HORIZONTE ECONÓMICO DE QUINCE AÑOS

Año	Ingresos brutos (Miles \$)	Egresos totales (miles \$)	Flujo de caja (Miles \$)
2007	11.416,37	8.546,49	2.869,88
2008	13.357,15	7.014,66	6.342,49
2009	15.627,86	7.963,12	7.664,74
2010	18.284,60	9.072,83	9.211,78
2011	21.392,98	10.371,18	11.021,81
2012	25.029,79	11.890,25	13.139,54
2013	29.284,86	13.667,56	15.617,29
2014	34.263,28	15.747,02	18.516,26
2015	40.088,04	18.179,98	21.908,06
2016	46.903,01	21.026,55	25.876,46
2017	54.876,52	23.174,20	31.702,32
2018	64.205,52	27.070,87	37.134,66
2019	75.120,46	31.629,97	43.490,50
2020	87.890,94	36.964,11	50.926,83
2021	102.832,40	43.205,07	59.627,34

TABLA 6.14.
 FLUJO DE CAJA PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD USANDO MOLIENDA EN
 BASE SECA, EN UN HORIZONTE ECONÓMICO DE QUINCE AÑOS

Año	Ingresos brutos (Miles \$)	Egresos totales (miles \$)	Flujo de caja (Miles \$)
2007	11.416,37	7.100,82	4.315,55
2008	13.357,15	6.244,18	7.112,97
2009	15.627,86	7.145,49	8.482,37
2010	18.284,60	8.200,03	10.084,57
2011	21.392,98	9.433,84	11.959,15
2012	25.029,79	10.877,39	14.152,40
2013	29.284,86	12.566,35	16.718,50
2014	34.263,28	14.542,43	19.720,85
2015	40.088,04	16.854,45	23.233,59
2016	46.903,01	19.559,51	27.343,49
2017	54.876,52	21.919,13	32.957,39
2018	64.205,52	25.622,09	38.583,44
2019	75.120,46	29.954,54	45.165,92
2020	87.890,94	35.023,52	52.867,42
2021	102.832,40	40.954,23	61.878,18

6.3. INDICADORES ECONÓMICOS

Una vez obtenido el flujo de caja, se procede a la determinación de la relación beneficio-costo, la cual se calcula dividiendo el valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos; obteniendo de esta manera valores superiores a uno para ambas alternativas en cada año del horizonte económico (ver tabla 6.15). Usando este criterio se puede llamar a los proyectos planteados como aceptables, cuya implementación es rentable económicamente. En la figura 6.1 se puede visualizar notablemente la diferencia del grado de rentabilidad, evaluada como la tasa de beneficio-costo, para ambas alternativas planteadas.

TABLA 6.15.
TASA BENEFICIO-COSTO PARA LAS ALTERNATIVAS DE AUMENTO DE
CAPACIDAD PLANTEADAS, PARA CADA AÑO DEL HORIZONTE
ECONÓMICO DE 15 AÑOS

Año	Relación beneficio-costos (adim,)	
	Molienda vía húmeda	Molienda base seca
2007	1,336	1,608
2008	1,904	2,139
2009	1,963	2,187
2010	2,015	2,230
2011	2,063	2,268
2012	2,105	2,301
2013	2,143	2,330
2014	2,176	2,356
2015	2,205	2,378
2016	2,231	2,398
2017	2,368	2,504
2018	2,372	2,506
2019	2,375	2,508
2020	2,378	2,509
2021	2,380	2,511
Global (15 años)	2,244	2,408

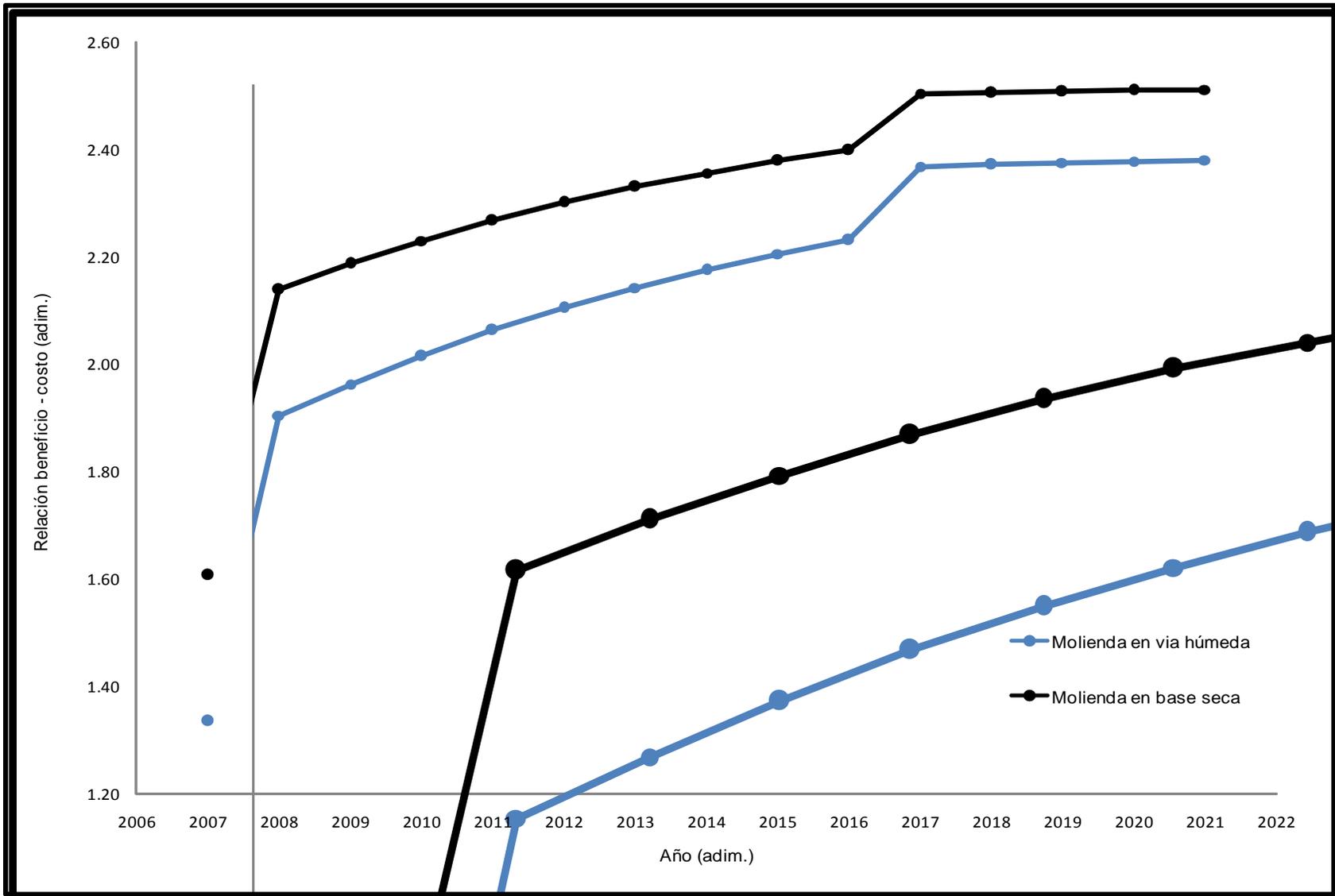


Figura 6.1. Tasa beneficio – costo para las alternativas de aumento de capacidad planteadas, para cada año del horizonte económico (15 años)

Cabe destacar que en la determinación del valor presente neto para ambas alternativas se obtuvieron valores positivos (ver tabla 6.16), siendo el valor asociado a la alternativa de molienda en base seca mayor, que aunado al hecho de que la relación beneficio-costos es mayor a uno y superior a la alternativa de molienda en base húmeda, se puede afirmar que el establecimiento de un programa de mejora que considere una molienda en base seca resulta ser más aplicable en el ámbito económico para la empresa Feldespatos Procesados.

TABLA 6.16.
VALOR PRESENTE NETO PARA LAS ALTERNATIVAS DE AUMENTO DE
CAPACIDAD PLANTEADAS

	Valor Presente Neto (miles \$)
Base húmeda	355.049,93
Base seca	374.575,78

6.4. ESTABLECIMIENTO DEL PROGRAMA DE MEJORAS

En base a los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se dispone a establecer el programa de mejoras que solviente la problemática evaluada en la empresa Feldespatos Procesados.

6.4.1. Selección de la Alternativa de Mejora para el Aumento de la Eficiencia Másica en el Proceso de Producción.

Para la realización de la matriz de selección (ver tabla 7.1) se consideran los criterios más significativos y a cada uno se le asigna un porcentaje asociado al grado de importancia. La relación beneficio-costos es un aspecto económico de gran importancia debido a que refleja la relación entre los ingresos y egresos del proyecto. Para ambas alternativas, esta relación es superior a 1, lo que refleja que las alternativas planteadas son aceptables; sin embargo, la relación de la molienda en base seca es superior al de la molienda en vía húmeda (ver tabla 6.15).

TABLA 6.17.
MATRIZ DE SELECCIÓN MÚLTIPLE PARA HALLAR LA MEJOR ALTERNATIVA
DE AUMENTO DE LA EFICIENCIA MÁSCA

Criterio	Porcentaje (%)	Molienda vía húmeda	Molienda base seca
Relación beneficio-costo	30	4	5
Valor presente neto	25	4	5
Servicios industriales	10	3	4
Ambiente	20	5	3
Seguridad industrial	15	4	3
Total	100	4,1	4,2

El valor presente neto es otro aspecto económico de gran importancia, el cual refleja la sumatoria de los flujos de caja del horizonte económico e indica las ganancias o pérdidas totales del proyecto. El V.P.N. para ambas alternativas es positivo, lo que indica que generan beneficios; sin embargo, como se puede observar en la tabla 6.16, el V.P.N. de la molienda en base seca es superior.

El consumo de los servicios industriales también se tomó en cuenta, el consumo de agua es ampliamente significativo en la molienda vía húmeda, mientras que en la molienda en base seca el consumo de estos servicios son menores.

La molienda en base seca influye directamente en el entorno ambiental de trabajo, debido a la liberación de finas partículas de feldespatos al aire, generando un impacto ambiental y contaminando el producto de las empresas vecinas significativamente. Por su parte, en la molienda en vía húmeda estos efectos se reducen debido al uso de agua como medio fluidizante. Este criterio está relacionado con la seguridad industrial en el área de trabajo, ya que las partículas de polvo son nocivas para la salud al ser expuestas directamente sobre el personal (ver toxicología en anexos). Tomando en cuenta estos criterios establecidos y la ponderación asociada a cada uno de ellos, la matriz de selección reporta que la molienda en base seca es la

que mejor se ajusta al proceso instalado en la empresa Feldespatos Procesados C.A. (ver tabla 6.17) aunque por un margen muy pequeño; sin embargo las tendencias actuales indican que para el manejo de material a granel, es recomendable el uso de sistemas de molienda en vía húmeda. Como el sistema instalado en la empresa es en base seca, conviene ampliamente sustituir dos equipos que modificar etapas por completo, de manera que la inversión inicial resulte significativamente menor en conjunto al tiempo estimado para su instalación. Por ello, el plan de mejora que considera la molienda en base seca (ver especificaciones en las tablas 5.4 y 5.5) es la más favorable para el proceso estudiado.

6.4.2. Establecimiento de un Plan de Mejora que Permita Minimizar las Pérdidas de Material Durante el Despacho del Producto Terminado.

Como se indicó en el punto 5.2.2 del capítulo V, las pérdidas y contaminación ambiental durante el despacho del producto terminado, requiere de la incorporación de dos mangas telescópicas con las características especificadas en la tabla 5.10, lo que reduciría estos fenómenos. Este plan de mejora debe ir acompañado con una completa instrucción al personal con respecto a este nuevo equipo, de manera que puedan conocer las maneras correctas de manipularlo, así como también las variables más importantes para su control y partes críticas por motivos de mantenimiento.

6.4.3. Programa de Formación del Personal.

Este programa consiste en un curso o talleres dirigidos al personal obrero, de mantenimiento, supervisores y técnicos de la planta de feldespatos, con la finalidad de mantener al personal obrero lo suficientemente motivado para que desempeñe sus labores correctamente.

En primer lugar se hizo una búsqueda de las empresas encargadas de dictar este tipo de cursos, encontrando una ubicada en la ciudad de Valencia, la cual se encarga de realizar asesorías y proyectos industriales.

La información proporcionada por dicha empresa consiste en un curso denominado “Motivación y Pro-actividad” con una duración de 8 horas, el cual es

dirigido a todo el personal de la empresa, empleados, administradores, supervisores, ejecutivos y personal con potencial y aspiraciones para llegar a ocupar posiciones claves, logrando para sí mismo y sus respectivos grupos de trabajo confianza, motivación y satisfacción personal que conduzcan a un mejor desempeño dentro de sus actividades.

Su objetivo es propiciar en el participante una actividad de apertura hacia el logro de la excelencia en el desempeño de su rol a través de un proceso de cambio y crecimiento al desarrollar su potencial humano, estimulando un comportamiento creativo y proactivo el cual se traduzca en aportes más efectivos a la organización y mayores satisfacciones personales.

El contenido del curso se estructura de la siguiente manera:

1. Valores humanos.
2. Trabajo en equipo.
3. Comportamiento reactivo y proactivo.
4. Necesidades básicas y de crecimiento.
5. Motivaciones.
6. Necesidades individuales contra organizacionales.
7. Impulsores e inhibidores de la integración.
8. Aspectos reformadores de la inhibición.

La metodología empleada consiste en una exposición teórico-práctica del facilitador, intervención activa de los participantes en el desarrollo del programa y aplicación de dinámica de grupos.

Los recursos audiovisuales que se emplean son pizarras, video-beam, videos, un computador y el material de apoyo que facilita el curso como un manual para cada participante, certificado de participación e identificadores.

**Sales, Research and
Development**

Telephone No. (231) 547-5600
Ext. 3140
Fax No. (231) 547-3343
E-Mail: jleft@dclinc.com



Dust Control and Loading Systems, Inc.

08660 Ance Rd. – P.O. Box 125 – Charlevoix, Michigan
49720
1-800-748-0563
E-Mail: info@dclinc.com

**Engineering and
Manufacturing Facility**

Telephone No. (231) 547-3344
Fax No. (231) 547-5832
Web Site: <http://www.dclinc.com>

November 20, 2007

Rolando Cousino
Feldespatos Procesados C.A.
Edo. Cojedes, Venezuela

SUBJECT: DCL Proposal No.0711505

PROJECT: Feldspar Loading

Dear Mr. Cousino,

Enclosed please find our equipment proposal and specifications in reference to your inquiry for Loading Spouts. This equipment has been selected based on handling Feldspar with a bulk density of 72PCF loading at a rate of 19MTPH.

The equipment is generally described on the enclosed reference sales drawing and specification sheets.

Our current delivery schedule is (2-3) weeks for approval drawings with the equipment shipping (8-10) weeks after return of approval drawings.

Please feel free to contact me if you have any questions or further requirements regarding this proposal.

Sincerely,

Joe Left
DCL Inc., Technical Sales
jleft@dclinc.com

Cc. Silvio Ramirez

Item 1 - DCL UNIVERSAL BULK LOADING SPOUT MODEL UN800EV-11
Qty. (1) 200 BHN AR CONES
NET WEIGHT: 905 lbs.

RETRACTED HEIGHT: 29.75 in.

VERTICAL TRAVEL: 11 ft.

INLET: 14 in. constructed from 215/235 BHN AR Steel

DUST OUTLET CONNECTION: 7.88 in. diameter collar

RECOMMENDED AIR WITHDRAWAL: 1400-1800 CFM

DRIVE: Heavy duty, worm gear 60:1

MOTOR: 1.5 HP, 1800 RPM, TEFC, 230/460V, 3PH, 60Hz w/brake

UPPER & LOWER DRIVE LIMITS: NEMA 4 full up and combination full down / slack cable lever limit switches

AUTOMATIC LEVEL SENSE: pneumatic probe with controller mounted in NEMA 4 enclosure

PRE-WIRING: Electrical components (except motor) are pre-wired to a numbered terminal strip inside a NEMA 4 junction box.

INNER CONES: 200 BHN AR steel

OUTER SLEEVE: Hypalon/Nylon with Aluminum inner and outer Support Rings

DISCHARGE: Carbon steel construction, tapered design.

PAINT: Power tool cleaned/solvent wipe down, rust inhibitive primer and industrial enamel finish

PACKAGING: Shipped completely assembled on skid

CONTROLS AND MOTOR STARTERS NOT INCLUDED IN THIS PROPOSAL UNLESS SPECIFICALLY STATED OTHERWISE.

Price for one (1) Loading Spout as described above: \$9,544

Feldespatos Procesados C. A.
PROP# 0711505
11-20-07
PAGE 3

Item 2 - DCL UNIVERSAL BULK LOADING SPOUT MODEL UN800EV-14

Qty. (1) 200 BHN AR CONES

NET WEIGHT: 1022 lbs.

RETRACTED HEIGHT: 33.88 in.

VERTICAL TRAVEL: 14 ft.

INLET: 14 in. constructed from 215/235 BHN AR Steel

DUST OUTLET CONNECTION: 7.88 in. diameter collar

RECOMMENDED AIR WITHDRAWAL: 1400-1800 CFM

DRIVE: Heavy duty, worm gear 60:1

MOTOR: 1.5 HP, 1800 RPM, TEFC, 230/460V, 3PH, 60Hz w/brake

UPPER & LOWER DRIVE LIMITS: NEMA 4 full up and combination full down / slack cable lever limit switches

AUTOMATIC LEVEL SENSE: pneumatic probe with controller mounted in NEMA 4 enclosure

PRE-WIRING: Electrical components (except motor) are pre-wired to a numbered terminal strip inside a NEMA 4 junction box.

INNER CONES: 200 BHN AR steel

OUTER SLEEVE: Hypalon/Nylon with Aluminum inner and outer Support Rings

DISCHARGE: Carbon steel construction, tapered design.

PAINT: Power tool cleaned/solvent wipe down, rust inhibitive primer and industrial enamel finish

PACKAGING: Shipped completely assembled on skid

CONTROLS AND MOTOR STARTERS NOT INCLUDED IN THIS PROPOSAL UNLESS SPECIFICALLY STATED OTHERWISE.

Price for one (1) Loading Spout as described above: \$10,640

Feldespatos Procesados C. A.
PROP# 0711505
11-20-07
PAGE 3

LOADING SPOUT OPTIONS

HAND HELD PENDANT CONTROLLER: Five (5) function NEMA 4 pendant to control spout movement (up / down selector switch), product flow (on / off selector switch), customer interlock / maintenance (auto /manual selector switch). Standard pendant enclosures are made of high visible yellow molded polycarbonate and are UL & CSA rated for NEMA 4/4X. All pendants are pre-wired with 25 ft. of cord to a NEMA rated J Box. Cord is provided with strain relief cord grips.

Price adder: \$1,175

SELF SEALING DISCHARGE: Carbon steel discharge taper with 200 BHN AR Steel self sealing cone and collapsible Hypalon/Nylon sleeve and aluminum support rings complete with air vibrator and solenoid mounted and plumbed. NOTE: 12" of travel is required to fully separate the sealing cone assy. after initial contact with vehicle hatch. Self sealing discharge option adds 23" to spouts retracted height. (*refer to drawing #UN800-10002*)

Price adder: \$1200



Dust Control and Loading Systems
COMMERCIAL TERMS

DOCUMENTS: Purchase price includes installation instructions, maintenance manuals and certified drawings, which are provided on a single CD unless stated otherwise. (3) Hard copies are available upon request. Additional hard copies will be available for \$30 per set. Overnight mail service will be provided on a collect basis unless otherwise agreed upon.

SHIPPING TERMS: Ex Works (Incoterms 2000): Charlevoix, Michigan. Freight is not included in this proposal.

GUARANTEE: Eighteen (18) months after delivery or one (1) year after equipment start-up, whichever occurs first.

PAYMENT TERMS: Wire Transfer or Irrevocable Letter of Credit (see "Terms and Conditions" on attached page). All payments to be made in U.S. Dollars. Prices quoted do not include present or future State, Federal and Local Taxes, Use, Excise and all other taxes pertaining to this proposal unless otherwise specifically specified

DELIVERY SCH: Allow (2-3) weeks for issuance of approval drawings. DCL will allow (2) weeks for customer review of drawings. (Delays in returning approval drawings will result in extended shipping schedules). Allow (12-14) weeks for shipment of equipment after return of approval drawings. Certified drawings will be provided (2-3) weeks after return of approval drawings. Any changes after drawings are approved or to the certified drawings will be subject to a minimum of a \$250 engineering fee.

Deliveries quoted are tentative. Actual delivery will be based on receipt of approvals and release of certified drawings for fabrication. Delivery may be improved if approval drawings are waived.
DCL's policy requires the issuance of approval drawings and cannot schedule an order for fabrication until approved drawings are returned.

EXCEPTIONS: All equipment is based on provided information. Any specifications not provided and required will be subject to a design review and price changes could occur.

Dimensional data (other than for DCL equipment) is shown for reference only. Customer assumes all responsibility for clearances between DCL equipment and surrounding structures.

Weights and sizes are approximate and will be verified at time of certified drawings.

Equipment proposals are valid for 30 days.



Dust Control and Loading Systems
CONDITIONS OF SALE

1. Terms inconsistent with those stated herein, which appear on Purchaser's formal order, will not be binding on the Seller.
2. All items or services furnished as a result of this job write-up shall be subject to the terms and conditions specified herein, including warranty, which may not be added to, modified, or altered notwithstanding any terms or conditions that may be contained in any purchase order, invoice, or form of Purchaser unless expressly accepted by written agreement executed by an authorized agent of the selling company.
3. All agreements or unfulfilled portions thereof are contingent upon strikes, lockouts, accidents, fires, war, governmental action, embargoes, inability to obtain supplies or labor and in the event that performance in whole or in part is prevented or hindered or abnormally increased in cost by any of the causes named, or any other cause whatsoever beyond our control, whether or not similar to any of the causes specifically enumerated we shall have the right to cancel without any liability on our part, contracts or portions thereof thereby affected.
4. Prices quoted are net 30 days unless otherwise stated. Prices quoted do not include federal, state, municipal, or other government excise, sales, use, occupational or other like taxes now in force or to be enacted. Should such taxes be assessed upon this transaction the seller hereby reserves the right to invoice purchaser for same.
5. Prices quoted are firm for 30 days. After 30 days be advised all prices are based on costs and conditions existing on date of quotation and are subject to change by the seller before final acceptance.
6. Proposal subject to acceptance by seller. No contract shall exist until this proposal has been accepted by the purchaser and thereafter accepted by the seller at its home office.
7. Purchaser assumes liability for patent and copyright infringements when goods are made to purchaser's specifications.
8. Acknowledgment prices are firm for completion date stated unless otherwise specified. Prices subject to escalation when completion date is extended for reasons beyond our control. Terms are cash-net 30 days. Amounts past due are subject to a service charge of 2% per month (or fraction thereof). If the seller deems that by reason of the financial condition of the buyer or otherwise the continuance of production or shipment on the terms specified herein is not justified the seller may require full or partial payment in advance.
9. Seller retains title to and shall have a security interest in the equipment until final payment is received.
10. Orders canceled by purchaser are subject to a cancellation charge. Within first 30 days from acknowledgment date charge is 15%; thereafter, charge is 50% to 100% based on percentage of work completed.
11. Shipments are Ex Works, Charlevoix, MI, unless otherwise agreed upon. Freight will be third party type billing, invoiced direct from Freight Company unless otherwise agreed upon.
12. The seller makes no charge for its' standard packing for domestic shipment. The purchaser will be charged for export packing or other special packing requirements.
13. The seller warrants all of its products to be free of defects in material and workmanship for a period of one year from date of delivery, provided that (A) The purchaser notifies the seller of the alleged defect immediately after it becomes known to the purchaser, and (B) no alterations, repairs or services have been performed by the purchaser or third parties on the equipment without the written approval of the seller. The seller's obligation under this warranty is limited to the replacement, F.O.B. Charlevoix, Michigan of any part of parts found by the seller to be defective in materials or workmanship.
14. This warranty does not cover damage or defect due to normal wear and tear, abrasion, corrosion, or erosion, misuse, alteration, neglect or accident or use of the equipment above rated capacity.
15. The seller or any of its dealers shall in no event be liable to the purchaser under this warranty or otherwise, for claims, expenditures, removal, shipment or reinstallation of said parts of losses arising from operations delays or work stoppages or damage to property caused by defective equipment, or for consequential damages of any nature whatsoever.
16. Purchaser shall be responsible for compliance with electrical manufacturer's recommendations, underwriter's code, and all safety precautions.
17. Purchaser agrees to look solely to the warranty, if any, of the manufacturer or supplier of equipment manufactured by others and supplied to the seller for any alleged defects in such equipment and for any damages or injuries caused thereby or as a result thereof.
18. This warranty is in lieu of all other expressed or implied warranties, including any implied warranty or merchantability or fitness for any particular purpose.
19. Should the purchaser require start up assistance or field service, factory service man is available at \$700.00 per day (8 hours) plus travel expenses. As outlined in DCL Field Service Rate Schedule.
20. Acceptance of this proposal, in whole or in part, either directly by reference to this agreement or indirectly by issuance of your company's Purchase Contract, or similar document or by your acceptance of the Goods covered by this agreement, either by you or by a third party at your direction, constitutes permission for Seller, DCL, Inc., a Michigan Corporation, to file a UCC financing statement in the appropriate state(s) and/or county(ies), in Seller's sole discretion. The amount to the financing statement shall, at all times, equal the amount which is owed to DCL, Inc. for the Goods covered by this Agreement, pursuant to the terms of this Agreement. **ANY TERMS WHICH ARE INCONSISTENT WITH THOSE STATED IN THIS PARAGRAPH, WHICH APPEAR ON THE PURCHASER'S PURCHASE CONTRACT OR OTHER DOCUMENT, PRODUCED BY THE BUYER, WHICH COVER THE GOODS WHICH SELLER IS SELLING PURSUANT TO THIS AGREEMENT WILL NOT BE BINDING ON THE SELLER UNLESS EXPRESSLY AGREED TO, IN WRITING, BY SELLER.**



16 October 2007

QUICK BUDGET BID REQUEST – ROD MILL

To: Mr. Alfonso Granata

cc: W.Lawruk / E.Good / R.Will / T.Wilkins / S.Jones / D.Shaffer

Email: a.granata@codetel.net.do

Request for Budget Quote – One (1) ROD MILL.

Feldespató Procesado, CxA Project – Dominican Republic - Feldspar Grinding-45 TPH

Email Request received 04 October 2007

Metso Minerals – Budget Proposal Ref# -7224-0-GND-YRK

Gentlemen:

With reference to your request for Budget Quote, we are pleased to submit our budget prices and preliminary size selection on the following Rod Mill as described below. Test work is recommended to finalize the equipment recommendations. See attached form 2013 for approximate dimensions for this mill.

SCOPE OF SUPPLY: Goods designed, manufactured and inspected in accord with Seller's and its supplier's standards for this class of equipment in accord with Metso's commercial terms and conditions and described as follows:

Item 1.1 - Quantity One (1) Mill Size: 8.5' x 12' Rod Mill – 350 hp

Each mill generally described as follows:

Size 8.5' ID x 12' long, trunnion overflow, dry grind, open circuit, Rod Mill with 350 HP - (Squirrel Cage Induction Mill Motor) - Metso Minerals' Mill designed for dry grinding, with following equipment items:

- One (1) Fabricated, welded, and machined mill shell in 1 x 360 degree segment;
- Two (2) Cast iron or steel mill heads with integral trunnions;
- One (1) Mill feed chute assembly with replaceable abrasion resistant liners;
- One (1) Fabricated abrasion resistant feed trunnion liner;
- One (1) Fabricated abrasion resistant steel discharge trunnion liner;
- One (1) Ring gear (fab steel or cast iron-Seller's choice);
- One (1) Forged alloy, steel pinion with integral shaft;
- One (1) Spherical roller pinion bearings with RTD's and baseplate, manually grease lubricated;
- One (1) Gear and pinion guard with seals and automatic grease spray lubrication system with controls;
- One (1) Mill Drive Squirrel Cage Induction Type Mill Motor;
- One (1) Speed Reducer with LS & HS coupling and guard;

Metso Minerals Industries, Inc. 240 Arch Street, York, PA 17403; P.O. Box 15312, York, PA 17405-7312

Tel. +717 843 8671, fax +717 845 5154, www.metsominerals.com

g:propos\2007\Metso Budget Proposal #7224-0-GND-YRK \Feldespató Procesado, CxA_Project – ROD MILL

- One (1) set of Chrome Moly Steel Mill Liners complete with liner hardware, all for field installation by customer.

Not including: Plant utilities, UPS, MV or HV switchgear, bus bars, power transmission or distribution systems, power transformers, circuit breakers, alarms, switchboards, MV or LV Motor starters and controls (MCC's), Rod Charging Machine, foundations, foundation bolts, support steel or equipment supports, control rooms or contents inside control rooms, personal computers or terminals or graphics displays, buildings, lighting, receptacle power outlets, electrical rooms, control panels, HVAC, ammeters, analyzers, earth-faults and grounding, PLC panels, HMI system, DCS system, software for logics and logics programming, fiber-optics and communications systems and network systems, any field wiring, cables, cable trays and bridges, fire alarm systems, radio control and communications, site inspections and site testing, field air or oil piping, field cooling water piping, equipment assembly, equipment installation or erection, field testing, site advisory field services or training, harmonics studies, access platforms, handrails, ladders, stairs, noise enclosures or attenuation equipment, feed storage or feed conveying equipment to mill, product conveying or product storage system, trommel housing, jacking cradles and jacking system, initial lubricants or first fill, spare parts, special tools, initial rod charge grinding media, or any other items not specifically mentioned above.

Total BUDGET Price, Item 1.1 – FCA Points of Manufacture (various): **US\$ 1,130,000 dollars.**

PRICES:

The above prices stated within this proposal are:

- Today's Budget – in US\$ Dollars
- FCA Points of Manufacture (various)
- Exclusive of any sales, use, excise or other taxes, V.A.T., G.S.T, or any import duties, or surcharges.
- Subject to re-confirmation prior to order award, non-binding.
- Deliveries quoted subject to prior sale and reconfirmation prior to order award.
- Exclusive of any transportation costs, vessel, or freight costs for delivery to port(s) of Export, Ports of Import, or freight to site.
- Excludes containerization of equipment.

SHIPMENT

Estimated shipment for one (1) mill and accessories can be completed and ready for shipment at FCA Points of Manufacture (various) basis in approximately sixteen (16) to eighteen (18) months after receipt of a written purchase order containing sufficient details to enable Metso to begin immediately with procurement of long lead items and commence with necessary fabrication activities. Shipment schedules are estimates and are subject to prior sales and re-confirmation by Metso Minerals prior to order



award. Customer to add extra time to schedule to allow for freight movements, if required, to ports of export or import, etc.

TERMS AND CONDITIONS

Our offer is presented according to Metso Minerals Industries, Inc.'s General Terms and Conditions Form H-493 enclosed with this proposal. A mutually agreed upon set of Commercial Terms and Conditions can be developed with you prior to any order award.

PROGRESS PAYMENT TERMS (to be negotiated)

Subject to the approval of the Seller's credit department, the proposed Payment Terms for each mill are to be based on a set of mutually agreed upon Progress Milestones (to be negotiated),

20 percent Down Payment – with order

80 percent Progress Payments – To be negotiated and mutually agreed upon.

ALL PROGRESS PAYMENTS ARE NET INVOICE 30 DAYS

Late payments will be subject to a fee in the amount of 1-1/2 percent of the unpaid balance for each month, or portion thereof, the amount is overdue. An Irrevocable Standby Letter of Credit (L/C) is required from buyer to cover payments due to seller from a Seller approved bank and with wording of L/C in form acceptable to seller's credit department.

MANUFACTURING STANDARDS

The equipment offered will be fabricated, painted, tested, protected from the elements, and shipped all in accordance with the general standards for this class of equipment. Prior to painting, all loose mill scale, rust, etc., will be cleaned from those surfaces to be painted. Un-machined surfaces will be painted with one (1) prime coat primer, except material supplied by suppliers, which will be painted with their standard paint. Machined surfaces will be coated with a rust preventative compound. See Form T-101, which apply to Seller's equipment.

GENERAL

Following receipt of an order, our engineering department will issue one (1) set of reproducible and three (3) sets of prints of general arrangement and/or assembly drawings in English for review. Any customer changes on these drawings can affect price and/or delivery. Upon return of drawings, one (1) set of certified reproducible and one (1) set of certified prints will be issued. No shop detail drawings are provided. Prior to shipment, three (3) sets of Installation and Operation Instructions (in English) with parts list drawings will be supplied. There will be a charge for additional sets.

SERVICE

See attached Forms E-155-A and E-155-B for today's current Service Rates and fees. Services are excluded from equipment prices and are extra, subject to

reconfirmation prior to order award. Rates and fees are subject to change without prior notification.

COMPLIANCE TO CODES AND REGULATIONS

See attached Form T-100-M

We trust the above budget proposal is to your satisfaction, in the event of any further questions, please contact us at your convenience.

Yours very truly,

Michael Ronaghan

Michael Ronaghan,
Product Engineer

cc: WAL / EG / RTW / SMJ / TW / Budget File 7224-0-GND-YRK

Encl: Forms: H-493, E-155-A, E-155-B, T-100-M, T-101, H-539, T-124

Encl : Form 2013 General Dimensions Small Ball Mill

APÉNDICE E. GLOSARIO DE SÍMBOLOS

Ac: Ancho de la banda transportadora, (in).

C₁, C₂, C₃: Factores de corrección indicados en las figuras C.1, C.2 y C.3.

CC: Carga circulante, (%).

C_{ps}, C_{pl}, C_{pv}: Calores específicos de sólido, líquido y vapor, respectivamente, (kJ/kg·K).

C_{sa}: Calor húmedo del aire para la humedad de entrada, (kJ/kg·K).

D_{50C_{REQ}}: Tamaño de corte requerido, (μm).

D_{50C_{BASE}}: Tamaño de corte base (μm).

D_B: Diámetro de las bolas, (mm).

D_{MOL}: Diámetro interior molino, (pies).

D_{SEC}: diámetro del secador, (m).

E: Consumo específico de energía, (kWh/TM).

F: Caudal de alimentación, (usgpm).

F₈₀: Tamaño 80% pasante en la alimentación, (μm).

F_c: Factor de conversión, (adim).

f_v: Fracción volumétrica de los espacios intersticiales entre bolas (aprox. 40% del volumen aparente ocupado por la carga), (%).

G: Velocidad másica del aire, (kg/m²·h).

H_v: Calor latente de vaporización, (kJ/kg).

J: Nivel de llenado aparente. Porcentaje de la carga volumétrica aparente de llenado respecto al volumen interno del molino (incluyendo bolas y exceso pulpa sobre bolas cargadas, mas pulpa en espacios intersticiales entre bolas), (%).

J_B : Nivel de llenado de las bolas dentro del molino, (%).

J_E : Nivel de exceso de pulpa, (%).

J_p : Nivel de llenado de la pulpa en los espacios intersticiales, (%).

k: Constante asociada al sistema de molienda empleado.

k_o : Constante reportada en la tabla C.1.

L_{MOL} : Largo del molino, (pies).

L_p : Pérdidas de potencia, (%).

L_{SEC} : Longitud del secador, (m).

m: Cantidad de feldespatos que entra o sale de la planta, (TM).

m_{a-a} : flujo total del sistema aire-agua, (kg/h).

m_{Acum} : Material acumulado entre la sección de trituración primaria y de molienda, (TM).

M_B : Peso carga bolas, (TM).

M_p^E : Peso del exceso de pulpa, (TM).

M_p^{EI} : Peso de la pulpa en los espacios intersticiales, (TM).

$m_{Entrada} = m_{BM}$: Material que llega de la mina, (TM).

m_{fa} : Material final que sale de la trituradora primaria como polvillo y arrocillo, (TM).

m_{fb} : Material final que sale de la planta como 20, 80, 140, 200, 400 malla Tyler, (TM).

m_g : Velocidad másica del aire seco, (kg/h).

m_p : Producción de material en el mes de junio, (TM).

m_{Real} : Material total aprovechado del sistema, (TM).

m_{RP} : Material recibido por la planta procesadora, (TM).

m_{s} : Alimentación al secador, (kg/h).

m_{SP} : Material que permanece en stock de la planta procesadora, (TM).

m_{v} : Velocidad media de transferencia de materia, (kg/h).

m_{VC} : Material vendido a las empresas cerámicas, (TM).

m_{VP} : Material procesado y vendido como 20, 80, 140, 200, 400 malla Tyler, (TM).

n : número de molinos operando en el sistema, (adim.).

N_{c} : Velocidad giro molino, (rpm).

N_{crit} : Velocidad crítica de rotación del molino, (rpm).

N_{t} : Número de unidades de transferencia de calor, (adim.).

O : Overflow, (TM/h).

P : Potencia bruta, (kW).

P_{80} : Tamaño 80% pasante en el producto, (μm).

P_{B} : Potencia demandada por las bolas, (kW).

P_{E} : Potencia demandada por el exceso de pulpa, (kW).

P_{EI} : Potencia demandada por la pulpa en los espacios intersticiales, (kW).

P_{neta} : Potencia neta de un molino, (kW).

$P_{\text{neta-real}}$: Potencia neta real de un molino, (kW).

P_{o} : Tamaño del overflow (μm).

P_{p} : Porcentaje de cada producto, (%).

P_{RS} : Requerimiento de potencia neta real en el sistema, (kW).

P_S : Potencia neta en un sistema con varios molinos, (kW).

Q : Caudal estándar de alimentación, (usgpm).

Q_T : Cantidad de calor transmitido, (kJ).

r : Radio de las bolas, (m).

r_{LD} : Razón largo/diámetro del molino, (adim.).

$RM_{Proceso}$: Rendimiento másico del proceso, (%).

S : Fracción en peso de sólidos en la pulpa, (%).

S_o : Sobredimensionamiento del molino, (%).

T : Productividad del sistema, (TM/h).

T_{Ae} : Temperatura de entrada del aire, (K).

T_{As} : Temperatura de salida del aire, (K).

T_{He} : Temperatura de entrada de vaporización, (K).

T_{Hs} : Temperatura de salida de vaporización, (K).

T_{Se} : Temperatura de entrada del sólido, (K).

T_{Ss} : Temperatura de salida del sólido, (K).

U : Underflow, (TM/h).

V_B : Volumen ocupado por las bolas en el interior del molino, (m^3).

V_c : Volumen de la carga interior del molino, (m^3).

V_{MOL} : Volumen interior del molino, (m^3).

V_{SEC} : Volumen del secador, (m^3).

V_C : Volumen del camión de transporte, (m^3).

W_i : Índice de Trabajo de Bond, indicativo de la dureza del mineral, (kWh/TM).

X_a, X_b : Humedad de entrada y salida del feldespato, respectivamente, (kg_{agua}/kg_{seco}).

X_{Eaire} : Humedad de entrada del aire, (kg_{agua}/kg_{seco}).

X_{Saire} : Humedad de salida del aire, (kg_{agua}/kg_{seco}).

ρ : Densidad del feldespato, (kg/m^3).

ρ_{ap} : Densidad aparente de la carga del molino, (TM/m^3).

ρ_B : Densidad de las bolas, (TM/m^3).

ρ_m , Densidad Mineral, (TM/m^3).

ρ_p : Densidad de la pulpa, (TM/m^3).

$\overline{\Delta T}$: Diferencia media de temperatura, (K).

ϕ : Fracción de velocidad crítica utilizada, (%).

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones más destacadas obtenidas a partir del análisis de cada uno de los resultados alcanzados mediante el desarrollo del presente trabajo.

1. El molino Barmac serie B7000 instalado actualmente presenta limitaciones de capacidad, al igual que el secador rotatorio, el cual no garantiza altos grados de eficiencia a capacidades mayores.
2. El molino Barmac serie B7000 y el secador rotatorio deben ser reemplazados por equipos que manejen la capacidad propuesta en las alternativas de mejoras.
3. El material aprovechado en el mes de estudio por la planta es de (8.426 ± 1) TM, siendo (2.434 ± 1) TM procesados por las secciones de secado y molienda, respecto a un material total bajado de la mina de (18.465 ± 1) TM, lo que indica un material acumulado de (10.018 ± 1) TM, lo que representaría una ganancia anual de 7.100 M\$ si fuera procesado.
4. El rendimiento másico del proceso productivo de feldespato en el mes de estudio es de $(45,6 \pm 0,1)\%$, mientras que para las alternativas de mejora es de $(96,5 \pm 0,1)\%$.
5. Las alternativas propuestas para el aprovechamiento del material acumulado, garantizan que los indicadores de calidad del producto final se encuentren dentro de especificaciones.
6. La capacidad de producción de las propuestas de mejoras para las secciones de secado y molienda se establecen en 13.700 TM/mes operando dos turnos diarios, aprovechando el material acumulado en el mes de estudio y considerando un porcentaje de sobredimensionamiento del 10%, lo que resulta en una producción máxima total en la planta de (19713 ± 1) TM/mes.
7. Desde el punto de vista ambiental, de seguridad industrial y de producción, la adquisición de mangas telescópicas es de gran importancia, debido a que

proporcionan grandes beneficios en donde se considera la salud laboral y se reduce el impacto ambiental maximizando la producción.

8. Para la construcción y puesta en marcha de la alternativa de molienda vía húmeda, se requiere una inversión total de M\$ 13.150,87 compuesto en M\$ 9.261,33 de capital fijo y M\$ 3.889,53 de capital de trabajo; mientras que para la alternativa de molienda en base seca, se requiere una inversión total de M\$ 8.953,44 compuesto en M\$ 5.193,92 de capital fijo y M\$ 3.759,52 de capital de trabajo.
9. La relación beneficio-costo de la alternativa de molienda en vía húmeda es de 2,244 mientras que para la alternativa de molienda en base seca es de 2,408, por ello esta última alternativa plantea una relación en donde los ingresos son más atractivos.
10. Es completamente factible técnica y económicamente la implementación de ambas alternativas de aprovechamiento del material acumulado, sin embargo, la molienda en base seca resulta ser la más favorable.

RECOMENDACIONES

A continuación se presentan algunas recomendaciones resultantes del desarrollo del presente trabajo.

- Implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos involucrados en el proceso productivo, para así garantizar el buen funcionamiento del sistema y por ende mantener la cantidad y calidad de producción.
- Ejecutar los programas de mejoras propuestos, para garantizar una alta eficiencia másica a lo largo de la línea de producción.
- Solicitar una cotización detallada del secador rotatorio, con las especificaciones propuestas en la alternativa de molienda en base seca, para perfeccionar el análisis económico planteado.
- Ejecutar los talleres de motivación y capacitación personal, para que los operadores de las líneas trabajen de una manera eficiente y proactiva, valorando la importancia de las labores que desempeñan.
- Analizar la factibilidad técnico-económica de la implementación de un sistema de flotación para el beneficio del mineral.
- Realizar una ingeniería en detalle a la alternativa propuesta, desarrollando una metodología que genere resultados más exactos, con la menor desviación posible.
- Incorporar persianas dispuestas en la sección de carga de los camiones de transporte del producto terminado, de manera que el área sea más hermética.
- La calidad del desempeño de la mano de obra de la empresa se mejora con la propuesta de cursos de motivación personal, que mantenga a la clase obrera lo suficientemente motivada en el desempeño de sus labores cotidianas, así como también cursos de capacitación sobre manejo, transporte, muestreo y almacenamiento de material a granel.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1. Situación actual	6
1.2.2. Situación deseada	6
1.3. OBJETIVOS	7
1.3.1. General	7
1.3.2. Específicos	7
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL	9
2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. FELDESPATO	14
2.2.1. Definición y características	14
2.2.2. Aplicaciones del feldespato	15
2.2.3 Tipos de feldespatos	17
2.3. EQUIPOS EMPLEADOS EN EL PROCESAMIENTO DE FELDESPATO	18
2.3.1. Sistemas alimentadores	18
2.3.2. Bandas transportadoras	21
2.3.3. Elevador de cangilones	23
2.3.4. Almacenamiento de material granulado	24
2.3.5. Secadores	27
2.3.5.1. Fundamentos del secado	28
2.3.6. Sistema de molienda	32
2.3.7. Ciclones	32
2.3.8. Filtro de manga	33
2.3.9. Cribas y tamices	34

	Pág.
CAPÍTULO III. MARCO DESCRIPTIVO	36
3.1. RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA FELDESPATOS PROCESADOS	36
3.1.1. Lineamiento de la empresa	36
3.1.2. Mercados	37
3.2. PROCESO PRODUCTIVO DE FELDESPATO	37
3.2.1. Extracción del mineral	38
3.2.2. Sección de trituración y parque de almacenamiento	38
3.2.3. Sección de secado	40
3.2.4. Sección de molienda	40
3.2.5. Sección de clasificación y almacenamiento	43
3.2.6. Despacho del producto terminado	44
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
4.1. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS Y ETAPAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO.	46
4.1.1. Rendimiento másico del proceso de producción de feldespatos	46
4.2. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS, ETAPAS Y VARIABLES CRÍTICAS DE OPERACIÓN.	48
4.2.1. Evaluación de la sección de secado	50
4.2.1.1 Cálculo del consumo de calor	50
4.2.1.2 Cálculo de la transferencia de materia	53
4.2.2. Evaluación de la sección de molienda vía húmeda.	54
4.2.2.1. Dimensionamiento de un molino de bolas para molienda vía húmeda	54
4.2.2.2. Dimensionamiento del sistema de hidrociclones usados en la molienda vía húmeda	60
4.3. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE MEJORA AL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO.	62
4.4. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO-COSTO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.	62

	Pág.
4.4.1. Evaluación económica de la implementación del proyecto.	63
4.4.1.1. Flujo de caja	63
4.4.1.2. Inversión	65
4.4.1.3. Costos de producción	69
4.4.1.4. Impuesto sobre la renta (I.S.L.R.)	73
4.4.2. Indicadores económicos	74
4.4.2.1. Valor presente neto o valor actual neto (V.P.N. o V.A.N.)	74
4.4.2.2. Tasa beneficio-costo	75
4.5. SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.	75
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	76
5.1. ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS Y ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO	76
5.1.1. Condición actual de la Planta	76
5.1.2. Evaluación cuantitativa del proceso productivo de la empresa	78
5.2. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS, ETAPAS Y VARIABLES CRÍTICAS DE OPERACIÓN, QUE INTERFIEREN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.	81
5.2.1. Análisis de causas potenciales de la alta cantidad de producto acumulado	82
5.2.2. Análisis de causas potenciales que producen pérdidas de material durante el despacho del producto terminado	86
5.3. ALTERNATIVAS DE MEJORA AL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FELDESPATO	91
5.3.1. Reemplazo del secador rotatorio y del molino de la sección de molienda (molienda en base seca)	91
5.3.2. Implementación de un sistema de molienda vía húmeda	94

	Pág.
5.3.3. Instalación de mangas telescópicas para el despacho del producto terminado	100
CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS PLANTEADAS Y ESTABLECIMIENTO DEL PLAN DE MEJORA	102
6.1. COMPONENTES DE UN ESTUDIO ECONÓMICO	102
6.2. FLUJO DE CAJA	102
6.2.1. Ingresos brutos	102
6.2.2. Inversión	105
6.2.3. Costos de producción	108
6.2.4. Impuesto sobre la renta (I.S.L.R.)	110
6.3. INDICADORES ECONÓMICOS	115
6.4. ESTABLECIMIENTO DE MEJORAS	117
6.4.1. Selección de la alternativa de mejora para el aumento de la eficiencia másica en el proceso de producción.	117
6.4.2. Establecimiento de un plan de mejora que permita minimizar las pérdidas de material durante el despacho del producto terminado.	119
6.4.3. Programa de formación del personal	119
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
APÉNDICES	127
A. DATOS EXPERIMENTALES	128
B. CÁLCULOS TÍPICOS	137
C. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS	176
D. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO	186
E. GLOSARIO DE SÍMBOLOS	193
ANEXOS	198

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2.1. Tipos de apiladores.	25
TABLA 5.1. Datos del proceso de producción de Feldespatos Procesados C.A. para el mes de estudio (junio del 2007).	79
TABLA 5.2. Datos diarios del proceso de producción de Feldespatos Procesados C.A. en el mes de estudio (junio del 2007).	80
TABLA 5.3. Eficiencia másica de la empresa Feldespatos Procesados C.A. para el mes de estudio (junio del 2007).	81
TABLA 5.4. Hoja de especificaciones del molino de barras.	92
TABLA 5.5. Hoja de especificaciones del secador rotatorio.	93
TABLA 5.6. Hoja de especificaciones del molino de bolas.	96
TABLA 5.7. Hoja de especificaciones del hidrociclón.	97
TABLA 5.8. Hoja de especificaciones del tanque.	98
TABLA 5.9. Hoja de especificaciones del tanque sedimentador.	99
TABLA 5.10. Hoja de especificaciones de las mangas telescópicas.	101
TABLA 6.1. Precio de los productos vendidos por la empresa Feldespatos Procesados C.A.	103
TABLA 6.2. Producción diaria y anual de los sub-productos	103
TABLA 6.3. Ingresos a percibir durante la producción de feldespato en un período de quince años.	104
TABLA 6.4. Capital fijo necesario para la producción de feldespato, para la alternativa de molienda húmeda, en un período de quince años.	105
TABLA 6.5. Capital fijo necesario para la producción de feldespato, para la alternativa de molienda en base seca, en un período de quince años.	106
TABLA 6.6. Capital de trabajo necesario para la producción de feldespato, para la alternativa de molienda húmeda, en un período de quince años.	107
TABLA 6.7. Capital de trabajo necesario para la producción de feldespato, para la alternativa de molienda en base seca, en un período de quince años.	107

	Pág.
TABLA 6.8. Inversión inicial para la implementación de la molienda húmeda y seca en la producción de feldespatos, durante el período 2007-2021.	108
TABLA 6.9. Costos de producción generados durante la producción de feldespatos, usando molienda en base húmeda, en un período de quince años.	109
TABLA 6.10. Costos de producción generados durante la producción de feldespatos, usando molienda en base seca, en un período de quince años.	110
TABLA 6.11. Impuesto sobre la renta generado por concepto de producción de feldespatos, usando molienda en base húmeda, en un período de quince años.	111
TABLA 6.12. Impuesto sobre la renta generado por concepto de producción de feldespatos, usando molienda en base seca, en un período de quince años.	112
TABLA 6.13. Flujo de caja para el aumento de capacidad usando molienda en base húmeda, en un horizonte económico de quince años.	113
TABLA 6.14. Flujo de caja para el aumento de capacidad usando molienda en base seca, en un horizonte económico de quince años.	114
TABLA 6.15. Tasa beneficio – costo para las alternativas de aumento de capacidad planteadas, para cada año del horizonte económico de 15 años.	115
TABLA 6.16. Valor presente neto para las alternativas de aumento de capacidad planteadas.	117
TABLA 6.17. Matriz de selección múltiple para hallar la mejor alternativa de aumento de la eficiencia másica.	118
TABLA A.1. Material bajado de la mina con destino al triturador primario.	128
TABLA A.2. Material vendido a la industria de la cerámica.	129
TABLA A.3. Material enviado a la planta procesadora.	133
TABLA A.4. Datos necesarios para el estudio del funcionamiento de las bandas transportadoras operando.	134
TABLA A.5. Determinación de la humedad para una muestra de piedra picada ¾” a la entrada y salida del secador rotatorio.	135

	Pág.
TABLA A.6. Datos del proceso de producción de feldespatos procesados C.A. en el mes de junio del 2007.	136
TABLA B.1 Balance de masa realizado en la sección de molienda vía seca.	139
TABLA B.2. Balance de masa realizado en la sección de molienda vía húmeda.	144
TABLA B.3. Depreciación y amortización de activos que conforman la planta de producción utilizando la molienda en base húmeda.	162
TABLA B.4. Depreciación y amortización de activos que conforman la planta de producción utilizando la molienda en base seca.	163
TABLA B.5. Costos directos obtenidos para la el proyecto de molienda en base húmeda en un período de quince años.	164
TABLA B.6. Costos directos obtenidos para la el proyecto de molienda en base seca en un período de quince años.	165
TABLA B.7. Costos indirectos obtenidos para la el proyecto de molienda en base húmeda en un período de quince años.	166
TABLA B.8. Costos indirectos obtenidos para la el proyecto de molienda en base seca en un período de quince años.	167
TABLA B.9. Amortización del préstamo a un tiempo de financiamiento de diez años para el proyecto de molienda en base húmeda.	169
TABLA B.10. Amortización del préstamo a un tiempo de financiamiento de diez años para el proyecto de molienda en base seca.	170
TABLA B.11. Costos de manufactura generados durante la producción de feldespato, usando molienda en base húmeda, en un período de quince años.	171
TABLA B.12. Costos de manufactura generados durante la producción de feldespato, usando molienda en base seca, en un período de quince años.	172
TABLA B.13. Gastos generales originados durante la producción de feldespato, usando molienda en base húmeda, en un período de quince años.	173

	Pág.
TABLA B.14. Gastos generales originados durante la producción de feldespatos, usando molienda en base seca, en un período de quince años.	174
TABLA C.1. Estimación de la constante “ko” para diversos porcentajes pasantes en la corriente de tope del sistema de hidrociclones.	176
TABLA C.2. Relaciones geométricas de un hidrociclón estándar.	182
TABLA C.3. Rangos de capacidad de las bandas transportadoras.	183
TABLA C.4. Índice de costes para plantas de ingeniería química para años recientes.	184
TABLA C.5. Índice del coste de edificaciones para distintos tipos de procesos fluidos.	184
TABLA C.6. Índice del coste de tuberías para distintos tipos de procesos fluidos.	184
TABLA C.7. Constante “t” para procesos con diversos sistemas de control.	185
TABLA C.8. Tarifas para la determinación del impuesto sobre la renta (I.S.L.R.) para sociedades capitales y compañías.	185

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Proceso de producción de la empresa Feldespatos Procesados C.A.	4
Figura 2.1. Composición de los feldespatos más comunes.	18
Figura 2.2. Diagrama esquemático de un alimentador vibratorio.	19
Figura 2.3. Diagrama esquemático de un alimentador de tornillo.	20
Figura 2.4. Diagrama esquemático de una banda transportadora.	21
Figura 2.5. Sección transversal de una banda transportadora.	22
Figura 2.6. Diagrama esquemático de los tipos de elevadores de cangilones.	23
Figura 2.7. Tolvas de flujo de embudo y de flujo total más comunes.	27
Figura 2.8. Diagrama esquemático de varios tipos de secadores según su tipo.	28
Figura 2.9. Diagrama esquemático de un secador rotatorio.	29
Figura 2.10. Diagrama esquemático de varios tipos de secadores de lecho fluido.	31
Figura 2.11. Acción trituradora roca contra roca de un molino Barmac serie B.	32
Figura 2.12. Diagrama esquemático de la trayectoria del flujo de aire en un ciclón.	33
Figura 2.13. Tipos de mallas utilizados para el cribado.	35
Figura 3.1. Diagrama de flujo de la sección de trituración primaria de Feldespatos Procesados C.A.	39
Figura 3.2. Diagrama de flujo de la sección de secado de Feldespatos Procesados C.A.	41
Figura 3.3. Diagrama de flujo de la sección de molienda y lavado de Feldespatos Procesados C.A.	42
Figura 3.4. Diagrama de flujo de la sección de clasificación de Feldespatos Procesados C.A.	45

	Pág.
Figura 4.1. Diagrama de bloque global simplificado.	47
Figura 4.2. Esquema representativo del flujo de caja.	63
Figura 4.3. Representación esquemática de los componentes de los egresos del análisis económico.	64
Figura 5.1. Diagrama causa-efecto preliminar para el análisis de la deficiencia másica en el proceso de producción.	83
Figura 5.2. Diagrama causa-efecto simplificado para el análisis de la deficiencia másica en el proceso de producción.	85
Figura 5.3. Diagrama causa-efecto preliminar para el análisis de la pérdida de material durante el despacho del producto terminado.	88
Figura 5.4. Diagrama causa-efecto simplificado para el análisis de la pérdida de material durante el despacho del producto terminado.	90
Figura 5.5. Diagrama de flujo de la sección de molienda vía húmeda propuesta.	95
Figura 5.6. Mangas Telescópicas para la carga de material a granel.	100
Figura 6.1. Tasa beneficio – costo para las alternativas de aumento de capacidad planteadas, para cada año del horizonte económico de 15 años.	116
Figura B.1. Diagrama de bloque para la sección de molienda seca.	137
Figura B.2. Diagrama de bloque para la molienda vía húmeda.	139
Figura C.1. Factor de corrección C_1 influenciada por la densidad en la alimentación.	177
Figura C.2. Factor de corrección C_2 debido a la caída de presión entre la alimentación y descarga.	178
Figura C.3. Factor de corrección C_3 influenciada por la densidad de la roca.	179
Figura C.4. Relación gráfica entre el diámetro de corte con el diámetro de hidrociclones estándares.	180
Figura C.5. Relación gráfica entre la caída de presión y el caudal en un hidrociclón estándar.	181