



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN METALURGIA

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE CLASIFICACION TERCIARIA
EN LA CARGA CIRCULANTE DE PLANTA DE BENEFICIO DE
MINA LOS COLORADOS**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para
obtener el Título de Ingeniero Civil en Metalurgia

Jhan Carlos Bugley Iribarren

Copiapó, Chile 2024.



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN METALURGIA

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE CLASIFICACION TERCIARIA
EN LA CARGA CIRCULANTE DE PLANTA DE BENEFICIO DE
MINA LOS COLORADOS**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para
obtener el Título de Ingeniero Civil en Metalurgia

Profesor Guía: Dra. Ana Rivera Varas
Tutor: Ing. Jocelyn Concha Marchant
Comisión: Dr. Mario Santander
Ing. Ivonne Lopéz

Jhan Carlos Bugley Iribarren

Copiapó, Chile 2024.

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE CLASIFICACION TERCIARIA EN LA
CARGA CIRCULANTE DE PLANTA DE BENEFICIO DE MINA LOS
COLORADOS**

Este documento de Trabajo de Titulación fue aprobado por:

Nombre de la comisión	Calificación	Firma
Dra. Ana Rivera Varas Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	5.9	
Ing. Ivonne López Campusano Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	7.0	
Dr. Mario Santander Muñoz Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	6.0	

Mg. Juan Chamorro González
Director Departamento de Ingeniería en Metalurgia

DEDICATORIA

“Esta etapa de mi vida, se la dedico a mi madre Johana Iribarren y padre Pedro Bugley, además a mi familia, por todo el apoyo entregado a lo largo de toda mi vida y por último con especial dedicatoria a mi Titita Ramón Ordenes que a pesar de que ya no esté, jamás olvidare de todo el cariño, apoyo y valores brindados para ser quien soy, y en quien seré”.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por todo el apoyo, valores, y consejos brindados en cada momento que lo he necesitado.

A mi hermano Diego Ordenes por existir, apoyarme, confiar, aconsejarme, malcriarme y por siempre estar presente.

A Catalina Salazar por el amor, la paciencia, los consejos y el apoyo incondicional entregado en cada momento.

A mi profesora guía Ana Rivera por su gran ayuda en cada momento de consulta y soporte de este trabajo de titulación.

A mi tutora Jocelyn Concha por su gran apoyo, paciencia y conocimientos entregados en cada momento del desarrollo de mi memoria.

A Gerardo Saavedra por su ayuda y conocimientos que me compartió en el desarrollo de mi memoria.

Al departamento de Ingeniería en Metalurgia y mis profesores, por los conocimientos entregados a lo largo de mis años de estudios.

A Compañía Minera del Pacífico por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de título en sus instalaciones.

INDICE

Capítulo 1 MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	3
1.4. Problemática	3
1.5. Alcance y Limitaciones.....	3
1.6. Motivación	4
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Empresa CMP SA [1].	5
2.2. Modelo Operativo y Negocio de CMP SA.	6
2.3. GRP (Gestión de Riesgos de Proceso).....	6
2.4. Ubicación	8
2.5. Antecedentes de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.....	9
2.6. Proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados [2]	10
2.7. Geología del Mineral	11
2.8. HPGR (High Pressure Grinding Rolls) [7].....	13
2.8.1. Beneficios de la molienda de alta presión	13
2.8.2. Principio de operación	14
2.8.3. Tamaño de partículas del producto	16
2.9. Proceso de Harneado [8]	16
2.9.1 Problemas de saturación en el proceso de harneado.....	18
2.9.2 Proceso de harneado eficiente	18
2.9.3 Proceso de harneado en seco	20
2.10. Harnero Vibratorio [8]	25
2.11. Toma de Muestra.....	27
2.12. PI System	28
2.12.1. PI Vision	29
2.12.2. PI DataLink [9].....	30
2.12.3. SIP-R	31
Capítulo 3 METODOLOGÍA	33

3.1. Recopilación de Datos	33
3.2. Depuración de Datos	34
3.3. Muestreo	35
3.3.1. Muestreo área 52	36
3.3.2. Muestreo área 82	37
3.3.3. Muestreo tolva de alimentación	37
3.4. Determinación Granulométrica	38
3.5. Eficiencia Operacional	38
3.6. Eficiencia de Clasificación [10].....	39
3.7. Cálculo de la Carga Circulante	39
3.8. Cálculo de la Razón de Reducción	40
3.9. Cálculo Área Efectiva de Harneros	41
Capítulo 4 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	42
Capítulo 5 CONCLUSIONES.....	60
BIBLIOGRAFIA.....	62
ANEXOS	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.	2
Figura 2.1 Modelo de gestión de riesgo en los procesos (GRP).....	8
Figura 2.2 Ubicación Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.	9
Figura 2.3 Geología del rajo Mina Los Colorados.	12
Figura 2.4 Prensa de rodillos de alta presión.....	14
Figura 2.5 Conminución de alta presión y proceso de ruptura entre rodillos.	15
Figura 2.6 a) Estratificación del material, b) Etapas de clasificación.	17
Figura 2.7 Comportamiento de partículas gruesas y finas.....	18
Figura 2.8 Plano vertical y plano horizontal de harneado.	20
Figura 2.9 Mismo tamaño de abertura con alambre de distinto diámetro.	22
Figura 2.10 Partes de un harnero vibratorio.	26
Figura 2.11 Componentes de un PI System típico.	29
Figura 2.12 Pantalla de PI Vision del circuito del área 52.....	30
Figura 2.13 Interfaz PI DataLink	31
Figura 2.14 Interfaz SIP-R.....	32
Figura 3.1 Puntos de Muestreo	36
Figura 4.1 Carga circulante desde enero a septiembre del año 2023.	43
Figura 4.2 Carga circulante por textura desde enero a septiembre del año 2023, área 52.....	44
Figura 4.3 Carga circulante por textura desde enero a septiembre del año 2023, área 82.....	44
Figura 4.4 Promedio de carga circulante por texturas de mineral.	45
Figura 4.5 Gráfica de series de tiempo de carga circulante por rango ley Fe del área 52.....	46
Figura 4.6 Gráfica de series de tiempo de carga circulante por rango ley Fe del área 82.....	47
Figura 4.7 Bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria del área 52.	48
Figura 4.8 Bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria del área 82.	49
Figura 4.9 Eficiencia operacional de la etapa de Clasificación Terciaria	51

Figura 4.10 Eficiencia de clasificación de tamaños inferiores a 6350 [um] de la etapa de Clasificación Terciaria.	52
Figura 4.11 Distribución granulométrica de la descarga de la etapa de Chancado Terciario.	53
Figura 4.12 Distribución granulométrica de la alimentación de la etapa de Chancado Terciario.	54
Figura 4.13 Razón de reducción de la etapa de Chancado Terciario.	55
Figura 4.14 Distribución granulométrica de descarga de la etapa de Chancado Secundario del área 52.	56
Figura 4.15 Distribución granulométrica de la alimentación de la etapa de Chancado Secundario del área 52.	56
Figura 4.16 Distribución granulométrica de la tolva de alimentación.	57
Figura 4.17 Área efectiva de harneros de etapa Clasificación Terciaria	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Descripción de harneros de la etapa de Clasificación Terciaria, área 52 y 82.....	27
Tabla 3.1 Abertura de mallas ASTM.....	38
Tabla 4.1 Grupos por rango de ley de Fe, área 52 y 82.....	45

RESUMEN

Planta de Beneficio de Mina Los Colorados actualmente presenta elevados valores de carga circulante, esta es la razón por la que, en el presente trabajo, se planteó evaluar las variables del proceso de clasificación terciaria y su influencia en la carga circulante. El presente trabajo comenzó con una recopilación de datos existentes y recientes desde el mes de enero hasta el mes de septiembre del presente año 2023, para luego realizar una depuración de datos, además de análisis estadístico de ellos, lo que evidenció una variabilidad en la carga circulante, reflejando un aumento en la carga cuando se presentan campañas de minerales de texturas Diseminada (DIS) y/o Brechosa (BRE), dicho aumento alcanza valores críticos de sobre el 70% de carga circulante, debido a esto se llevó a cabo muestreos al proceso, estos muestreos evidenciaron una adecuada eficiencia de clasificación de tamaños inferiores a 6350 [um] de la etapa de Clasificación Terciaria mayor al 94%. Además, se realizó un análisis a las etapas que anteceden a la etapa de Clasificación Terciaria, donde se demostró una deficiencia en la reducción de tamaños en las etapas de conminución, debido a esto la carga circulante está compuesta por tamaños mayores a 6.350 [um], por lo que un aumento en la reducción de tamaños en las etapas de conminución podría generar una disminución en la carga circulante de ambas áreas, asimismo, se analizó la granulometría de alimentación de ambas áreas (52 y 82), lo que evidenció una notoria diferencia de tamaños, ya que se alimenta aproximadamente un 30% de tamaños sobre 51.400 [um] al área 52, y un 60% de tamaños sobre 51.400 [um] al área 82, por lo tanto, un estudio al comportamiento de las etapas de conminución con respecto a las texturas de alimentación del proceso, sería clave en el control y disminución de la carga circulante del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.

ABSTRACT

Los Colorados Mine Beneficiation Plant currently presents high values of circulating load, this is the reason why, in the present work, it was proposed to evaluate the variables of the tertiary classification process and its influence on the circulating load. The present work began with a compilation of existing and recent data from January to September of the current year 2023, and then performed a data cleaning and statistical analysis of them, which showed a variability in the circulating load, reflecting an increase in the load when the tertiary classification process is carried out, reflecting an increase in the load when there are campaigns of minerals of Disseminated textures (DIS) and/or Brechosa (BRE), this increase reached critical values of over 70% of circulating load, due to this, sampling of the process was carried out, these samplings showed an adequate efficiency of classification of sizes below 6.350 [um] of the Tertiary Classification stage greater than 94%. In addition, an analysis was made of the stages that precede the Tertiary Classification stage, where a deficiency in size reduction in the comminution stages was demonstrated, due to this, the circulating load is composed of sizes greater than 6.350 [um], so an increase in size reduction in the comminution stages could generate a decrease in the circulating load of both areas, likewise, the feed grain size of both areas (52 and 82) was analyzed, which showed a notorious difference in sizes, since approximately 30% of sizes above 51.400 [um] to area 52, and 60% of sizes over 51.400 [um] to area 82, therefore, a study of the behavior of the comminution stages with respect to the feed textures of the process would be key in the control and reduction of the circulating load of the process of the Los Colorados Mine Beneficiation Plant.

Capítulo 1 MARCO INTRODUCTORIO

1.1. Introducción

La Planta Mina los Colorados perteneciente a la Compañía Minera del Pacífico presenta una problemática en la eficiencia en la conminución, ya que se ha ido presentando un aumento significativo en la carga circulante en las etapas de Clasificación Terciaria del proceso, Esta problemática debe ser abordada en búsqueda de una mejora en el proceso que logre la disminución de la carga circulante y así poder aumentar la producción de la planta.

Asumiendo que el proceso de conminución está constituido por varios subprocesos, comenzando desde el ingreso del mineral a la etapa de Chancado Primario, luego el mineral chancado se transporta a la pila primaria, esta alimenta a un chute tipo pantalón (tolva de alimentación) el cual reparte el mineral que alimenta las áreas 52 y 82, que desde este punto de la planta se transporta por medio de correas transportadoras a las etapas de Clasificación Secundaria. Luego el sobre tamaño alimenta la etapa de Chancado Secundario y el bajo tamaño con el mineral chancado y el sobre tamaño de la Clasificación Terciaria alimentan la etapa de Chancado Terciario donde se procesa el mineral en un HPGR (High Pressure Grinding Roll), luego el mineral molido se transporta a la etapa de Clasificación Terciaria en donde se clasifican tamaños inferiores a 6350 [um] en el bajo tamaño, luego el sobre tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria recircula a la etapa de Chancado Terciario y el bajo tamaño se procesa en la etapa de Concentración Magnética. Luego el rechazo de la etapa de Concentración Magnética se transporta a la Planta de Rechazos y el preconcentrado se transporta a la pila de preconcentrado para su envío a Planta de Pellets.

En la figura 1.1, se esquematiza el diagrama de proceso de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.

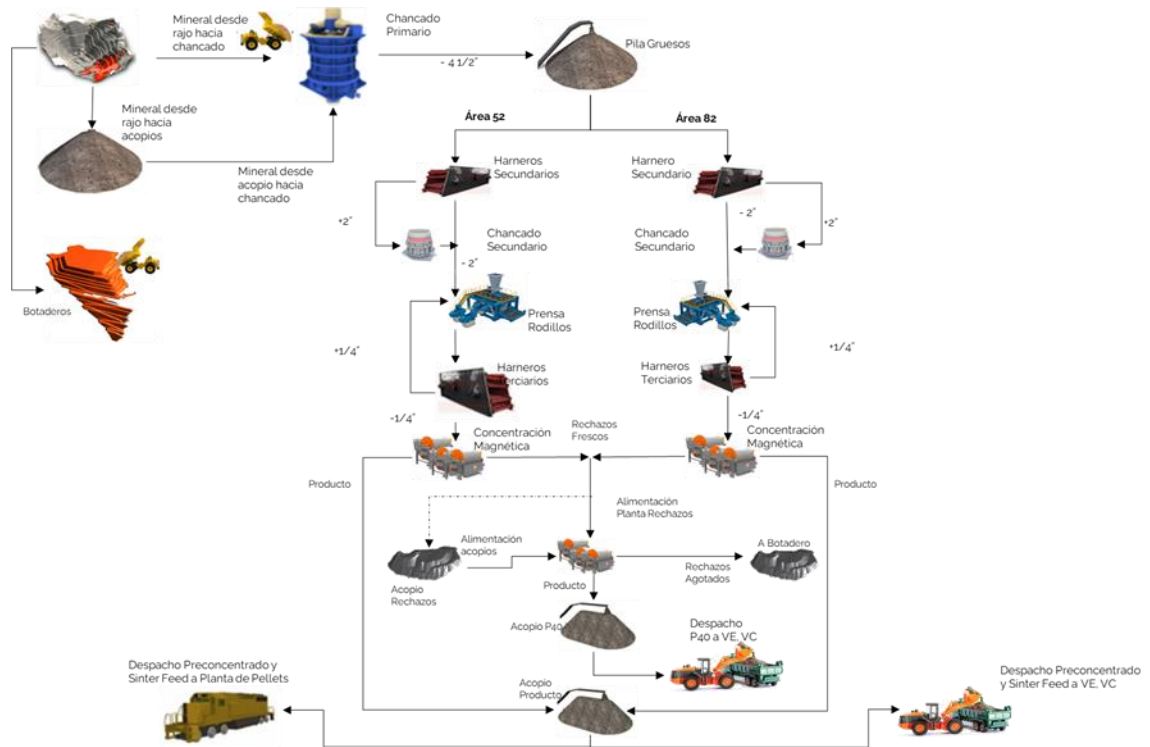


Figura 1.1 Diagrama de proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.

La alimentación de la Planta de Beneficio Mina Los Colorados aborda tres tipos de texturas de minerales, que son denominado como DIS (Diseminado), BRE (Brechoso) y MA (Macizo) cabe recalcar que la investigación estará enfocada principalmente a 2 tipos de alimentaciones que son de DIS + BRE y BRE + MA, ya que estas alimentaciones presentan los peores escenarios para la operación de la planta generando los valores más altos en carga circulante en la planta.

Con esta investigación se busca evaluar las variables operacionales del proceso que podrían impactar en la carga circulante y así lograr una disminución de está, todo esto se desarrolla en base a análisis de datos de la planta y datos obtenidos a través de muestreos realizados anterior y recientemente en el desarrollo de este trabajo, todo esto con el fin de un aumento en la producción de la planta en campañas de minerales de baja ley de Fe de texturas DIS y BRE.

1.2. Objetivo General

- Evaluar las variables del proceso de clasificación terciaria y su influencia en la carga circulante en Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.

1.3. Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar datos antiguos y recientes de las etapas de Clasificación y Chancado Secundario, Chancado y Clasificación Terciaria de la Planta de Beneficio Mina Los Colorados.
- Realizar y analizar granulometrías de muestreos antiguos y recientes de las etapas de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.
- Recalcular y evaluar las eficiencias de las etapas del proceso de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.
- Determinar las variables operacionales del proceso de clasificación terciaria más influyentes en la carga circulante de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.
- Proponer mejora en base a las variables operacionales más influyentes en la carga circulante de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.

1.4. Problemática

Actualmente el circuito de Chancado Terciario y Clasificación Terciaria presenta una alta carga circulante. Esta problemática se ha analizado anteriormente buscando las posibles causas del alto recirculante de la etapa, sin obtener resultados concretos.

1.5. Alcance y Limitaciones

La Planta de Beneficio Mina Los Colorados trabaja por campañas de alimentación de 2 tipos de calidades de minerales, Macizo (MA) para producir Sinter Feed y Brechoso (BRE) y/o Diseminado (DIS) para producir preconcentrado básico, además tiene alimentaciones de minerales de distintas leyes por lo que la operación es complicada. Debido a esto, la realización de pruebas y muestreos se deben programar en fechas de detenciones programadas o en detenciones por mantenimientos que además coincidan con campañas de alimentación de texturas DIS y/o BRE.

1.6. Motivación

Con esta investigación se busca contribuir a la eficiencia del proceso de la Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, ya que una disminución en la carga circulante podría significar un aumento en la producción de la planta, también se podría determinar las variables operacionales más influyentes sobre la carga circulante con respecto a la etapa de Clasificación Terciaria de la Planta de Beneficio Mina Los Colorados, lo que sería un gran aporte en la operación.

Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

2.1. Empresa CMP SA [1].

Compañía Minera del Pacífico (CMP), es el principal productor de minerales de hierro en la costa americana del Pacífico. Su propiedad accionaria se encuentra representada por CAP S.A. (74,999787%), MC Inversiones Ltda. (25,000021%), Carlos Ruiz de Gamboa Gómez (0,000106%) y Jorge Zalaquett Daher (0,000085%), con un total de 4.694.836 acciones al 31 de diciembre de 2021.

Sus principales operaciones se encuentran en las regiones de Atacama y Coquimbo, donde posee una fuerte identidad regional, con un 98% de dotación local, distribuida geográficamente en los valles de Copiapó, Huasco y Elqui. En el valle de Copiapó, se encuentra Mina Cerro Negro Norte, operación que se abastece 100% de agua de mar desalinizada y de forma parcial con energía solar, provenientes de las plantas Aguas CAP y Amanecer Solar CAP, respectivamente. En la zona, también opera Planta Magnetita, uno de los proyectos mineros de economía circular más importantes del país por su procesamiento de relaves a gran escala. El concentrado de hierro producido por ambas faenas es embarcado en el Puerto Punta Totalillo, ubicado al norte de Caldera.

En el valle del Huasco, operan Mina Los Colorados, el yacimiento de hierro más grande del país y la Planta de Pellets, faena pionera en la producción de pellets desde 1978. Con una presencia de más de 40 años en la provincia, el Pellet Feed y el concentrado de hierro se han embarcado en el Puerto Guacolda II hasta la actualidad. A estas operaciones, se suma el inicio de actividades de Mina El Pleito el año 2019, faena ubicada en la comuna de Freirina que procesa sus minerales en la región de Coquimbo. En esta zona opera el valle del Elqui, el cual se compone por Minas El Romeral, yacimiento histórico ubicado al norte de La Serena junto a su operador de embarque, Puerto de Guayacán, en la comuna de Coquimbo, ambas con más de 60 años de actividad productiva en la zona.

Desde sus yacimientos mineros, plantas y puertos, CMP elabora diferentes productos que son exportados y utilizados como materia prima para fabricar acero. El principal producto de venta es el Pellet Feed, a este le siguen en cantidad, el Pellet Autofundente y el Sinter Feed. Estos tres productos representan el 96% de los despachos de la compañía. De esta

forma, el 99% del hierro que exporta Chile es producido por CMP, un mineral que, por su composición magnética, cuenta con ventajas con respecto a los minerales hematíticos, ya que sus productos requieren de una menor cantidad de materias primas y energía en la producción del acero, contribuyendo a un proceso siderúrgico más sustentable.

Actualmente, la compañía opera bajo un modelo operacional, denominado Gestión de Riesgo en los Procesos (GRP), el cual instala la capacidad para controlar todos los procesos de la compañía, identificando peligros, evaluando y controlando los riesgos existentes. Además, permite que las personas tomen decisiones en ambientes acotados y, con la evaluación de riesgos respectiva, para reducir la variabilidad y la accidentabilidad. La GRP tiene como objetivo proteger a todos los trabajadores y al negocio productivo en todos sus ámbitos.

2.2. Modelo Operativo y Negocio de CMP SA.

La empresa Compañía Minera del Pacífico S.A. trabaja en sus faenas con el modelo operativo y de negocio GRP (Gestión de Riesgos de Procesos), este modelo es la única forma de trabajo de CMP S.A. en la que todos hacen lo mismo permanentemente, este consiste en minimizar o eliminar la variabilidad en los procesos logrando así:

- Identificar peligros.
- Evaluar riesgos.
- Aplicar controles.
- Ejecución impecable.
- Verificación y aprendizaje.

Al implementar este modelo permite hacer más seguro el trabajo a realizar, ser competitivos y sostenibles en el mercado, ser eficientes y sustentables en la operación y ser productivos en el negocio.

2.3. GRP (Gestión de Riesgos de Proceso)

Este modelo se subdivide en seis cajas las cuales trabajan de forma independiente, pero empleándolas de forma correlativa, donde las seis cajas son:

- Caja 1: Planificación.
La planificación o caja 1 mapea el proceso con distintas preguntas, ¿Qué tengo que hacer?, ¿Para qué lo tengo que hacer?, ¿Con quién o quiénes se tiene que hacer?, ¿Qué recursos se necesitaran para realizar?, además cada proceso tiene subprocesos, actividades y tareas.
- Caja 2: Identificación y evaluación de riesgos.
La caja 2 o identificación y evaluación de riesgos se identifica y se evalúa los riesgos y sus potenciales impactos en las personas activos y procesos. Es en esta caja en donde se propone medidas de control para mitigar el riesgo.
- Caja 3: Control y mitigación de riesgos.
El mecanismo de control y mitigación de riesgos de las actividades y tareas, que se aplica jerárquicamente para eliminar (quitar o remover físicamente el peligro), sustituir (reemplazar el peligro), aplicar control de ingeniería (aislar el peligro) o aplicar control administrativo (actuar sobre la manera en que las personas trabajan y sus elementos de seguridad).
- Caja 4: Ejecución.
La ejecución o caja 4 es la más crítica del GRP, es la realización y ejecución de las actividades de forma impecable, sin variabilidad en el proceso, falla al activo o lesiones en las personas.
- Caja 5: Verificación.
La caja 5 o verificación consiste en verificar que los controles establecidos en la etapa de planificación permitan que se ejecute la actividad o tarea con los riesgos controlados.
- Caja 6: Aprendizaje.
Es la difusión e internalización transversal de las lecciones aprendidas, luego de incidentes o desviaciones encontradas, para asegurar que sean conocidas y que se evite un incidente o evento no deseado a futuro.

En la Figura 2.1, se esquemática el Modelo de Gestión de Riesgo en los Procesos (GRP).

Modelo de Gestión de Riesgo en los Procesos (GRP)



Figura 2.1 Modelo de gestión de riesgo en los procesos (GRP).

2.4. Ubicación

La planta de Beneficio Mina Los Colorados se ubica al costado noroeste del yacimiento Mina Los Colorados ubicada a 30 kilómetros al noroeste de la ciudad de Vallenar, región de Atacama, Chile, y a 710 kilómetros al noroeste de Santiago, región metropolitana, Chile, en el distrito Sierra Los Colorados, y a una altura aproximada de 450 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas centrales UTM son Norte 6.868.900 y Este 323.800.

El acceso al yacimiento desde la ciudad de Vallenar se realiza a través de la carretera Panamericana norte/Ruta 5 SUR recorriendo 21 kilómetros hasta el cruce con la ruta C-440, Canto del agua – Carrizal bajo, luego se deben recorrer 26 kilómetros hacia el oeste. La totalidad de la distancia recorrida desde la ciudad de Vallenar hasta el yacimiento es de 44,4 kilómetros. En la Figura 2.1 se aprecia una vista satelital de la Planta de Beneficio Mina Los Colorados y su vista de la ubicación en las cercanías a Vallenar.

En la figura 2.2, se muestra la ubicación de Planta de Beneficio Mina Los Colorados.



Figura 2.2 Ubicación Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.

2.5. Antecedentes de Planta de Beneficio Mina Los Colorados

Los inicios de actividades en Planta Mina Los Colorados, comenzaron en el primer semestre del año 1955 con la mina los colorados que en ese tiempo se llama Mina Primavera, esta actividad la realizo Compañía Minera Cerro Colorado, teniendo una reserva al alrededor de 2.000.000 toneladas de alta ley de Fe.

Luego la mina en 1961 fue adquirida por Compañía Minera Ferro Mina, que en 1967 la arrendo a Compañía Minera Santa Bárbara, que comenzó las exploraciones mediante geofísica y sondajes, posteriormente en 1969 la Compañía la adquirió y explotó generando 20.000 ton/año.

En el segundo semestre de 1974 comenzó el funcionamiento de una planta de chancado y concentración magnética productora de granzas y finos, teniendo un aumento gradual de producción alcanzando 700.000 ton/año.

El yacimiento Los Colorados fue explotado por la Compañía Minera del Pacifico (C.M.P). Luego, con el objetivo de incrementar y asegurar su explotación, se formó la Compañía Minera Huasco S.A, sociedad compuesta por Mitsubishi Corporation Investment (MCI Ltda.) y Compañía Minera del Pacifico (CMP S.A.). El complejo Mina – Planta se inauguró oficialmente en noviembre de 1998, y actualmente se encuentra en plena producción.

Planta Mina Los Colorados actualmente produce pre concentrado de alta ley, que abastece a la planta pellet, también abastece de pre concentrado de baja ley a planta magnetita.

2.6. Proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados [2]

El proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, ya mencionando anteriormente cuenta de un Chancado primario, luego la descarga se acopia en una pila de intermedia, para luego su posterior procesamiento en dos plantas en paralelo (área 52 y 82), a continuación, se describe las etapas del proceso comenzando de la recepción del mineral en la etapa de Chancado Primario:

- Chancado Primario:

El área de chancado primario es alimentada con mineral de tamaño máximo de 44" en un buzón de 300 toneladas de capacidad, el cual alimenta a un chancador giratorio de 54"x74" en circuito abierto a un ritmo de 2.200 toneladas por hora. El producto chancado es depositado en una pila intermedia de 30 mil toneladas vivas de capacidad.

- Chancado Secundario y Clasificación Secundaria:

El material es extraído de dicha pila primaria mediante 6 alimentadores electromecánicos ubicados en un túnel bajo la pila, que alimenta por medio de un chute tipo pantalón a las áreas 52 y 82, en donde el mineral es clasificado. El sobre tamaño es reducido en un circuito abierto con un chancador secundario de cono, mientras que el bajo tamaño de la Clasificación Secundaria se transporta con el mineral chancado antes mencionado a la etapa de Chancado Terciario.

- Chancado Terciario:

En una tercera etapa de conminución, el mineral es sometido a una disminución de tamaño en un circuito cerrado con un HPGR (High Pressure Grinding Roll), mediante una prensa de rodillos de alta presión; posteriormente es clasificado en el área 52 en cinco harneros banana y en el área 82 con tres harneros tipo banana.

- Clasificación Terciaria:

En la etapa de Clasificación Terciaria, el mineral proveniente de la etapa de Chancado Terciario es clasificación obteniendo un sobre tamaño y un bajo tamaño, el sobre tamaño mayor a 1/4" es recirculado a la etapa de Chancado Terciario, mientras que el bajo tamaño inferior a 1/4" alimenta la etapa siguiente de Concentración Magnética.

- **Concentración Magnética:**

El bajo tamaño de los harneros es alimentado a un sistema de concentración en seco que se realiza con tambores magnéticos de alta velocidad, dispuestos en dos etapas sucesivas. La etapa de concentración primaria consta de 12 tambores, al igual que la concentración secundaria.

- **Pila de preconcentrado:**

El producto de la planta, denominado pre concentrado, se almacena en una cancha de 140 mil toneladas de capacidad. Desde este acopio se extrae el pre concentrado por medio de 11 alimentadores vibratorios, ubicados en un túnel bajo la pila y con correas transportadoras hacia una torre de carguío de trenes, que tiene 2 tolvas de 220 toneladas vivas de capacidad.

- **Planta de Rechazos**

Entró en operación el año 2012 y consiste en una planta de concentración magnética por vía seca, que permite procesar los rechazos frescos generados por la operación de la Planta Mina Los Colorados. También los rechazos acopiados en el área industrial cercana, provenientes de periodos anteriores de operación de dicha Planta, con ley media de 14,5% de hierro magnético. Este pre concentrado alcanza una producción de 900 mil toneladas por año con ley aproximada de 45% a 50% en hierro magnético y es transportado dentro de la región a las demás faenas de Compañía Minera del Pacifico.

2.7. Geología del Mineral

La geología del rajo Mina Los Colorados presenta 3 tipos de alimentaciones a la Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, el principal mineral de mena del yacimiento es magnetita (Fe_3O_4).

En la figura 2.3, se muestra el perfil esquemático de Mina Los Colorados.

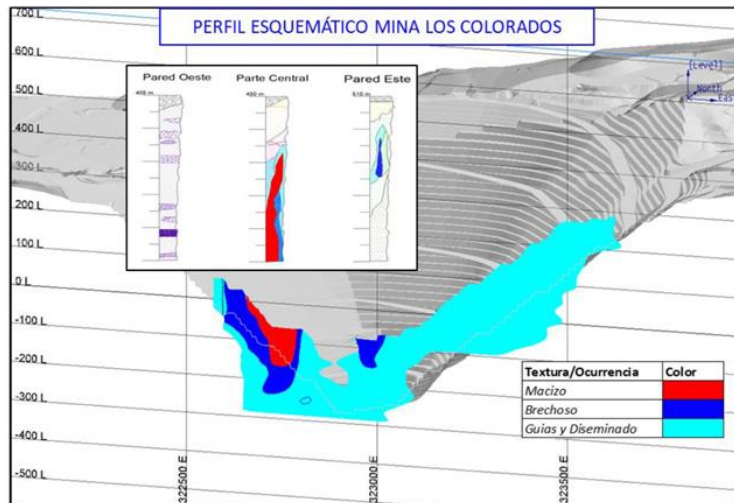


Figura 2.3 Geología del rajo Mina Los Colorados.

Dependiendo de la morfología de la roca mineralizada se reconocen los siguientes cuerpos:

- Brechoso: Cuerpo mineralizado constituido por magnetita intercrecida con cristales de actinolita euhedrales, en algunos casos con texturas pegmatíticas que pueden llegar a alcanzar tamaño decimétrico. Las leyes de Fe total pueden variar entre 45% y 60%.
- Diseminado: Corresponde a litologías con contenidos en Fe total que oscilan entre el 30% y el 45%. Esta mineralización se presenta en forma diseminada o como núcleos de magnetita dispersos en la matriz. Presenta actinolita diseminada en la matriz y en la mena de Fe, epidota y pirita diseminada variable.
- Macizo: Corresponde al cuerpo principal de mena, constituido por magnetita y con leyes de Fe total superiores al 60%. Los minerales de ganga son escasos, y principalmente conformados por actinolita, apatito, cuarzo, pirita, calcita y óxidos de Fe, que aparecen como cristales euhedrales a subhedrales, en vetillas o de forma diseminada.

En el presente trabajo se tendrá un foco principal en el mineral de morfología Brechosa y Diseminada, ya que el mineral con una morfología Maciza no presenta mayor inconveniente en carga circulante al proceso, teniendo en cuenta que las alimentaciones no son de una sola morfología sino una combinación de texturas cabe recalcar que la investigación va enfocada a las combinaciones de morfología BRE + DIS y BRE + MA.

2.8. HPGR (High Pressure Grinding Rolls) [7]

Las prensas de rodillos abrasivos de alta presión (HPGR) se introdujeron como una nueva tecnología de molienda en 1984. Desde entonces, se instalaron con éxito en un amplio número de plantas en todo el mundo, principalmente para cemento y piedra caliza. Recientemente, los HPGR también se aplicaron en plantas de procesamiento mineral, en su mayor parte para el tratamiento de minerales de hierro y diamantes. En estas industrias, la aplicación de HPGR abarca desde la trituración de gruesos.

El proceso de conminución a través de HPGR mejora considerablemente el rendimiento general. Esto da como resultado la creación de una extensa proporción del producto terminado y una reducción del Índice de Trabajo de Bond correspondiente al material prensado. Este proceso por lo general permite una reducción del número proyectado de unidades de equipamiento en cuanto al chancado terciario y cuaternario, y a molienda.

2.8.1. Beneficios de la molienda de alta presión

Los HPGR ofrecen diversos beneficios a la industria minera, tales como:

- Bajo consumo de energía, 0,8-3 [kWh/t].
- Capacidad de procesar minerales húmedos, hasta un 10%.
- Recuperación descendente mejorada y facilidad de molienda.
- Requisitos de bajo mantenimiento.
- Requisitos de espacio reducido.
- Bajo nivel de vibraciones y ruido.
- Alta disponibilidad, >95%.
- Extensa vida útil de la superficie de desgaste, 4000-36000 [h].

En la figura 2.4, se muestra una figura referencial al equipo de prensa de rodillos de alta presión.

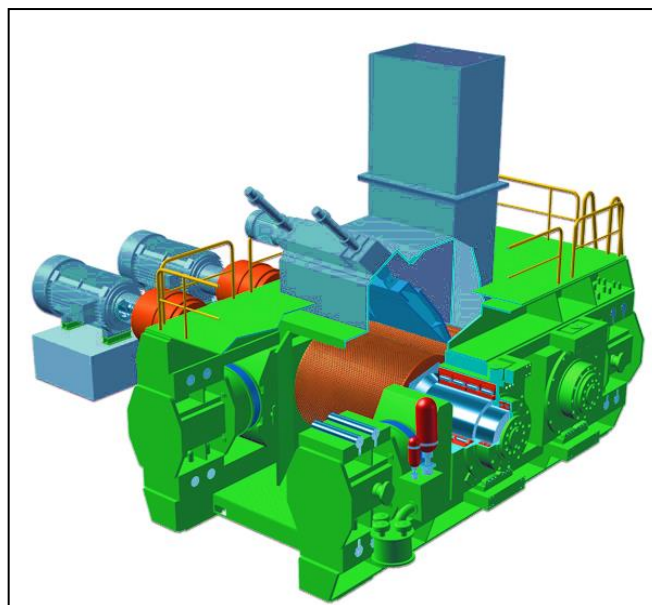


Figura 2.4 Prensa de rodillos de alta presión.

2.8.2. Principio de operación

El material molido de alta presión se obtiene por medio de un tipo avanzado de rodillo abrasivo. Contrariamente a los rodillos convencionales para triturado, las partículas se rompen por compresión en un lecho de partículas relleno, y no por medio del prensado directo de las partículas entre los dos rodillos.

Este lecho de partículas se crea por presión entre dos rodillos de rotación opuesta. Entre estos rodillos, se presiona un lecho de partículas a una densidad de hasta aproximadamente el 85% de la densidad real del material. Esta compresión se obtiene por medio de la aplicación de alta presión hasta casi 300 [MPa]; un proceso que excede la fuerza de compresión del material de alimentación. Durante este proceso de compactación el material se tritura con una distribución de amplio tamaño de partícula y con una gran proporción de materiales finos, compactados en escamas.

El proceso de rotura se puede contemplar en dos etapas diferentes, en la primera etapa, el material que ingresa al espacio ubicado entre los rodillos se somete a una aceleración para alcanzar la velocidad de rodillo periférica. Como resultado del estrechamiento entre los rodillos, el material se compacta en forma gradual y las piezas y partículas más grandes se someten a un proceso de triturado previo. Además, se manifiesta un cierto grado de reordenamiento de partículas, que llenan los huecos presentes entre partículas. En la

siguiente etapa, el material sometido a un triturado previo ingresa a una zona de compactación. En esta zona de compresión se aplica la presión. La fuerza de presión actúa principalmente sobre todas las partículas que atraviesan la zona de compresión, a través de contactos de puntos múltiples entre las partículas en el lecho de compresión. Esto da como resultado la desintegración de la mayor parte de las partículas.

Durante el proceso, se generan micro fisuras dentro de las partículas, y esto da como resultado el debilitamiento de dichas partículas para la siguiente etapa de molienda. La presión que se ejerce sobre un lecho de partículas reduce el desgaste debido a que el procedimiento principal de molienda no se produce entre la superficie del rodillo y el material, sino que tiene lugar entre las partículas de material dentro del lecho de partículas. El rendimiento de un HPGR depende de la capacidad de los rodillos de arrastrar el material de alimentación hacia el espacio ubicado entre los rodillos (fricción de la superficie de rodillo), de las características del material de alimentación (por ejemplo, cohesión interna, humedad) y de las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, la velocidad del rodillo, condiciones de la alimentación obstruida).

En la figura 2.5, se esquematiza la conminución de alta presión y proceso de ruptura entre rodillos de la prensa de rodillos de alta presión.

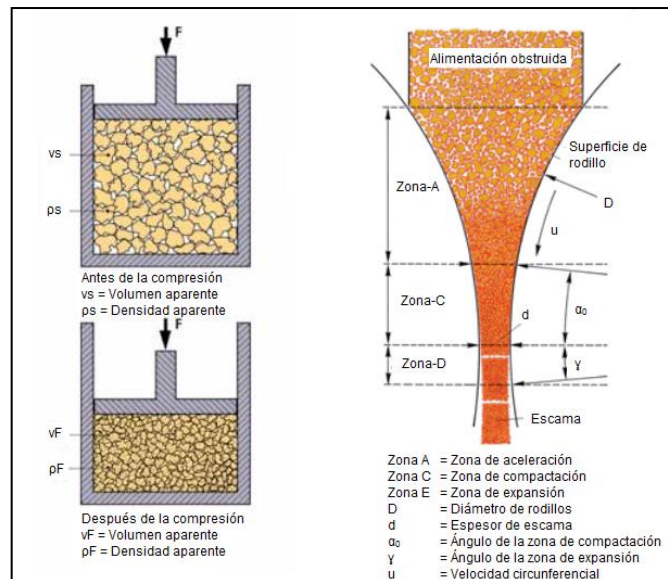


Figura 2.5 Conminución de alta presión y proceso de ruptura entre rodillos.

2.8.3. Tamaño de partículas del producto

El HPGR es capaz de procesar partículas con un tamaño de hasta aproximadamente 80 [mm]. La esencia del proceso consiste en evitar el triturado de partículas individuales y realizar una molienda por compresión del material en un lecho de partículas. El triturado de partículas individuales puede incrementar el desgaste de la superficie del rodillo a través de altas cargas concentradas y cortes, y puede provocar daños a la superficie autógena de desgaste. Para lograr una compresión ideal entre partículas, el molido del tamaño de las partículas de alimentación debe ser menor al espacio de operación entre los rodillos.

Un rodillo abrasivo de alta presión produce una distribución de tamaño de partículas (PSD, por sus siglas en inglés) más amplia, y con una mayor cantidad de partículas finas, que la distribución producida por un chancador terciario (por ejemplo, un triturador de cono). La razón es que la fuerza de compresión no sólo actúa en el extremo grueso de la PSD, sino a lo largo de todo el lecho de partículas, tanto en partículas gruesas como finas, incluidas las partículas finas derivadas de las fracciones inicialmente más gruesas.

Actualmente Planta Mina Los Colorados opera con dos etapas de chancado terciario en paralelo, en el área 52 con un HPGR de 170/180 [cm] y el área 82 opera con un HPGR de 170/140 [cm].

2.9. Proceso de Harneado [8]

Se llama harneado al proceso mecánico de separación de partículas basándose en su tamaño, a través de su aceptación o rechazo por una superficie con aberturas dependiendo del tamaño que se quiere clasificar, esta superficie normalmente es una malla.

El proceso de harneado en seco es uno de los más antiguos; data de los romanos, quienes pasaban las piedras por redes para seleccionarlas por tamaño y así utilizarlas en diferentes tipos de construcción. Hoy está comúnmente asociado a la industria minera y la de agregados para construcción, pero también es extensamente utilizado en las industrias química, alimenticia, cerámica, pesquera y forestal. Entre sus aplicaciones se encuentran la clasificación de productos farmacéuticos, chips de maderas, esmaltes cerámicos, alimentos en polvo, nueces y alimentos para animales.

El proceso de harneo en húmedo tiene diversos usos, como es el caso de la separación del carbón activado grueso, de la solución lixivante en el proceso de cianuración del oro, y separación de los sólidos que se encuentran en las aguas servidas, etc.

Los harneros son equipos que utilizan la superficie de una malla para clasificar materiales de acuerdo con el tamaño de sus partículas. Las aberturas en las superficies de las mallas tienen distintos tamaños y distintas geometrías, dependiendo de la aplicación para la cual serán utilizadas.

En un harnero, el proceso de clasificación está dividido en dos etapas:

1. La primera ocurre en el primer tercio del harnero y a ésta se le llama Clasificación por Saturación, pues la superficie de la malla se satura con partículas pequeñas, todas tratando de pasar por las aberturas en el mismo instante.
2. La segunda etapa es conocida como Clasificación por Repetición, pues al desplazarse por la superficie de la malla, las partículas tratan una y otra vez de pasar por las aberturas, repitiéndose este proceso de prueba y error hasta que pasan o son descargadas al final de la malla (en las figura 2.6 se puede apreciar el fenómeno de estratificación y las etapas de clasificación por saturación y por repetición). En la figura 2.6 se puede apreciar que el harneo por saturación ocurre en el primer tercio de la malla, que es donde todo el volumen de material pasa sobre la malla y donde la mayor cantidad de material pasa a través de las aberturas, convirtiendo a esta zona en la de mayor abrasión y desgaste.

En la Figura 2.6, se esquematiza la estratificación del material y las etapas de clasificación.

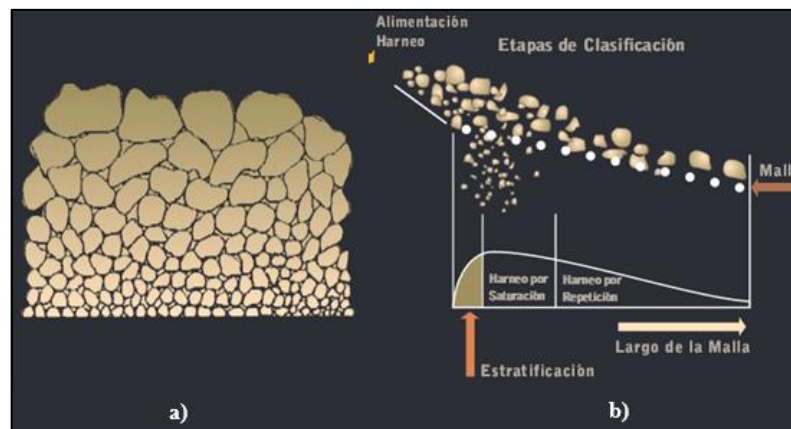


Figura 2.6 a) Estratificación del material, b) Etapas de clasificación.

2.9.1 Problemas de saturación en el proceso de harneado

En esta etapa pueden surgir 4 problemas, todos los cuales afectan la eficiencia de clasificación:

- Cegamiento de las mallas o screen blinding: ocurre cuando partículas casi del tamaño de las aberturas se traban en éstas y bloquean el paso de otras partículas; es decir taponan las mallas.
- Partículas casi del tamaño de las aberturas tratan de pasar a través de éstas con dificultad y complican el paso de partículas finas.
- Varias partículas finas o pequeñas llegan en el mismo instante a una abertura, dificultándose el paso de éstas a través de la abertura. El resultado es que ninguna partícula pasa, a pesar de tener un tamaño menor que la abertura.
- Partículas finas con un alto contenido de humedad tienden a adherirse a las paredes de las aberturas y, eventualmente, tapan completamente la abertura. Este fenómeno se puede apreciar en la figura 2.7.

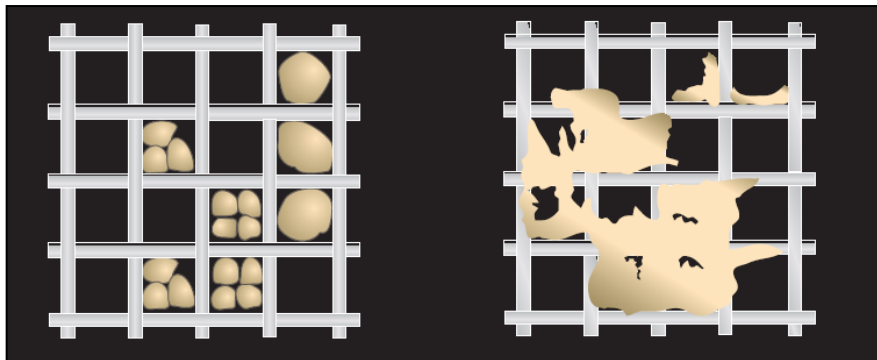


Figura 2.7 Comportamiento de partículas gruesas y finas.

2.9.2 Proceso de harneado eficiente

El proceso de harneo es un proceso basado en probabilidades; por lo tanto, no es un proceso 100% eficiente. En términos generales, el objetivo del operador de los harneros es crear un ambiente que sea conductivo a brindarle la mayor cantidad de probabilidades a las partículas para pasar por las aberturas de las mallas, logrando la mayor eficiencia de clasificación posible. Esto significa optimizar la eficiencia de los harneros y maximizar el tonelaje procesado, para lo cual debe controlar los parámetros operacionales al máximo,

teniendo siempre presente que para una misma malla la curva de eficiencia de clasificación y la curva de capacidad van normalmente en direcciones opuestas: cualquier cambio que optimiza la eficiencia de harneo, muy posiblemente va a afectar la capacidad de proceso y viceversa. Para ajustar los parámetros operacionales a las características físicas del mineral, el operador debe tener presente lo siguiente:

- a) Si el tamaño de la partícula no excede el 50% del tamaño de la abertura, hay un nivel alto de probabilidad de que ésta pase por las aberturas.
- b) Si la partícula es casi del tamaño de la abertura de la malla, es muy probable que ésta no pase a través de la abertura.
- c) Las mallas con geometría cuadrículada sólo clasifican en dos dimensiones; sin embargo, las partículas tienen tres dimensiones. Esto dificulta el proceso de clasificación, haciendo que algunas partículas inferiores al tamaño de la abertura en una de sus tres dimensiones sean rechazadas por la malla. Para que una partícula pase por las aberturas de una malla con abertura cuadrada, por lo menos dos de sus dimensiones deben ser inferiores al tamaño de la abertura.
- d) El proceso de harneo no clasifica una partícula a la vez sino un conjunto de partículas; éstas compiten entre sí para encontrar las aberturas y pasar a través de ellas.
- e) Al desplazarse sobre la malla, las partículas toman velocidad, lo que dificulta su paso a través de las aberturas, para lo cual necesitan un tiempo. Mientras mayor sea el tiempo de exposición de las partículas en las aberturas, mayor es la probabilidad que tienen de pasar a través de ellas.
- f) Cualquier material recibido por el harnero lo hace desde un plano vertical y cambia de dirección en la superficie de la malla, a un plano más horizontal. Como consecuencia de ello las partículas ofrecen a las aberturas de la malla su dimensión mayor, reduciendo sus probabilidades de pasar por las aberturas (ver figura 2.8).

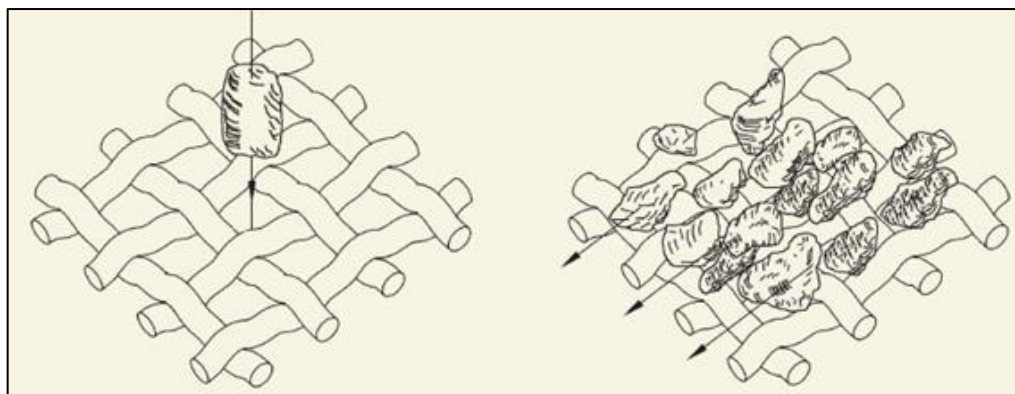


Figura 2.8 Plano vertical y plano horizontal de harneado.

Todo aquel material rechazado por la malla es conocido como "sobre tamaño" u "overs", mientras que el material que pasa a través de ella es llamado "bajo tamaño" o "unders". Dadas las características del proceso de harneo, que un producto resulte como "sobre tamaño" no quiere decir que sea necesariamente mayor que el tamaño de la abertura. Aquellas partículas inferiores al tamaño de la abertura que resultan como "sobre tamaño" son llamadas material desclasificado, pues sólo fueron rechazadas por la malla debido a la ineficiencia del proceso de harneo. El proceso de harneo es considerado como un arte al igual que una ciencia, debido al gran número de factores físicos del producto y mecánicos del harnero que actúan interrelacionados, que exigen al operador numerosos intercambios entre estos factores para optimizar el proceso.

2.9.3 Proceso de harneado en seco

En el proceso de harneado existe un gran número de factores que influyen en el proceso de clasificación de partículas en seco, afectando no sólo la eficiencia del proceso de clasificación, sino también afectan la cantidad de material que puede ser procesado por un harnero y la duración de las mallas.

Los errores que pueden afectar el proceso de harneo en seco tienen relación con los siguientes aspectos:

a) Área de harneo y número de pisos del harnero (decks):

El ancho y largo del harnero juegan un papel muy importante en la eficiencia y rendimiento que se obtiene de un equipo. El ancho del harnero tiene relación con la capacidad de clasificación. Mientras más ancho es el harnero, mejor es la distribución

de carga y menor el espesor de la cama de material. Ello hace que las partículas pequeñas queden más cerca de la superficie de la malla y tengan más oportunidades de pasar por las aberturas. El largo del harnero es importante para obtener una eficiencia de clasificación alta, pues a mayor longitud del harnero, mayor es el tiempo de exposición de las partículas a las aberturas de la malla y más alta la probabilidad de que éstas pasen por las aberturas.

El número de pisos o decks también es importante, ya que éstos no sólo alojan a las mallas de corte, sino también a las conocidas como mallas de alivio, que son instaladas antes de las mallas de corte, permiten mejorar la eficiencia de clasificación y alargar la vida útil de la malla de corte, reduciendo la cantidad de mineral que llega a las mallas de corte fino.

Área abierta y geometría de las mallas, La malla es el elemento más importante de todo harnero, pues a través de ella el material se desliza para ser clasificado. Son colocadas en cada piso de los harneros (deck), sujetadas con tensores, también llamados tira-mallas o grampas tensoras, ubicados en los costados del harnero. En todo momento deben estar tensas y completamente adheridas a los burletes, de modo de garantizar que el material pase por una superficie rígida. La malla consiste en una superficie con aberturas de un tamaño determinado. Estas aberturas pueden tener distintas geometrías, dependiendo del uso que se desee dar a la malla y de la forma geométrica del material a clasificar.

El área de una malla no cubierta por alambre es llamada área abierta y se expresa siempre como un porcentaje del total de la superficie de la malla. Esta área abierta aumenta o disminuye la probabilidad de que una partícula pase por las aberturas (mallas con un mismo tamaño de abertura pueden tener diferentes porcentajes de área abierta, debido a que el espacio entre las aberturas, el diámetro del alambre es distinto en cada una de ellas, como se aprecia en la Figura 2.9, Siempre que se especifica una malla se debería indicar el tamaño de la abertura, el diámetro del alambre y el área abierta, entre otros datos.



Figura 2.9 Mismo tamaño de abertura con alambre de distinto diámetro.

Las mallas de geometrías cuadradas son las más utilizadas cuando se desea realizar una clasificación muy exacta, aun cuando presentan los siguientes inconvenientes:

- Clasifican en dos dimensiones y tienden a rechazar un gran número de partículas, lo que resulta en mayor desgaste y consumo de mallas.
- Susceptibles a cegamiento o taponamiento (screen blinding), lo que reduce su eficiencia de clasificación a medida que las aberturas se ciegan.
- Reducida área útil, por lo que tienden a reducir la capacidad de proceso de los harneros.

Por su tendencia a cegarse, se les debe monitorear frecuentemente para evitar problemas de material fino reportando al "sobre tamaño".

Mientras que las mallas de aberturas rectangulares son normalmente utilizadas en los decks superiores de los harneros, para hacer un desbaste (scalping) y rechazar material grueso, lo que reduce la cantidad de material que va a la malla de corte fino. Debido a que clasifican en tres dimensiones posibilitan que una mayor cantidad de material pase por las aberturas, resultando en una menor cantidad de partículas finas reportando con "sobre tamaño" y una mayor capacidad de proceso. Dada su geometría, estas mallas no tienden a cegarse (screen blinding) como las mallas con aberturas cuadradas.

b) Ángulo de operación del harnero y área de presentación de las partículas.

Los harneros pueden ser operados en posición horizontal o inclinados, dependiendo de los objetivos de la aplicación. Si lo que se busca es eficiencia de clasificación, entonces el harnero se debe operar completamente horizontal, aunque bajo esta condición la capacidad del proceso de harneo se verá reducida significativamente. Para

una mayor capacidad, los harneros deben operarse inclinados, permitiendo al material desplazarse más rápidamente hacia el punto de descarga y dejar espacio a las partículas que vienen detrás. Sin embargo, al darle más velocidad a las partículas, su tiempo de exposición a las aberturas de la malla se reduce y, en consecuencia, baja la eficiencia de harneo. En otras palabras, mientras mayor sea el ángulo de operación del harnero, será mayor la capacidad de proceso, pero menor la eficiencia de harneo.

c) Flujo másico procesado y distribución granulométrica

La capacidad de proceso de un harnero se expresa siempre en toneladas por hora, aunque los harneros procesan volumen y no peso. Por este motivo, al referirse a capacidad de proceso, los fabricantes de harneros señalan en letra chica: "esta capacidad es basada en un mineral seco, que fluye fácilmente y pesa 100 libras por pie cúbico". La densidad aparente del mineral es crítica en todo proceso de harneo, pues un harnero que fue dimensionado para procesar 100 [t/h] de arena con una densidad de 1,6 t/m³, sólo puede procesar 50 [t/h] de carbón con una densidad de 0,8 [t/m³]. Es importante recordar que la densidad aparente de un material va a variar con la granulometría de éste y su contenido de humedad, por lo que es primordial conocer con certeza cuál es la densidad aparente del producto a procesar. La distribución granulométrica del material a procesar no sólo influye en la capacidad del proceso, sino también en la eficiencia de la clasificación. Un factor significativo es la cantidad de partículas que son casi del tamaño de la abertura, pues es muy difícil para ellas pasar por las aberturas de las mallas, tendiendo a quedar trabadas en ellas. Es decir, a medida que aumenta la cantidad de partículas con tamaños cercanos al de las aberturas, disminuyen la eficiencia de clasificación y la capacidad de proceso.

d) Frecuencia, amplitud y método de operación del harnero.

La combinación de frecuencia y amplitud permite optimizar la eficiencia de clasificación, ya que posibilita acercar el material a la superficie de la malla y, a su vez, regular la velocidad de desplazamiento del material. Básicamente la amplitud proporciona la distancia de desplazamiento del material y la frecuencia otorga velocidad al material sobre la malla.

Se entiende por amplitud a la distancia que se desplaza el harnero cada vez que el generador de movimiento causa una pulsación. La amplitud básicamente da la

distancia (throw) a la que la partícula será lanzada cada vez que el generador de movimiento genere una pulsación. Es importante tener presente que mientras menor sea la amplitud, más cerca de la malla va a estar el mineral y esto facilita el paso de las partículas a través de las aberturas.

La frecuencia es el número de pulsaciones producidas por el generador de movimiento en un determinado lapso. Se ajusta a través de cambios en las poleas del generador de movimiento o usando un variador de frecuencia. El rango de frecuencia en los harneros de una planta de chancado oscila normalmente entre 650 y 950 revoluciones por minuto, pero algunos tienen frecuencias de hasta 3600 revoluciones por minuto, como es el caso de los harneros Derrick para clasificar ultra-finos. En un proceso de harneo, siempre debe haber una relación entre frecuencia y amplitud (un harnero no puede ser utilizado a frecuencias y amplitudes altas).

e) Método de alimentación del harnero.

La optimización del proceso de harneo comienza en la manera como el material es alimentado al harnero. Frecuentemente, los problemas atribuidos al proceso de clasificación en realidad derivan de los sistemas de manejo de materiales y de alimentación a los harneros, lo que indica que estos aspectos deben ser estudiados cuidadosamente al momento de diseñar una planta de chancado y clasificación. Lo primero es que debido a que el producto es colocado por gravedad sobre el harnero es importante tener un área de impacto donde recibir el material, como planchas de acero resistentes a la abrasión o planchas de goma blanda, con una dureza de 40 a 45 shore A. Debe evitarse que el material caiga desde una gran altura sobre la plancha de impacto, lo que podría causar desbalances momentáneos en los harneros o problemas estructurales en éstos.

Además, la alimentación debe mantener un ritmo constante, para asegurar que la cama de material sobre el harnero siempre sea pareja, contribuyendo así también a una mejor clasificación de las partículas. Tres son las modalidades más comunes para alimentar un harnero: alimentadores vibratorios, correas alimentadoras y alimentadores de placas (apron feeders). Los alimentadores vibratorios, al igual que los harneros, deben tener una zona de impacto recubierta con material resistente a la abrasión, la cual puede ser de acero 450 Brinnell o de goma con una dureza de 40 a 45 shore A.

f) Porcentaje de humedad del material.

El contenido de humedad del material puede afectar tanto a la capacidad de proceso como a la eficiencia que se obtiene en la operación de un harnero. El problema de la humedad del material no es sólo el taponamiento que se crea sobre la superficie de las mallas y termina cegando las aberturas, sino también la cantidad de material desclasificado que se genera por la adherencia de partículas finas al material grueso debido al contenido de humedad de éstas. La humedad hace que el material tienda a pegarse a la superficie de los revestimientos, causando alguno de los siguientes problemas:

- Canalizaciones de material hacia el harnero, resultando en áreas muertas y reducción de la superficie disponible para harnear.
- Aumento del espesor del manto de material sobre ciertas áreas del harnero, lo que produce desgaste disperejo de las mallas.
- Peso adicional sobre el alimentador vibratorio, que puede derivar en problemas mecánicos.

El contenido de humedad máximo permisible varía según el tamaño de abertura por la cual pasará el material y aumenta a medida que el tamaño de la abertura aumenta.

2.10. Harnero Vibratorio [8]

Los harneros vibratorios se caracterizan por tener un sistema de accionamiento que cumple dos objetivos:

1. Estratificar el material que llega a la malla, acercando las partículas finas a la superficie de ésta.
2. Transportar el material sobre la superficie de la malla para llevar hacia el punto de descarga a aquellas partículas que fueron rechazadas.

En la Figura 2.10, se pueden apreciar los componentes básicos de un harnero vibratorio, incluyendo el sistema generador de movimiento para estratificar y transportar el material. Además, se puede apreciar la plancha de impacto ubicada antes de la malla del primer deck, que busca evitar daños a esta malla.

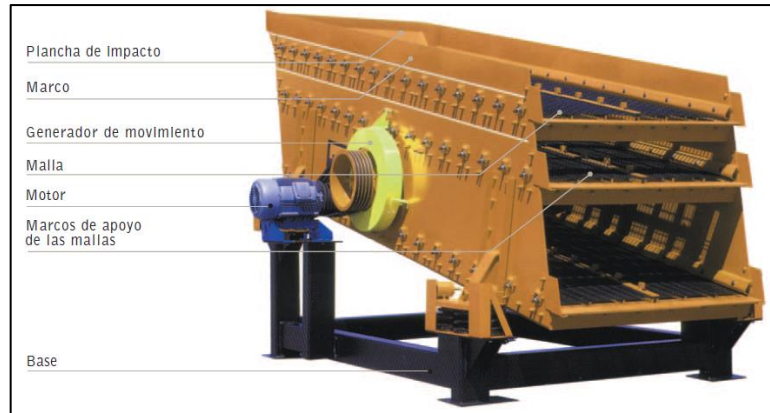


Figura 2.10 Partes de un harnero vibratorio.

Para desplazar el material sobre la superficie de las mallas y permitir que éste pase a través de las aberturas, los generadores de movimiento de los harneros vibratorios pueden producir un movimiento elíptico o un movimiento puramente lineal. En ambos casos, el material es desplazado en línea recta y nunca hacia los lados; por lo cual estos deben ser alimentados siempre a todo el ancho de la plancha de impacto ubicada antes de la malla. En la mayoría de los harneros vibratorios el movimiento es generado por un sistema con contrapesos o ejes excéntricos accionados por un motor eléctrico, ya sea con acople directo o con un sistema de transmisión de potencia que utiliza correas en V. La mayoría de los generadores de movimiento permiten ajustar la amplitud y la frecuencia del harnero, de manera que el usuario pueda adaptar los parámetros operacionales del harnero a las características físicas del material.

Los harneros vibratorios pueden ser operados en forma horizontal o inclinados, dependiendo de cuáles sean los objetivos de la aplicación. Los harneros se instalan inclinados para agilizar el paso del material sobre tamaño hacia el punto de descarga. Pero debido a la inclinación del harnero el material tiende a tomar velocidad, reduciendo el tiempo de exposición de las partículas a las aberturas, lo que a su vez reduce las probabilidades de las partículas de pasar por éstas.

Una vez colocado el material sobre la plancha de impacto y esparcido a todo el ancho de ésta, las partículas comienzan a desplazarse hacia adelante debido al movimiento del harnero. En este instante el material hace su primer contacto con la malla y se produce el fenómeno de estratificación, que consiste en la formación de un lecho, en el cual las partículas grandes ascienden mientras las pequeñas pasan por los espacios entre ellas,

acercándose a la superficie de la malla, para ser aceptadas o rechazadas por las aberturas de ésta. La estratificación de partículas siempre ocurre en la zona del primer contacto del material con la superficie de la malla y continúa repitiéndose una y otra vez hasta que las partículas pasan por las aberturas o son descargadas al final de la malla. Sin este fenómeno, el proceso de separación o clasificación no podría ocurrir.

Actualmente en Planta Mina Los Colorados opera con dos etapas de clasificación terciaria, en el área 52 con 5 harneros Hewitt Robins doble deck y el área 82 con 3 harneros Linatex doble deck, a continuación, en la Tabla 2.1 se presenta las características de los harneros:

Tabla 2.1 Descripción de harneros de la etapa de Clasificación Terciaria, área 52 y 82.

Área	A-52	A-82
Cantidad	5	3
Marca	Hewitt Robins	Linatex Enduron
Modelo	M-16 Vibrex	DHG24/61
Proveedor	Maestranza	Maestranza
Antigüedad	26 años	10 años
Puesta en servicio	1997	2013
N° de Deck	2	2
Largo interior	20 [pies]	20 [pies]
Ancho Interior	8 [pies]	8 [pies]
RPM	800	933
Ángulo de inclinacion	22° - 24°	5°
Capacidad Nominal	1652 [TPH]	1304 [TPH]
Capacidad Diseño	1900 [TPH]	1500 [TPH]

2.11. Toma de Muestra

La toma de muestra consiste en la recopilación de cantidades moduladas y representativas del material que se desea muestrear, para formar una muestra primaria o global, la cual luego cada muestra sea representativa compartiendo las mismas características.

Los pasos para realizar un muestreo son los siguientes:

1. Determinar el tipo de muestreo a realizar.
2. Determinación del tamaño de muestra según Pierre Gy.
3. Toma de muestra Primaria.
4. Homogenización.

5. Cuarteamiento.
6. Muestra Final.

Luego teniendo la muestra final y representativa con masa y granulometría adecuada se puede realizar los siguientes análisis y/o ensayos:

- a) Químico
- b) Mecánicos.
- c) Mineralógicos.
- d) Granulométricos.

En la muestra se debe tener en cuenta la representatividad de la muestra cumpliendo los parámetros de interés de la muestra, como:

- Densidad.
- Humedad.
- Leyes.
- Tamaño.

Los muestreos son de suma importancia en las evaluaciones de yacimientos, el control de procesos en la industrial, y la comercialización de los productos.

2.12. PI System

Compañía Minera del Pacífico en sus faenas cuenta con la herramienta de PI System para la recopilación de datos de sus procesos.

El PI System recopila, almacena y administra datos de la planta o proceso. Conecta las fuentes de datos a uno o más nodos de PI Interface. Los nodos de interfaz obtienen los datos de sus fuentes de datos y los envían al Data Archive. Los datos se almacenan en el Data Archive y se puede acceder a ellos en Asset Framework (AF). Es posible acceder a los datos directamente desde el Data Archive o desde un AF Server utilizando las herramientas de PI Visualization Suite (PVS), como PI ProcessBook. Debido a las ventajas en la capacidad de uso que presenta AF, se alienta a los usuarios a consumir datos accediendo al AF Server, en lugar de hacerlo directamente desde Data Archive. El siguiente es un diagrama de los componentes de un PI System típico:

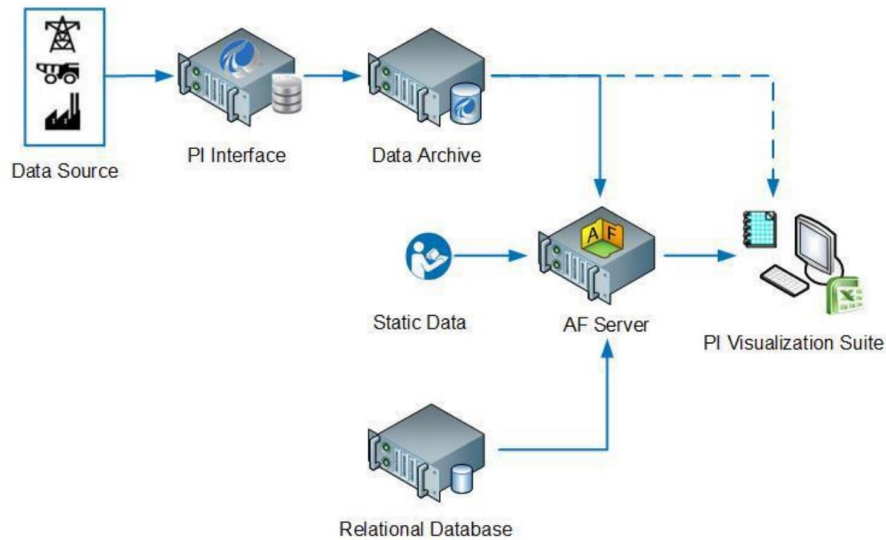


Figura 2.11 Componentes de un PI System típico.

Actualmente en Compañía Minera del Pacífico la herramienta de PI System se subdivide en PI DataLink, SEP4, SIP-R y PI Vision, para la recopilación de datos de enero a septiembre se realizó mediante la herramienta de PI DataLink (recopilación de datos del proceso de Planta de Beneficio Mina Los Colorados), SIP-R (seguimiento de datos de trenes, esta herramienta es de ingreso de datos manuales al sistema) y PI Vision (Seguimiento operacional de rendimiento y seguimiento de planes de producción).

2.12.1. PI Vision

El PI Vision es una aplicación basada en navegador web que le permite fácilmente recuperar, supervisar y analizar información de ingeniería de procesos. PI Vision le permite realizar lo siguiente:

- Buscar y visualizar series temporales u otros datos de PI System.
- Guardar pantallas para una facilitar su recuperación y posterior análisis.
- Reutilizar pantallas para varios activos.
- Ver pantallas de PI ProcessBook.
- Compartir pantallas con otros miembros de un grupo o con cualquiera que tenga acceso a PI Vision.

El PI Visión se utilizó para realizar el seguimiento operacional de rendimiento y seguimiento de planes de producción de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados. En la Figura 2.12, se muestra una pantalla del portal de PI Vision.

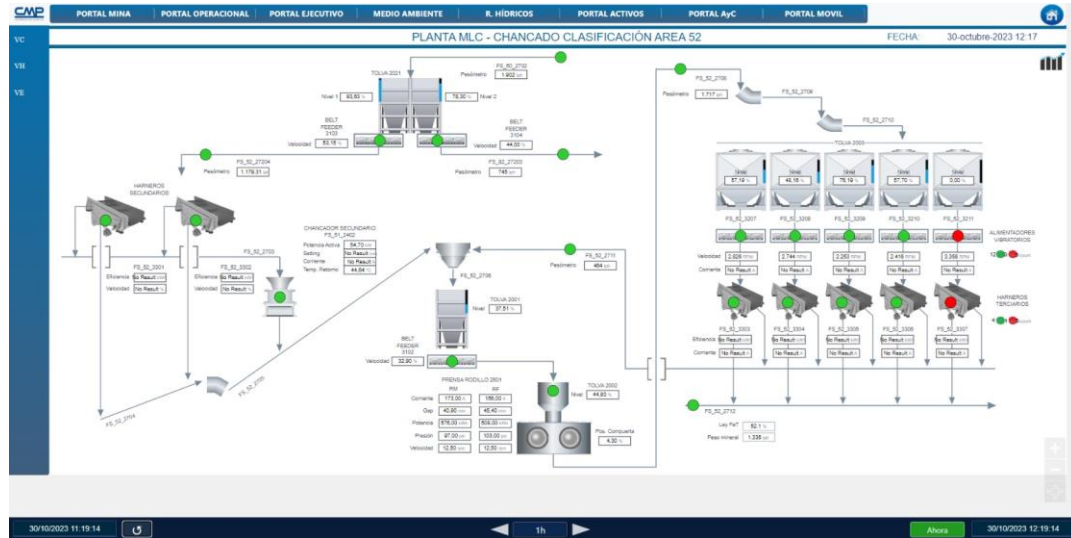


Figura 2.12 Pantalla de PI Vision del circuito del área 52.

2.12.2. PI DataLink [9]

El PI DataLink es un complemento de Microsoft Excel que permite recuperar información de su PI System directamente en una hoja de cálculo, además presenta diferentes funciones las cuales son:

- Recuperar valores de atributo AF y PI point.
- Recupere metadatos del sistema para crear una vista estructurada de datos de PI.
- Elementos de referencia que utilizan funciones de PI DataLink para calcular y filtrar datos.
- Mantener los valores actualizados cuando se recalcula la hoja de cálculo.
- Recuperar PI Event Frames.

PI DataLink proporciona una interfaz gráfica para recuperar datos y crear funciones y cálculos. Las funciones de PI DataLink están integradas en celdas de hojas de cálculo y pueden proporcionar actualizaciones activas de datos en tiempo real desde PI Server. También contiene capacidades de cálculo y formato de Excel para organizar y presentar datos de PI System que se ajusten a un propósito o audiencia.

Combinado con las capacidades computacionales, gráficas y de formato de Microsoft Excel, PI DataLink ofrece poderosas herramientas para recopilar, monitorear, analizar y generar informes de datos de PI.

Esta herramienta se utilizó para la recopilación de datos de la base de datos de Planta de Beneficio Mina Los Colorados, la figura 2.13, muestra la interfaz de PI DataLink.

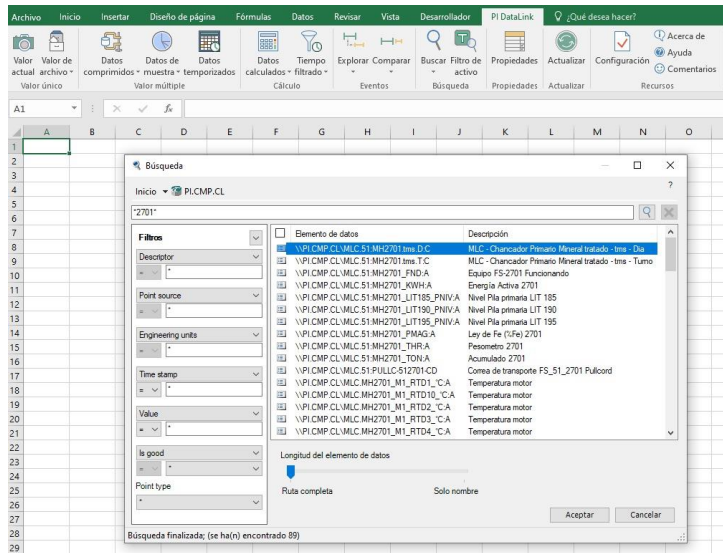


Figura 2.13 Interfaz PI DataLink

2.12.3. SIP-R

El SIP-R, es un complemento de PI DataLink, su función es la generación de reportes a partir de datos ingresados manualmente, que son almacenados en la base de datos, estos datos no se pueden almacenar el PI DataLink, dado que no son datos arrojados por un sensor enlazado a la base de datos de PI DataLink, estos datos son obtenido por medio de pruebas de laboratorio o equipos manuales.

Esta herramienta SIP-R, se utilizó para llevar el seguimiento de los trenes del preconcentrado producido en Planta de Beneficio de Mina Los Colorados con destino a Planta de Pellets. En la figura 2.14, se muestra la interfaz de SIP-R.

Reportes Laboratorio Valle Husco - Mina los Colorados

Fecha de Cargo: 30-10-2023

N° Fren	Fe	Fe (DT)	P	P (DT)	S	S (DT)	SiO ₂	SiO ₂ (DT)	V	V (DT)	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ (DT)	TiO ₂
701	65,06	71,30	0,113	0,004	0,123	0,006	4,52	0,42	0,22	0,22	0,46	0,12	0,06
703	64,84	71,44	0,113	0,005	0,142	0,011	4,78	0,37	0,22	0,22	0,56	0,29	0,24
705	64,03	71,23	0,093	0,002	0,136	0,010	3,28	0,49	0,24	0,24	1,26	0,30	0,36
707	63,43	71,06	0,095	0,002	0,127	0,008	3,94	0,47	0,26	0,26	0,64	0,23	0,34
709	63,13	71,03	0,051	0,002	0,088	0,004	3,50	0,34	0,26	0,27	0,56	0,28	0,42

Formularios

Para Date: 30-10-2023, Nueva Fe: 30-10-2023

Descripcion: FM.L. Laboratorio M.L.C. Sereva Formacion de Inhibidos

Actividad: FM.L. M.L.C. Sereva

Figura 2.14 Interfaz SIP-R

Capítulo 3 METODOLOGÍA

3.1. Recopilación de Datos

Se realizó una recopilación de datos mediante PI DataLink y SIP-R, generando una base de datos, donde se consideró:

- Tonelajes del proceso

Los tonelajes del proceso son obtenidos mediante la herramienta Pi Datalink que recopila los datos de los pesómetros ubicados en correas transportadoras estratégicas del proceso, como lo son las correas transportadoras de alimentación a las etapas de conminución, clasificación y la correa transportadora de producto que transporta el preconcentrado/Sinter Feed de ambas plantas en paralelo a la Pila de preconcentrado.

- Leyes de alimentación

Las leyes de alimentación del proceso que son obtenidas mediante análisis químico realizado a las alimentaciones desde Mina Los Colorados a Planta de Beneficio Mina Los Colorados, donde se analiza Fe, Fe (Dtt), Fe mag, P, SiO₂, SiO₂ (Dtt), Al₂O₄, y S.

- Leyes de producción

Las leyes de producción del proceso son obtenidas mediante análisis químicos realizado a los trenes despachados a Planta de Pellets, donde se analiza Fe, Fe (Dtt), Fe mag, P, SiO₂, SiO₂ (Dtt), Al₂O₄, y S.

- Granulometrías de alimentación

Las granulometrías de producción del proceso son obtenidas mediante análisis granulométrico realizado a la alimentación del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, donde se analiza +1/4", +1/8", +30#, y +100#.

- Granulometrías de producción

Las granulometrías de producción del proceso son obtenidas mediante análisis granulométrico realizado a los trenes despachados a Planta de Pellets, donde se analiza +1/4", +1/8", +30#, y +100#.

- Datos de la etapa de Clasificación Secundaria

Los datos de la etapa de Clasificación Secundaria son obtenidos por medio de la herramienta Pi Datalink, donde se recopiló el tiempo efectivo, y la cantidad de Harneros secundarios operativos.

- Datos de Chancado Secundario

Los datos de la etapa de Chancado Secundario son obtenidos de la herramienta Pi Datalink, donde se recopiló el consumo energía, y Tiempo efectivo.

- Datos de la etapa de Chancado Terciario

Los datos de la etapa de Chancado Terciario son obtenidos por medio de la herramienta Pi Datalink, donde se recopiló la Potencia del rodillo fijo, Potencia del rodillo móvil, Potencia, Consumo de energía, Presión del Lado Derecho del rodillo móvil, Presión del lado izquierdo del rodillo fijo, GAP Eléctrico del lado izquierdo, GAP eléctrico del Lado Derecho, Nivel del Tolvin, Posición de la compuerta, Velocidad del lado izquierdo del rodillo fijo, Tiempo efectivo, y Rendimiento efectivo.

- Datos de la etapa de Clasificación Terciaria

Los datos de la etapa de Clasificación Terciaria son obtenidos por medio de la herramienta Pi Datalink, donde se recopiló el Tiempo efectivo, y la cantidad de Harneros terciarios operativos.

3.2. Depuración de Datos

Se realizó una depuración de la base de datos, considerando variables normales del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, por lo que se depuró los datos siguientes:

- Datos atípicos en el proceso, tonelajes superiores a la capacidad de la correa transportadora, datos igual a 0, dato sin valor.
- Tiempos efectivos de operación inferiores a 4 [h].
- Desviación de error entre alimentación y producción mayor a 2,5%.

3.3. Muestreo

Con el fin de evaluar la carga circulante del proceso de Planta de Beneficio Mina Los Colorados, se llevó a cabo muestreos de las áreas 52 y 82, donde las muestras fueron extraídas de las principales correas transportadoras, que alimentan las distintas etapas del proceso, donde se extrajo una muestra equivalente a un metro de correa en los puntos indicados en la figura 3.1, donde el procedimiento de recopilación de muestras, se basa en extracción por paladas utilizando una pala industrial, donde el mineral dentro de un metro de la correa transportadora es almacenada en bolsas de capacidad de aproximadamente 20 [kg], que luego son recepcionadas en el laboratorio químico de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados. Cabe resaltar que el muestreo de las etapas de Clasificación III solo se recopiló muestra a modo de evaluar la etapa, no así harnero por separado, dado que Planta de Beneficio Mina Los Colorados presento en este periodo un acotado cumplimiento de producción, debido a los desafíos del plan de producción, por ende, los tiempos se limitaron para realizar cualquier tipo de detenciones no programadas en el proceso del área 52 o 82, lo que condujo a solo evaluar la eficiencia operacional y de clasificación de la etapa considerando la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria de ambas áreas del proceso, resaltando la evaluación de la eficiencia de clasificación del producto del bajo tamaño de la etapa. Los puntos de muestreo se pueden apreciar en la figura 3.1 y explicados a continuación.

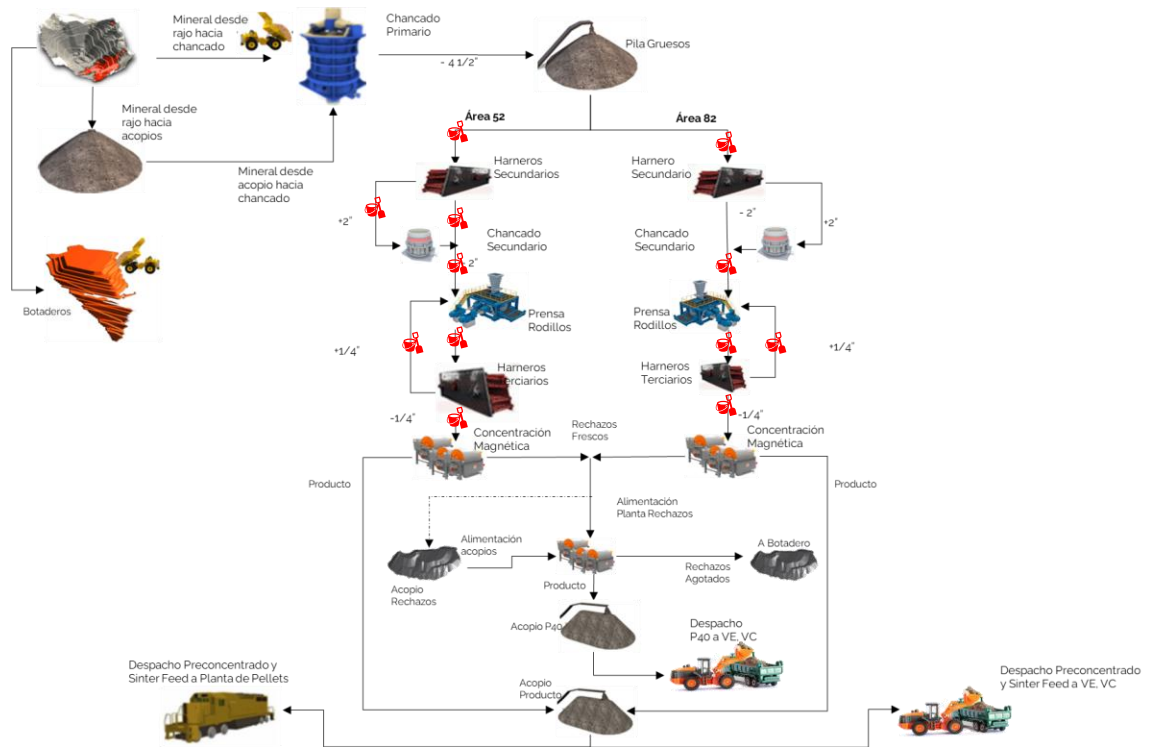


Figura 3.1 Puntos de Muestreo

3.3.1. Muestreo área 52

El muestreo del área 52 se realizó el 05 de agosto de 2023, considerando una alimentación al proceso de una ley de fe de 41%, donde se muestreo la etapa de Chancado Secundario, Clasificación Secundario, Chancado Terciario y Clasificación Terciaria:

- Muestreo Clasificación Secundaria, el muestreo de la etapa se realizó extrayendo una muestra a la alimentación en la correa transportadora 27204, al sobre tamaño en la correa transportadora 2703 y al bajo tamaño en la correa transportadora 2704.
- Muestreo Chancado Secundario, el muestreo de la etapa se realizó extrayendo una muestra a la alimentación en la correa transportadora 2703 y al mineral chancado en la correa 2705.
- Muestreo Chancado Terciario, el muestreo de la etapa se realizó extrayendo una muestra de la alimentación en las correas transportadoras 2705 y 2711, luego se extrajo una muestra en la descarga del HPGR en la correa transportadora 2708.
- Muestreo Clasificación Terciaria, el muestreo de la etapa se realizó extrayendo una muestra a la alimentación en la correa transportadora 2708, en el sobre tamaño

en la correa transportadora 2711 y en el bajo tamaño en la correa transportadora 2712.

3.3.2. Muestreo área 82

El muestreo del área 82 se realizó el 02 de septiembre de 2023, considerando una alimentación al proceso de una ley de Fe de 44%, donde se muestreo la etapa de Chancado Terciario y clasificación Terciaria:

- Muestreo Chancado Terciario, el muestreo de la etapa se realizó extrayendo una muestra de la alimentación en las correas transportadoras 27206 y 27210, luego se extrajo una muestra en la descarga del HPGR en la correa transportadora 27208.
- Muestreo Clasificación Terciaria, el muestreo de la etapa se realizó extrayendo una muestra a la alimentación en la correa transportadora 27208, en el sobre tamaño en la correa transportadora 27210 y en el bajo tamaño en la correa transportadora 27211.

Además, se presentó la oportunidad de extraer una muestra el 01 de octubre de 2023, pero con una ley de Fe de 55%, que contribuiría a una posterior comparación con el muestreo anteriormente descrito del área.

3.3.3. Muestreo tolva de alimentación

El muestreo de la tolva de alimentación de las dos plantas paralelas (área 52 y 82), se realizó el 07 de octubre de 2023, donde se extrajo una muestra equivalente a un metro de correa de la correa transportadora 27203 y 27204, ambas correas son las correas de alimentación de las etapas de Clasificación Secundaria.

Cabe resaltar que dichas muestras son obtenidas en puntos estratégicos de las correas transportadoras, siendo este punto de muestreo, un tramo ideal para la ejecución de la extracción de la muestra, sin tener problema de su extracción y teniendo una muestra representativa, además de no someter a riesgos de la integridad del personal que presta apoyo a la desarrollo de los muestreos.

3.4. Determinación Granulométrica

A las muestras extraídas en las áreas 52 y 82, se le realizó análisis granulométricos, estas pruebas se realizaron en el laboratorio químico de Planta de Beneficio Mina Los Colorados, mediante el siguiente procedimiento:

1. La totalidad de las bolsas de muestra de mineral recopiladas de las correas transportadoras se agregan a un harnero Gilson durante 60 segundos.
2. Luego se pesa muestra retenida de las distintas mallas utilizadas,
3. Posteriormente se registrar en reporte de granulometría.

En tabla 3.1, se detalla las aberturas de las mallas consideradas para la realización de los granulométricos.

Tabla 3.1 Abertura de mallas ASTM

Malla	
[inch]	[um]
8	203.200
7	177.800
6	152.400
5	127.000
4	101.600
3 1/2	88.900
3	76.200
2 1/2	63.500
2	50.800
1 1/2	38.100
1	25.400
3/4	19.050
1/2	12.700
3/8	9.525
1/4	6.350
1/8	3.175
- 1/8	-3.175

3.5. Eficiencia Operacional

El primer indicativo de eficiencia de la etapa de Clasificación Terciaria es cuanto mineral en peso es clasificado en el bajo tamaño de la etapa, por lo que para calcular esta eficiencia se presenta la siguiente ecuación:

$$E_{op} = \frac{\text{Bajo Tamaño} \left[\frac{\text{ton}}{\text{turno}} \right]}{\text{Alimentación} \left[\frac{\text{ton}}{\text{turno}} \right]} \times 100$$

3.6. Eficiencia de Clasificación [10]

Debido a que el producto de la etapa de Clasificación Terciaria es el bajo tamaño, se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo:

$$E_{\text{Clasf.}} = \frac{\text{Bajo Tamaño obtenido} \left[\frac{\text{ton}}{\text{turno}} \right]}{\text{Bajo Tamaño en la alimentación} \left[\frac{\text{ton}}{\text{turno}} \right]} \times 100$$

Cabe resaltar que el tamaño evaluado con dicha expresión es de 6350 [um], debido a que es el tamaño óptimo que se busca clasificar de la etapa, para su posterior concentración en la etapa de concentración magnética.

3.7. Cálculo de la Carga Circulante

El valor de la carga circulante se calculó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$\%CC = \frac{A - BT}{BT} \times 100$$

Donde:

%CC: Porcentaje de Carga Circulante.

A: Alimentación de la etapa de Clasificación Terciaria.

BT: Bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria.

Luego utilizando dicha expresión con los flujos de las correas transportadoras de las dos áreas se tiene 2 métodos de cálculo del porcentaje de carga circulante donde:

En el Área 52, se tiene:

$$\text{Metodo 1} = \%CC = \frac{2708 - (2718 + 2720)}{(2718 + 2720)} \times 100$$

$$\text{Metodo 2} = \%CC = \frac{2708 - 2712}{2712} \times 100$$

Donde:

2708: Tonelaje totalizador en correa 2708, descarga de la etapa de Chancado III.

2718: Tonelaje totalizador en correa 2718, producto de la etapa de Concentración Magnética.

2720: Tonelaje totalizador en correa 2720, rechazo de la etapa de Concentración Magnética.

2712: Tonelaje totalizador en correa 2712, bajo tamaño de la etapa de Clasificación III.

En el Área 82, se tiene:

$$\text{Metodo 1} = \%CC = \frac{27208 - (27216 + 27219)}{(27216 + 27219)} \times 100$$

$$\text{Metodo 2} = \%CC = \frac{27208 - 27211}{27211} \times 100$$

Donde:

27208: Tonelaje totalizador en correa 27208, descarga de la etapa de Chancado III.

27216: Tonelaje totalizador en correa 27216, producto de la etapa de Concentración Magnética.

27219: Tonelaje totalizador en correa 27219, rechazo de la etapa de Concentración Magnética.

27211: Tonelaje totalizador en correa 27211, bajo tamaño Clasificación III.

3.8. Cálculo de la Razón de Reducción

El cálculo de la razón de reducción de las etapas de Chancado Terciario se llevó a cabo mediante la siguiente expresión:

$$Rr = \frac{P_{Alimentacion}}{P_{Producto}}$$

Donde los variables de $P_{Alimentacion}$ y $P_{Producto}$ son:

$P_{Alimentacion}$ = Pasante acumulado de la alimentación.

$P_{Producto}$ = Pasante acumulado del producto.

3.9. Cálculo Área Efectiva de Harneros

El cálculo del área efectiva del harnero se llevó a cabo mediante la siguiente expresión:

$$A_E[m^2] = A_T[m^2] \times \frac{A_E[\%]}{100}$$

Donde:

A_E = Área efectiva.

A_T = Área total harnero.

El área efectiva [%] de los módulos se encuentra en ANEXO D.

Finalizando el Capítulo 3, cabe destacar que, obtenidos los resultados de los análisis granulométricos de las muestras recientes, se llevó a cabo una comparación con muestreos antiguos, se evaluó la eficiencia de las etapas del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados. se realizó la depuración de los datos recopilados mediante la herramienta PI DataLink, adicionalmente se desarrolló un balance de masas de los tonelajes de las principales correas transportadoras del proceso, teniendo en consideración un error máximo de desviación de 2,5 [%] y alimentaciones con minerales con textura Diseminada y/o Brechosa, además de considerar solo datos con hora efectiva de operación mayor a 4 [h] esta comparación y depuración de datos es detallada a continuación en el Capítulo 4.

Capítulo 4 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

A comienzos del año 2023, se ha evidenciado una disminución de alimentación de mineral de alta ley (Macizo) según planificado del Budget 2023, además de una disminución del mismo mineral en la planificación de Budget del año 2024, lo que se traduce en una disminución en la alimentación de campañas de mineral de alta ley (Macizo) al proceso de Planta de Beneficio Mina Los Colorados, dada esta condición, se ha reflejado en el proceso un aumento de carga circulante presentando en algunas circunstancias una disminución de producción de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.

Debido a esto, se recopiló y analizó los flujos de tonelajes de cada turno de las etapas del proceso de Planta de Beneficio Mina Los Colorados mediante Pi DataLink, además de realizar cálculos y analizar la carga circulante del circuito de Chancado Terciario y Clasificación Terciaria de las dos plantas en paralelo (área 52 y 82), donde se evaluó el tonelaje de la descarga de la etapa de Chancado Terciario, el sobre tamaño y bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria. Lo que se analizará y discutirá a continuación en el capítulo.

Comenzando con el análisis de la carga circulante, la figura 4.1 grafica la carga circulante en el periodo de enero hasta septiembre del presente año 2023, que demuestra valores de carga circulante superiores al Target de 40%, dicho target está definido por las granulometrías de diseño, dado que en porcentajes de eficiencia operacional de la etapa de Clasificación Terciaria, en un proceso óptimo la carga circulante no debiera superar un 40% de carga circulante, dado que se grafica una constante superación del target de 40% generando una variabilidad en la carga circulante en la etapa de Chancado y Clasificación Terciaria de ambas plantas. Además, cabe resaltar la tendencia de disminuir la Carga circulante en algunos tramos, pero todo esto está sujeto al aumento de mineral de alta ley con el fin de cumplir con los desafíos del plan de producción de 2023, esto se refleja a partir del mes de mayo que tiene una tendencia a la baja en la carga circulante hasta el mes de septiembre, pero sin embargo se sigue teniendo valores de carga circulante alta, superando el target ideal de 40% en ambas plantas, teniendo valores más alto en el área 82 en comparación con el área 52.

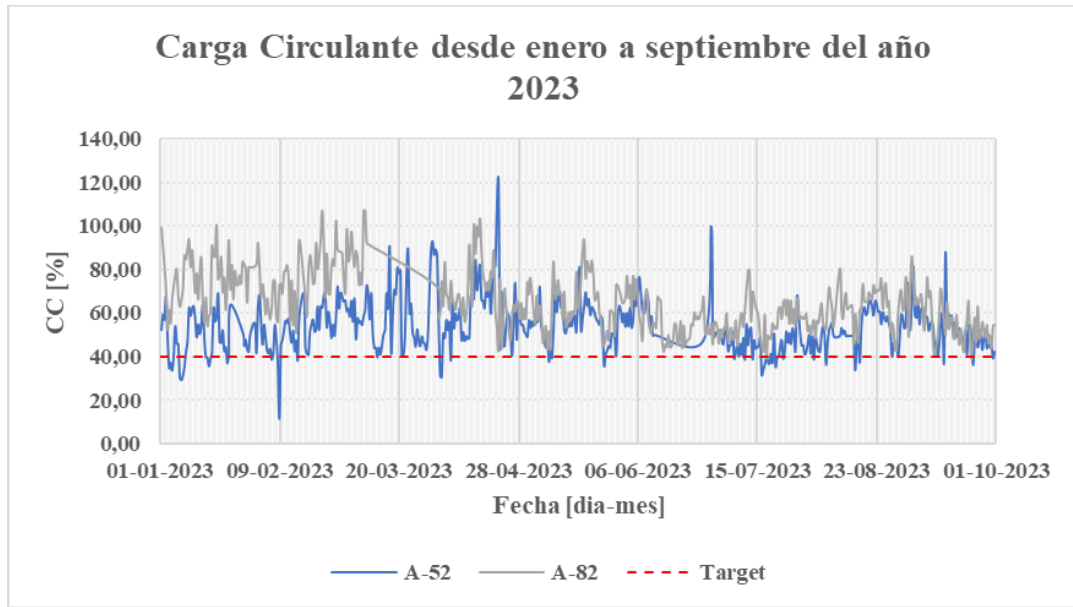


Figura 4.1 Carga circulante desde enero a septiembre del año 2023.

Posteriormente, se realizó una depuración de los datos, lo cual evidenció una tendencia para cada una de las texturas que alimentan desde Mina Los Colorados a Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, la depuración de los datos se realizó considerando una eliminación de datos atípicos en las diferentes etapas del proceso de ambas plantas, además de un balance del flujo de toneladas de las principales correas, donde se consideró un error con desviación igual o inferior a 2,5%, además de considerar un tiempo efectivo de operación mayor a 4 [h] en la etapa de Clasificación Terciaria de ambas plantas.

Luego de realizar la depuración de datos, se realizó un análisis por área y por textura de alimentación con respecto a la carga circulante.

En las figuras 4.2 y 4.3, se graficó los datos depurados evaluando las texturas de alimentación con respecto a la carga circulante en ambas áreas, donde se evidencia una tendencia de altas cargas circulante en minerales de textura Diseminada y/o Brechosa en ambas áreas, mientras que la textura maciza presenta una tendencia de menores cargas circulante, cabe destacar que se aprecia una disminución en las cargas circulantes de ambas áreas desde mayo en adelante, esto debido a un aumento en las calidades de alimentación, además se aprecia una alta variabilidad de la carga circulante cuando se alimenta una textura Brechosa, esto debido a que varía la ley de Fe en ella, cuando se tiene una alimentación de mineral Brechoso con baja ley de Fe, tiende generar la misma carga

circulante que un mineral diseminado, pero cuando se alimenta un mineral Brechoso con alta ley de Fe, la carga circulante disminuye asimilándose a valores de carga circulante de minerales de textura maciza.

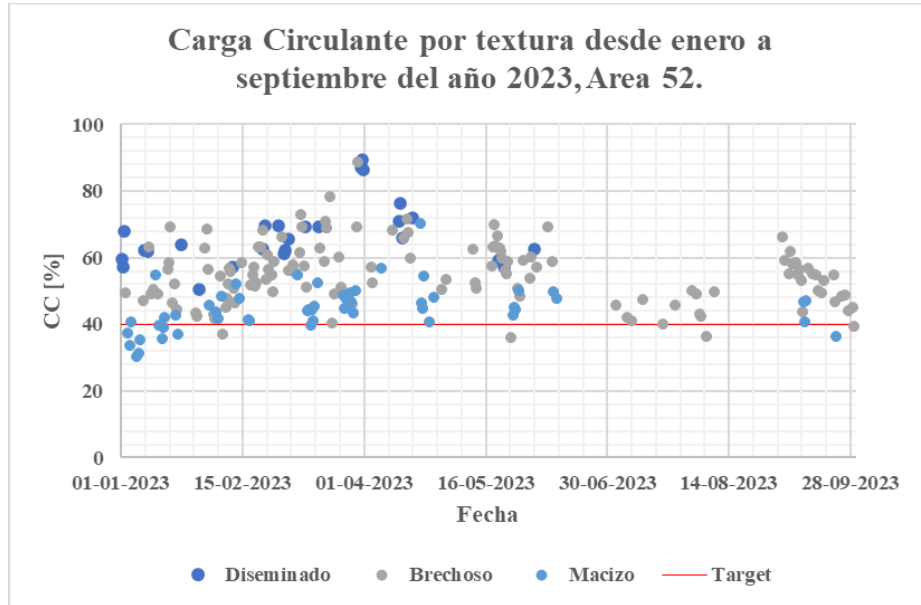


Figura 4.2 Carga circulante por textura desde enero a septiembre del año 2023, área 52.

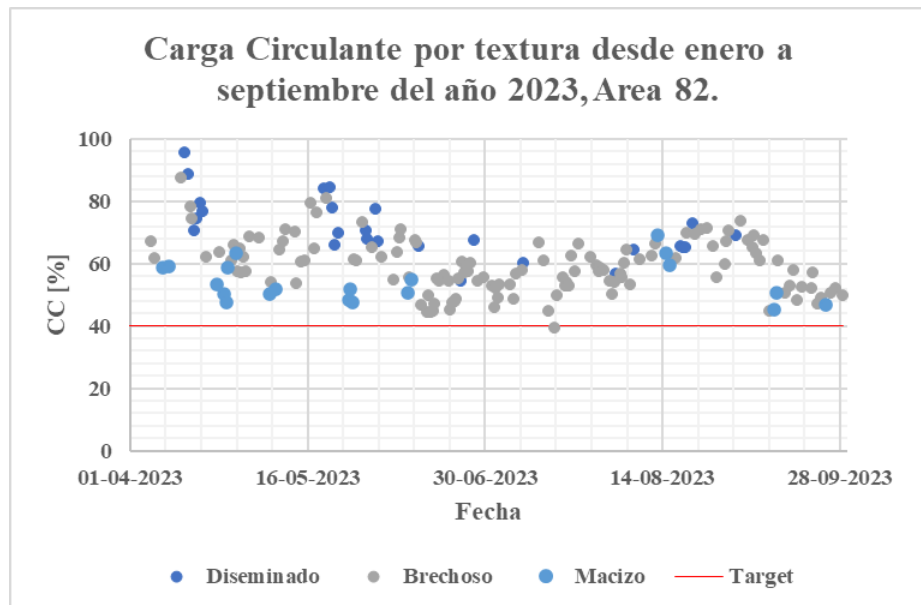


Figura 4.3 Carga circulante por textura desde enero a septiembre del año 2023, área 82.

En la figura 4.4, se grafica los promedios de carga circulante por diferente textura, donde evidencia una mayor carga circulante cuando se alimenta un mineral de textura DIS y/o BRE.

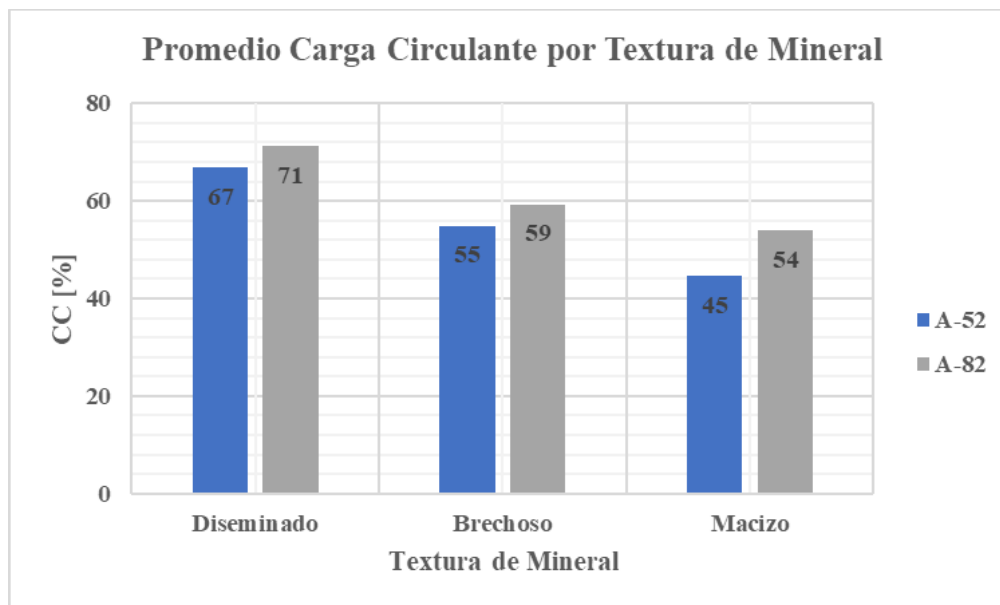


Figura 4.4 Promedio de carga circulante por texturas de mineral.

Continuando con el análisis de la carga circulante, se realizó un análisis estadístico, adjuntado en ANEXO A, donde los datos recopilados se agruparon en 10 grupos con la misma cantidad de datos, lo que generó grupos con sus respectivos rangos de ley, en la tabla 4.1 se especifica los grupos en cada área y su rango de ley de Fe.

Tabla 4.1 Grupos por rango de ley de Fe, área 52 y 82.

Grupo	Area 52	Area 82
	Rango ley	Rango ley
1	31 - 44	26-41
2	44 - 47	41-44
3	47 - 49	44-47
4	49 - 52	47-49
5	52 - 54	49-52
6	54 - 56	52-55
7	56 - 58	55-57
8	58 - 59	57-58
9	59 - 61	58-60
10	61 - 65	60-65

Utilizando los grupos mencionados anteriormente, se realizó un análisis estadístico a la carga circulante y a la granulometría del bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria por medio de la utilización del software Minitab, considerando que el Target ideal de la carga circulante es igual a 40% y el target ideal de granulometría de tamaños mayores a 6.350 [um] es igual a 5%.

En el figura 4.5, se graficó la carga circulante con la mediana de los subgrupos de leyes de Fe utilizando la herramienta de gráfica de series de tiempo de Minitab, donde el área 52 grafico una tendencia de mayor carga circulante cuando se alimenta una ley de Fe menor a 55%, mientras que cuando se alimenta mineral con mayor de 55% de ley de Fe, la carga circulante tiende a ajustarse al Target esperado de 40% de carga circulante en la etapa.

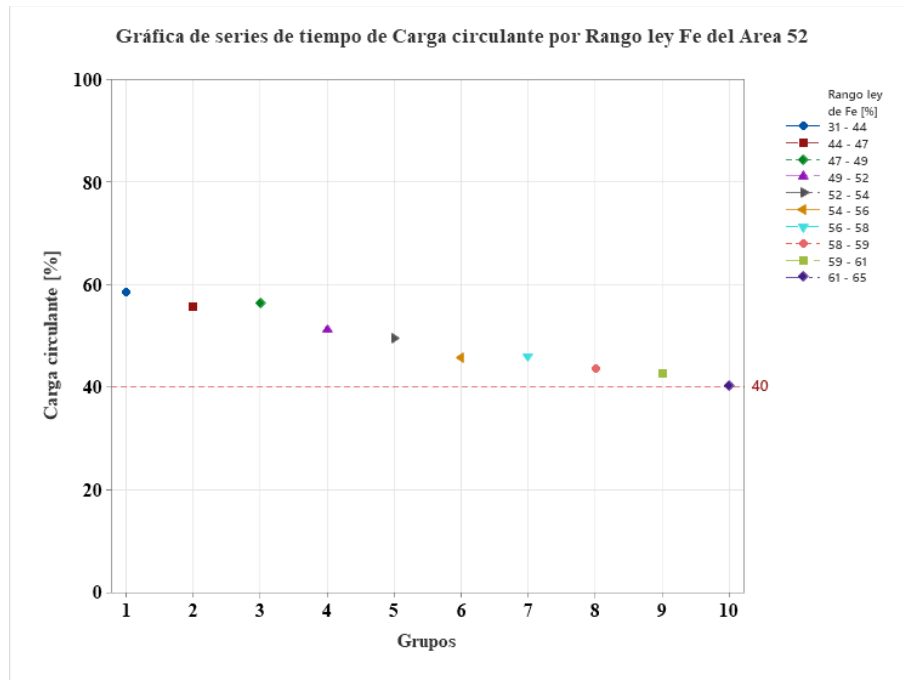


Figura 4.5 Gráfica de series de tiempo de carga circulante por rango ley Fe del área 52.

En el figura 4.6, se graficó la carga circulante con la mediana de los subgrupos de leyes de Fe, utilizando la herramienta de gráfica de series de tiempo, el área 82 presento al igual que el área 52 una tendencia de aumentar la carga circulante de la etapa cuando se alimenta ley de Fe inferior a 52%, además de tener una tendencia de ajuste al target ideal de carga circulante de 40% cuando se alimentan leyes altas de Fe superiores a 60%.

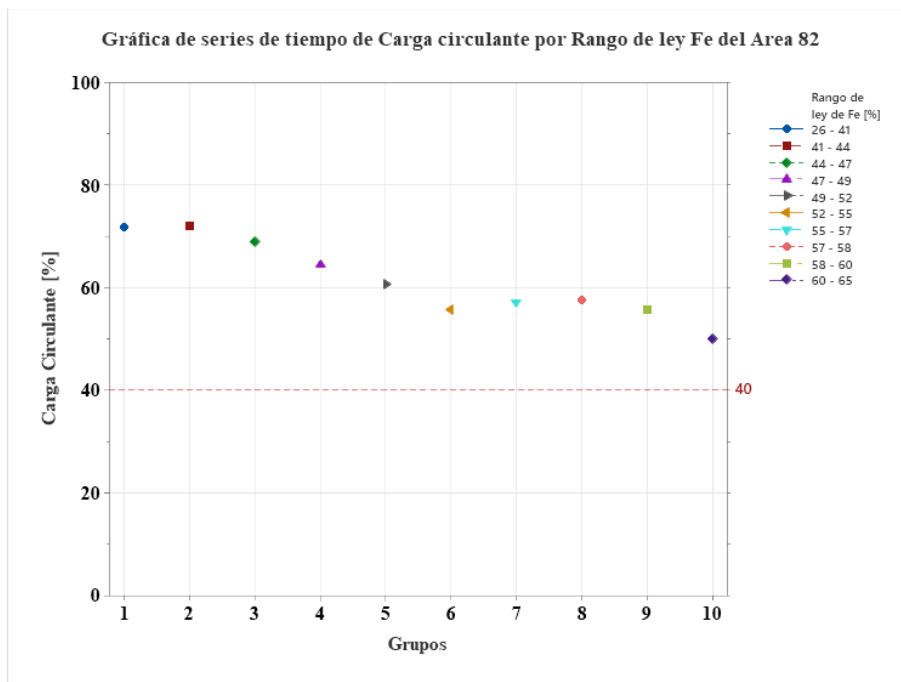


Figura 4.6 Gráfica de series de tiempo de carga circulante por rango ley Fe del área 82.

De lo comentado anteriormente de la figura 4.6 y 4.7, evidencia una variable significativa en el aumento de la carga circulante, dado que en minerales de menor ley se presentan textura DIS y/o BRE, estas texturas se componen de magnetita y de otros minerales como lo son la pirita, actinolita, apatito, clorito, limonitas, mientras que el mineral de alta ley se presenta la textura MAS, esta textura se compone casi en su totalidad de magnetita, lo que indicaría que en minerales de textura DIS y/o BRE se presentan una diversidad de minerales dificultando la fractura de las partículas, lo que se comentara posteriormente en el análisis de la figura 4.12 de la descarga de la etapa de Chancado Terciario.

En el figura 4.7, se graficó el porcentaje de tamaños mayores a 6350 [um] clasificados en el bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria del área 52, utilizando la herramienta de gráfica de series de tiempo del software Minitab, se demuestra una alta eficiencia de clasificación de la etapa, debido que el valor ideal de tamaños mayores a 6.350 [um] es de 5% y los valores graficados tienden a ajustarse a dicho valor ideal, no obstante en leyes superiores a 59% de Fe, se grafican porcentajes de tamaños mayores a 6.350 [um] mayores a 5%, pero además se debe considerar un target máximo de 6%, por lo cual el mineral clasificado en la etapa de Clasificación Terciaria del área 52 esta cumplimiento con la granulométrica exigida para la etapa siguiente de Concentración Magnética.

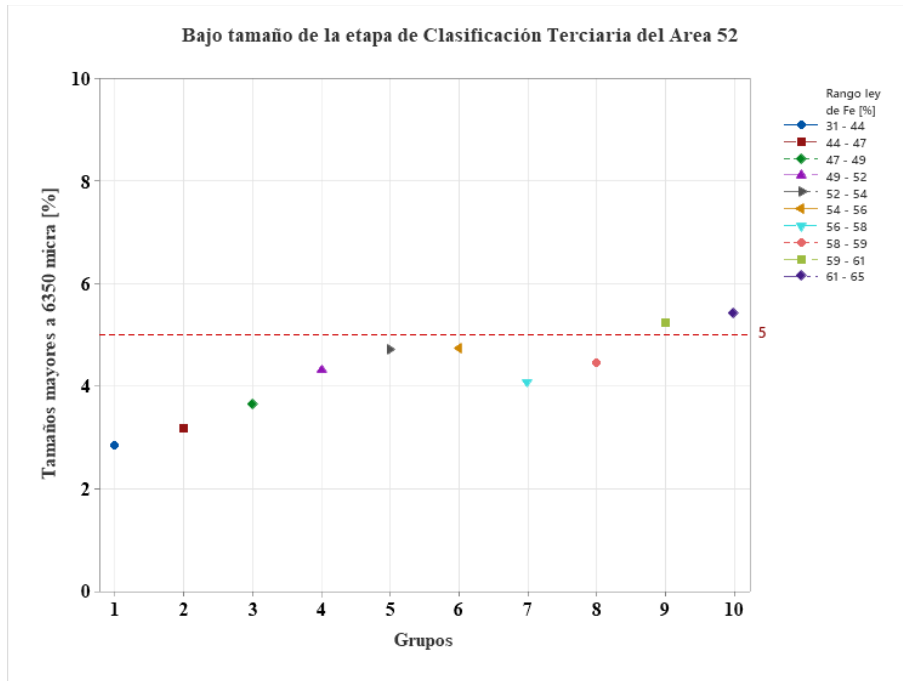


Figura 4.7 Bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria del área 52.

En el figura 4.8, se graficó el porcentaje de tamaños mayores a 6350 [um] clasificados en el bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria del área 82, utilizando la herramienta de gráfica de series de tiempo, se observa que el área 82 al igual que el área 52 presenta una eficiencia de clasificación que cumple con el porcentaje ideal de tamaños mayores a 6.350 [um] en la etapa, dado que minerales con leyes superiores a 59% de Fe presentan un mayor porcentaje de tamaños mayores a 6.350 [um], pero estos porcentajes son inferiores a 6%, por lo que cumplen con lo que está establecido en la etapa, mientras que el resto de minerales con ley inferior a 59% de Fe, presentan porcentajes inferiores al valor ideal de 5% de tamaños inferiores a 6.350 [um], por lo tanto el mineral clasificado en la etapa de Clasificación Terciaria del área 82 cumple con la granulométrica exigida para la etapa siguiente de Concentración Magnética.

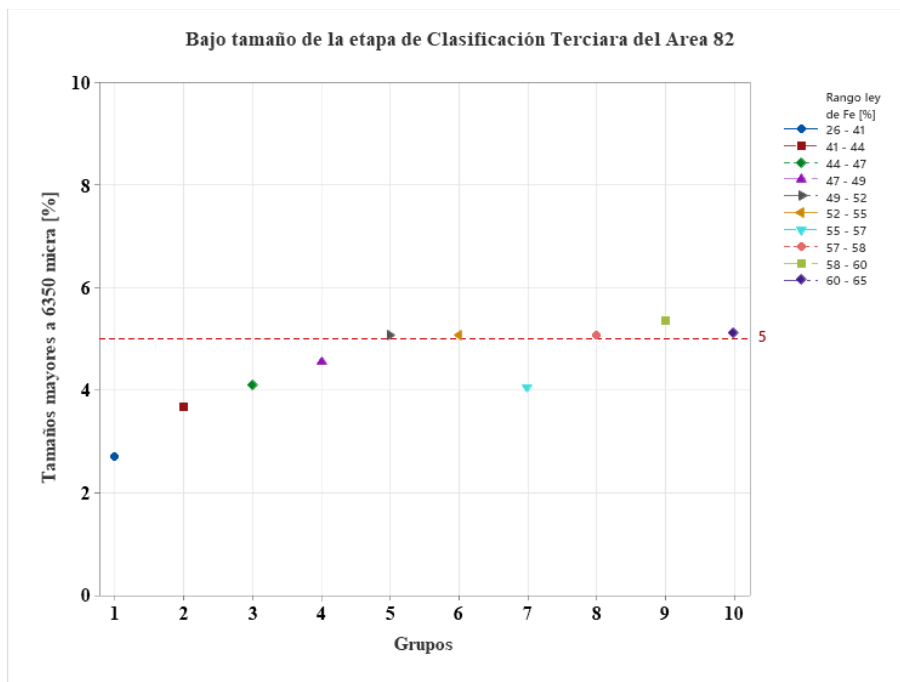


Figura 4.8 Bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria del área 82.

Por lo anteriormente analizado, se consideró analizar la eficiencia de la etapa de Clasificación Terciaria cuando se alimentó mineral con ley de Fe de textura Diseminada y/o Brechosa.

Por consiguiente, se calculó y analizó la eficiencia operacional y de clasificación de tamaños inferiores a 6.350 [um] de la etapa de Clasificación Terciaria de ambas plantas (área 52 y 82), dichos cálculos se realizaron considerando los pasantes acumulados de las distribuciones granulométricas obtenidas de un muestreo anteriormente realizado en el mes de abril, el cual se consideró como un muestreo antiguo, mientras que los muestreos recientemente realizados en el mes de agosto, septiembre y octubre fueron considerados como muestreos recientes, Cabe resaltar que estos muestreos recientes no estaban planificados dentro del Budget de 2023, debido a esto se dificultó la detención del proceso para la realización de los muestreos, sujeto a esta limitante no se logró realizar una recopilación de muestras al proceso global de las dos áreas considerando el mismo tipo de campaña de alimentación como lo fue cuando se realizó el muestreo en abril, donde se obtuvo una muestra de cada etapa del proceso con la misma ley de alimentación, por lo tanto se determinó la realización de muestreos con alimentaciones de leyes similares en

campañas de alimentación de minerales de texturas Diseminadas y/o Brechosa para ambas áreas.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se realizó el cálculo y análisis de las eficiencias de la etapa de Clasificación Terciaria de ambas plantas (área 52 y 82), se llevó a cabo un análisis de las distribuciones granulométricas de la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria calculando la eficiencia operacional y la eficiencia de clasificación de tamaños menores a 6.350 [um], cabe recalcar que para este análisis, se tomó en consideración el análisis granulométrico del muestreo antiguo realizado el día 13 de abril de 2023 (muestreo de ambas áreas), mientras que para los análisis recientes se consideró el muestreo realizado el día 05 de agosto en el área 52, el muestreo realizado el día 02 de septiembre de 2023 en el área 82, y además un muestreo complementario del área 82 realizado el 01 de octubre de 2023, las distribuciones granulométricas de dichos muestreo se encuentran en ANEXO B.

En la figura 4.9, se grafica las eficiencias operacionales calculadas del muestreo antiguo y de los muestreos recientes, donde se demuestra una eficiencia operacional baja en el muestreo antiguo (M-antiguo) realizado en el primer semestre del año, dado que dicho muestreo global en la etapa de Clasificación Terciaria de ambas áreas presentaron una eficiencia inferior a 67%, siendo esta eficiencia la ideal de la etapa calculada por la distribución granulométrica de diseño, mientras que en el segundo semestre ambas áreas aumentaron la eficiencia operacional ajustándose a la eficiencia ideal de 67%. Cabe recordar que la eficiencia operacional calculada es el porcentaje de toneladas de mineral que se clasifica en el bajo tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria.

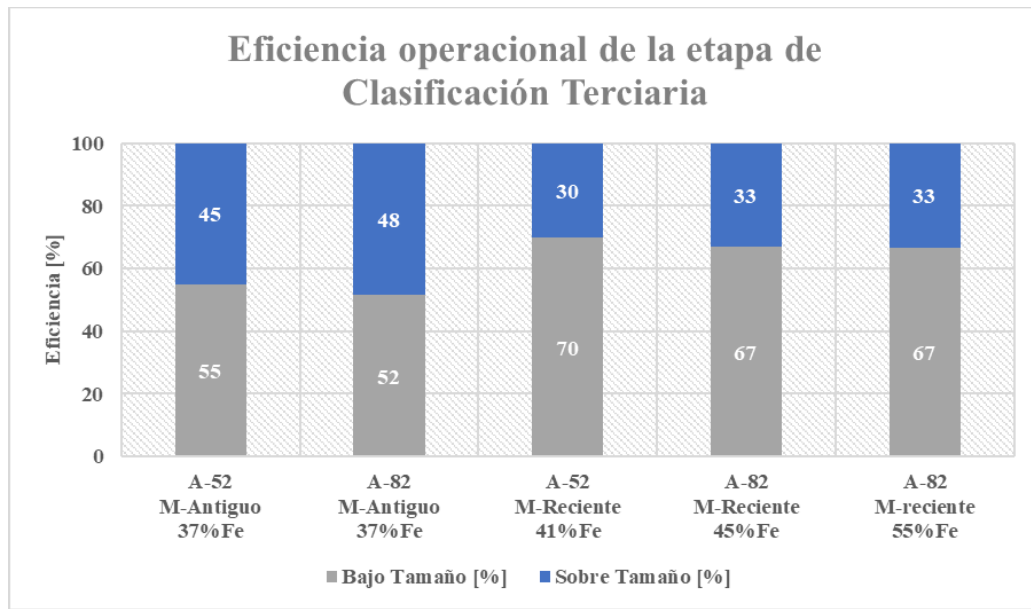


Figura 4.9 Eficiencia operacional de la etapa de Clasificación Terciaria

Continuando con el análisis de la Eficiencia de clasificación de la etapa de Clasificación Terciaria, donde se calcula la cantidad de mineral que se clasifica en el bajo tamaño de la etapa cumpliendo con la granulometría de tamaños inferiores a 6.350 [um], cabe resaltar que la eficiencia de clasificación ideal es de 95% de tamaños inferiores a 6.350 [um]. Además, considerando que la configuración del segundo deck de los harneros presentan una diversidad en módulos, ya que se utiliza en la mayoría de los harneros sobre la excitatriz módulos de 7.000x7.000 [um] y bajo la excitatriz módulos de 10.000x10.000 [um], estas configuraciones se utilizan en la búsqueda de cumplir con los tamaños de partículas exigidas en el preconcentrado y Sinter Feed transportado a Planta de Pellet.

En el figura 4.10, se grafica las eficiencias calculadas de los muestreos realizados en los meses de agosto a octubre y el muestreo global realizado en abril, dicho muestreo global evidencia en ambas áreas eficiencias de clasificación de tamaños inferiores a 6.350 [um] ajustadas a la eficiencia ideal de 95%, mientras que el muestreo reciente del área 52 tuvo un aumento de 2%, aumentando a un 96% de eficiencia de clasificación, y el área 82 tuvo una disminución de la eficiencia de clasificación a un 81% generando un aumento en los tamaños inferiores 6.350 [um] del recirculante, evidenciando un déficit en la eficiencia de clasificación de la etapa, además el cálculo de la eficiencia de clasificación de tamaños inferiores a 6.350 [um] del muestreo complementario realizado en octubre con una ley de 55% de Fe presento una mayor eficiencia de clasificación de 94%.

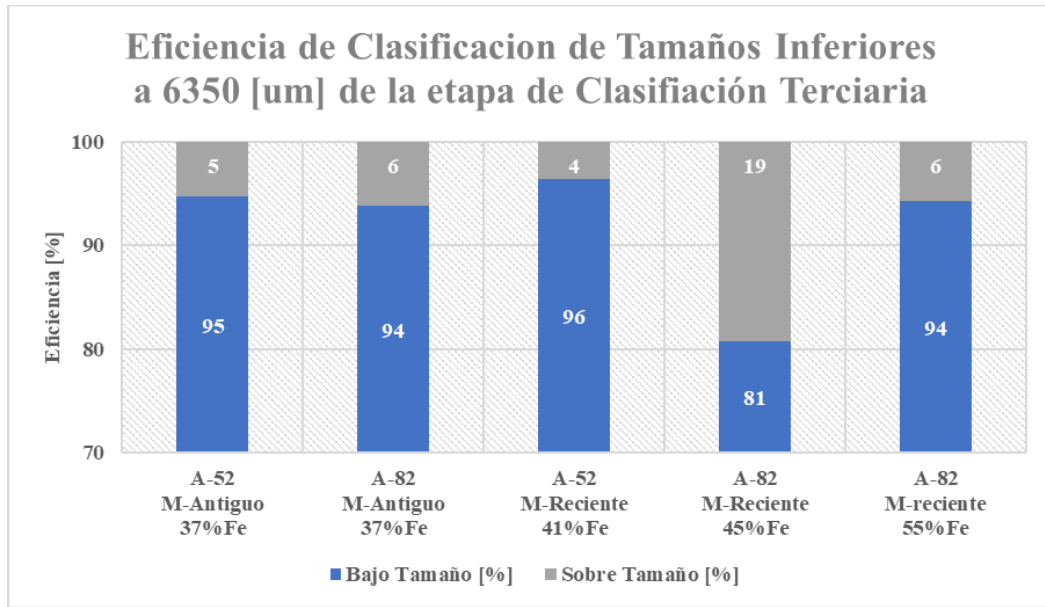


Figura 4.10 Eficiencia de clasificación de tamaños inferiores a 6350 [um] de la etapa de Clasificación Terciaria.

Dado que la eficiencia operacional y la eficiencia de clasificación de tamaños inferiores a 6.350 [um] de la etapa de Clasificación Terciaria resultaron estar dentro de valores aceptables de operación, además de los análisis estadísticos de la etapa de Clasificación Terciaria, donde se aprecia una variabilidad en los tamaños con respecto los distintos grupos de rangos de leyes, se realizó un análisis complementario a las granulometrías de las etapas que anteceden a la etapa de Clasificación Terciaria. Buscando evaluar el comportamiento del tamaño de mineral que ingresa a la etapa de Clasificación Terciaria.

Debido a lo comentado anteriormente, se realizó un análisis a la etapa de Chancado Terciario, donde se analizó la distribución granulométrica de alimentación y descarga de la etapa de los muestreos mencionados anteriormente.

En el figura 4.11, se grafica la distribución granulométrica de la descarga de la etapa de Chancado Terciario de los muestreos realizados, donde se demuestra un desajuste a la curva de la distribución granulométrica de diseño de la etapa en minerales de textura Brechosa y/o Diseminada, no obstante en la curva granulométrica del último muestreo que presenta un mayor ajuste a la curva granulométrica de diseño, además presenta un ajuste en la cantidad de tamaños inferiores a 6.350 [um] que alimentan la etapa de Clasificación Terciaria, ya que un 67% es el porcentaje óptimo de alimentación de tamaños inferiores a 6.350 [um].

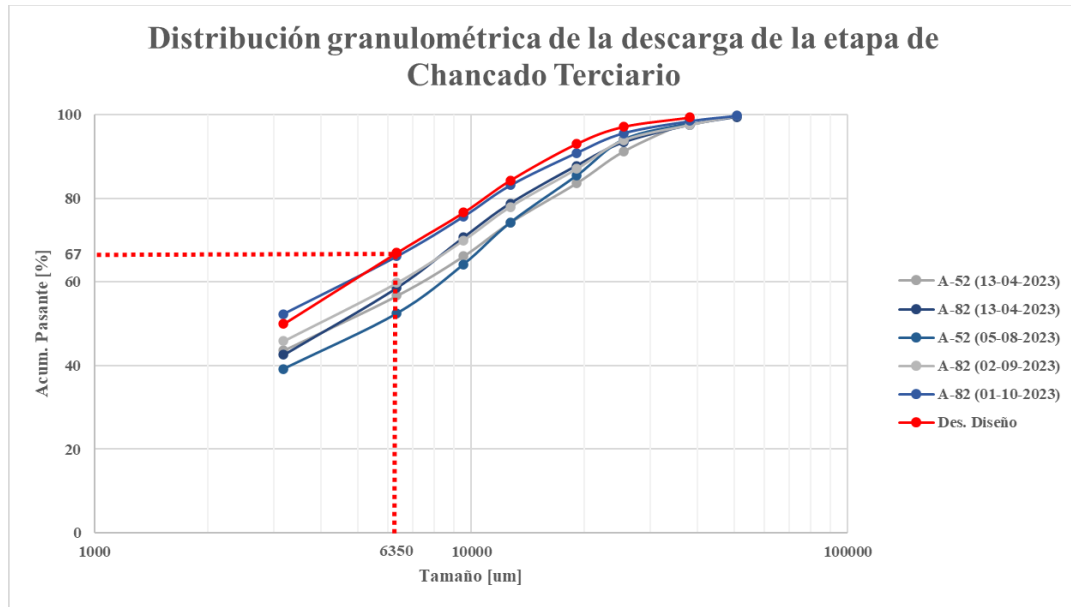


Figura 4.11 Distribución granulométrica de la descarga de la etapa de Chancado Terciario.

Además, de lo analizado en la figura 4,11 y 4.10 se demuestra la relación entre la eficiencia de clasificación de la etapa de Clasificación Terciaria y los tamaños de partícula de la descarga de la etapa de Chancado Terciaria, ya que se tiene eficiencia de clasificación por sobre el 94%, pero se mantienen cargas circulante sobre el target de 40%, evidenciando que la carga circulante está compuesta por tamaños superiores a 6.350 [um], dado esto refleja la baja disminución de tamaños en los minerales que son alimentados en la etapa de Chancado Terciario. Debido a esto se analiza a continuación la alimentación de la etapa de Chancado Terciario compuesta por la suma del sobre tamaño de la etapa de Clasificación Terciaria más la suma de la descarga de la etapa de Chancado Secundario y el bajo tamaño de la etapa de Clasificación Secundaria.

Complementariamente al análisis, se relaciona el tamaño crítico que se alimenta a la etapa de Clasificación Terciaria, donde se presentan bajos porcentajes de tamaños entre 10.000 a 7.000 [um], además que en el proceso actual no se evidencio problemas de taponamiento de módulos, por lo que esta variable no tendría influencia en la carga circulante.

En el figura 4.12, se grafica la distribución granulométrica de la alimentación de la etapa de Chancado Terciario, donde se demuestra el desajuste en las curvas granulométricas de los muestreos en comparación con la curva granulométrica de diseño, ya que se presenta un aumento de la brecha entre la curva granulométrica de diseño y muestreo, entre los

tamaños de 12.700 [um] a 38.100 [um], mientras que la alimentación de la etapa debería cumplir con una granulometría de pasante acumulado del 80% igual a 26.750 [um], esta condición solo sucede en el área 52 dado que presenta un mayor ajuste a este tamaño, lo que evidencia una mayor cantidad de gruesos en la alimentación en el área 82 en comparación con el área 52.

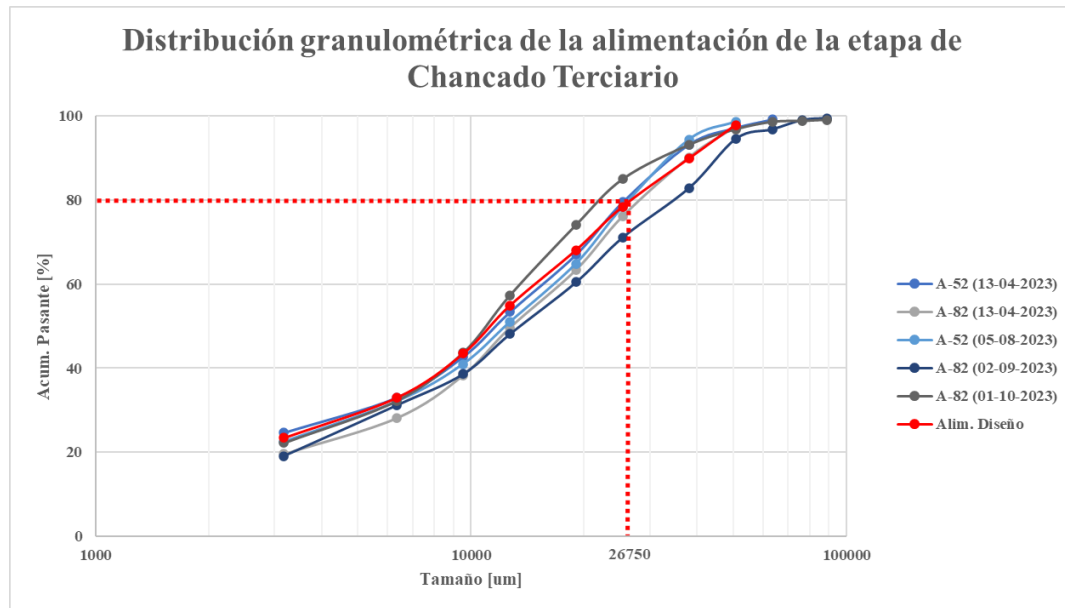


Figura 4.12 Distribución granulométrica de la alimentación de la etapa de Chancado Terciario.

De lo abordado anteriormente en la figura 4,11 y 4,12, donde se analizaron los tamaños de la alimentación y descarga de la etapa de Chancado Terciario, se evidencia según las distribuciones granulométricas una baja conminución en la etapa, esta se demuestra en la figura 4.13, donde se realiza el cálculo de la razón de reducción en el 80% pasante de alimentación y descarga de la etapa de Chancado Terciario, evidenciando bajas razones de reducción en la etapa, esta podría estar asociada a que en minerales de menor ley de texturas DIS y/o BRE existe una mayor cantidad de tipos de minerales lo que influiría en el índice de fractura del mineral, lo que impactaría en la disminución de tamaños de estos provocando un aumento de tamaños gruesos en la etapa de Clasificación Terciaria, lo cual conllevaría al aumento de la carga circulante.

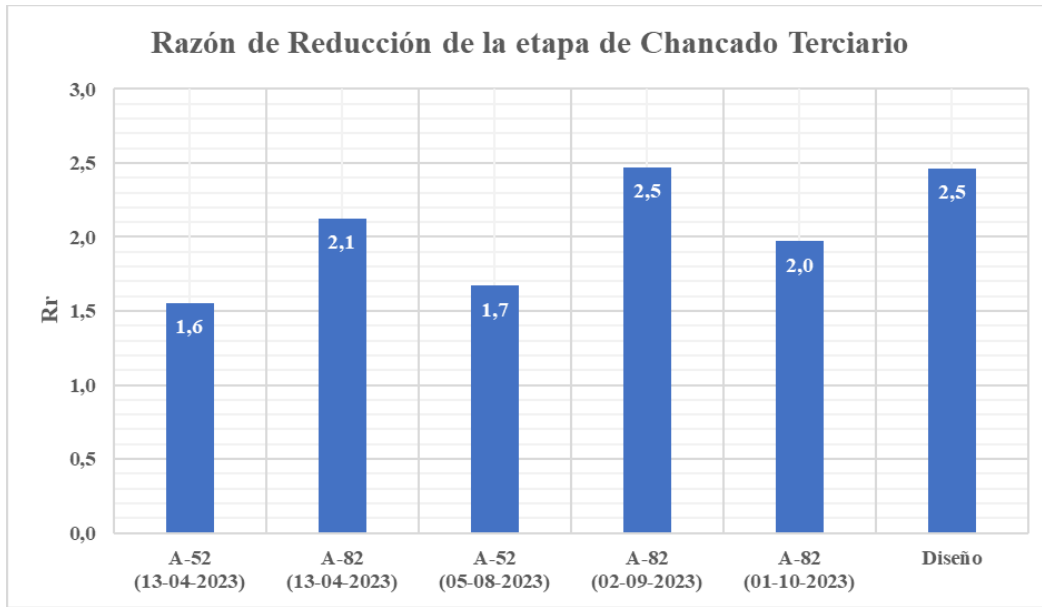


Figura 4.13 Razón de reducción de la etapa de Chancado Terciario.

Debido al análisis de las curvas granulométricas de los muestreos realizados de la etapa de Chancado Terciario, se evidencio una variabilidad entre los tamaños alimentados a la etapa, dado este hallazgo, se realizó un análisis a las curvas granulométricas de los muestreos realizados a la etapa de Chancado Secundario, cabe recalcar que solo se realizó el análisis a las curvas granulométricas de la etapa de Chancado Secundario del área 52, ya que el área 82 no cuenta con un punto de muestreo de la alimentación de la etapa, debido a esto, se limitó el muestreo de la etapa y del análisis de Chancado Secundario de la área 82.

En el figura 4.14, se grafica la curva granulométrica de la descarga de la etapa de Chancado Secundario de diseño y de los muestreos realizados, donde se observa una mayor cantidad de tamaños finos en la curva granulométrica de los muestreos realizados en comparación con la curva granulométrica de diseño, mientras que en los tamaños gruesos mayores a 19.050 [um] de los muestreos, presentan una disminución en la brecha en comparación con los tamaños gruesos de la curva granulométrica de diseño, dado esto se aprecia un ajuste en el pasante acumulado de 80% de 38.100 [um].

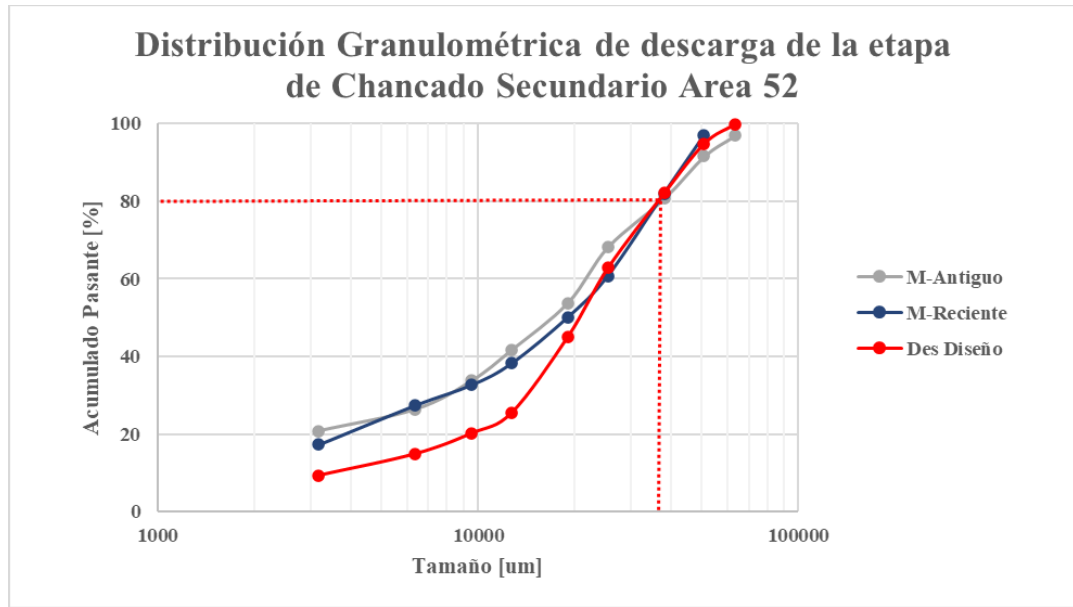


Figura 4.14 Distribución granulométrica de descarga de la etapa de Chancado Secundario del área 52.

En el figura 4.15, se grafica la curva granulométrica de la alimentación de la etapa de Chancado Secundario de diseño y de los muestreos realizados, demostrando una diferencia entre las curvas granulométricas de los muestreos y un desajuste en comparación a la curva granulométrica de diseño, lo cual evidencio un mayor porcentaje de tamaños finos en la alimentación de la etapa de Chancado Secundario.

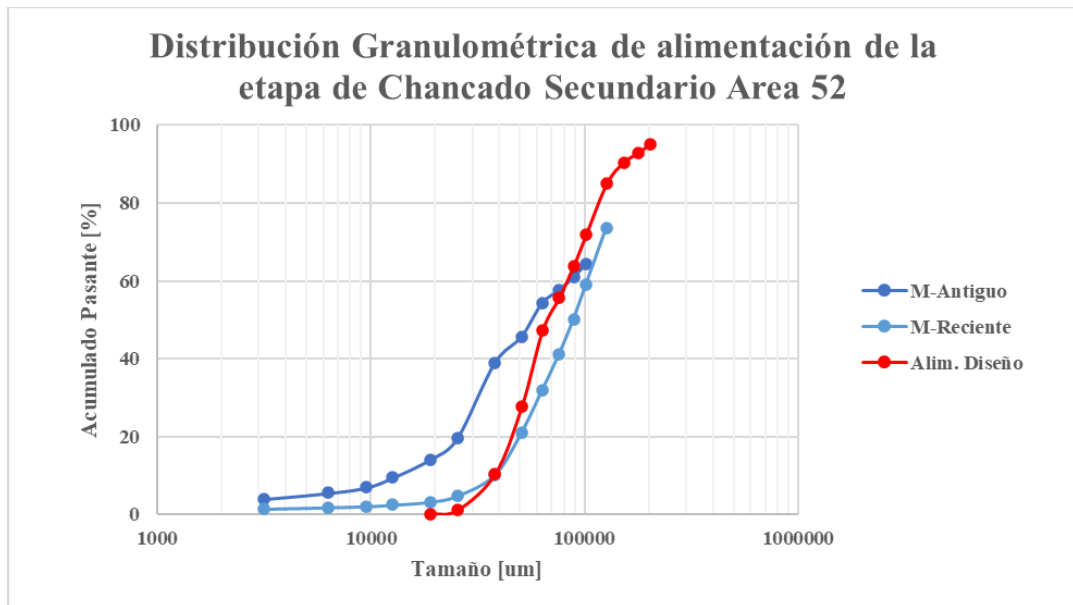


Figura 4.15 Distribución granulométrica de la alimentación de la etapa de Chancado Secundario del área 52.

Dado el análisis anterior, donde se evidencio una diferencia en los tamaños de alimentación de la etapa de Chancado Secundario, se realizó un análisis a la tolva de alimentación de ambas plantas (área 52 y 82), por lo que se evaluó la descarga de la tolva de alimentación, evaluando la correa transportadora 27203 (alimentación área 82) y la correa transportadora 27204 (alimentación área 52).

En el figura 4.16, se grafica la descarga de la Tolva de alimentación del área 52 y 82, donde se evidencia una diferencia en las curvas granulométricas de los muestreos y un desajuste en comparación con la curva granulométrica de diseño, no obstante el muestreo realizado al área 52 en el segundo semestre del presente año presenta un mayor ajuste en el acumulado pasante del 68% de un tamaño de 51.000 [um], mientras que al analizar los muestreos recientes realizados en agosto y septiembre a ambas áreas se evidencia una mayor cantidad de tamaños gruesos en el área 82 con un 60% de tamaños mayores a 51.400 [um], mientras que en el área 52 presento un 30% de tamaños mayores a 51.400 [um].

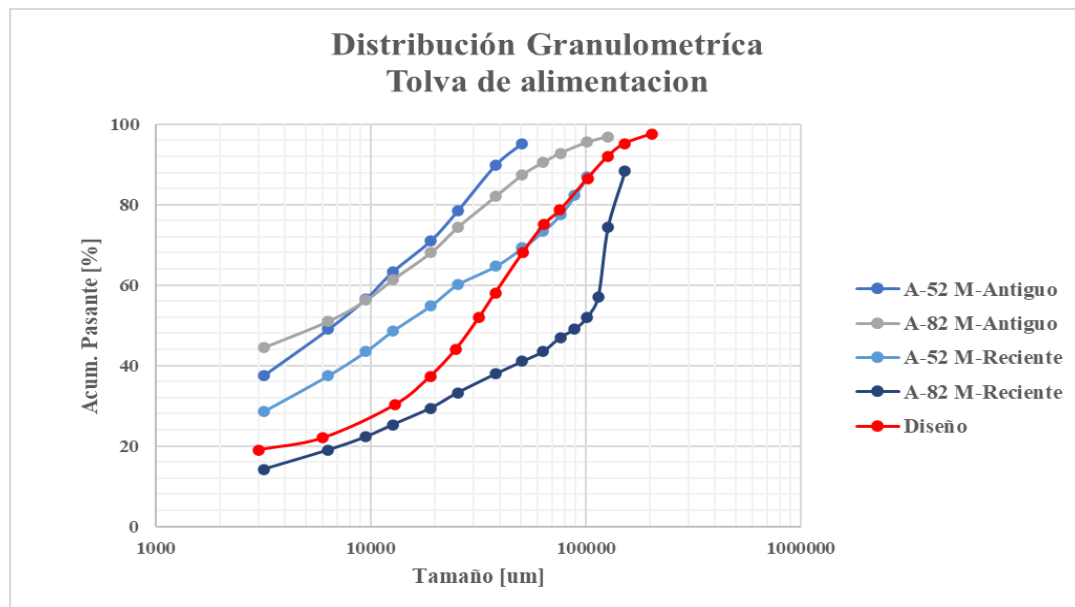


Figura 4.16 Distribución granulométrica de la tolva de alimentación.

Posteriormente del analisis de las eficiencias y granulometrias calculadas y recopiladas, se analizó la configuracion de modulos de los harneros que componen la etapa de Clasificacion Terciaria en ambas areas 52 y 82, donde se aprecia una diferencia en configuracion de modulos de los harneros, esto se debe al desafio de cumplir con la

granulometria que se exige en el producto de la planta, donde dicho producto debe tener un porcentaje inferior a 5% de tamaños superiores a 6350 [um], los harneros de ambas areas contienen un deck superior con modulos de 19.000x19.000 [um] que cumple la funcion de limpieza de tamaños gruesos, y otro deck inferior que cumple la funcion de clasificar el mineral buscando un tamaños inferiores a 6.350 [um], la configuracion de modulos del deck inferior utiliza modulos de 9000x9000 [um] y otros de 7000x7000 [um], dichas configuraciones de modulos de los harneros se encuentran en ANEXO C.

La explicacion de las diferentes configuraciones de modulos de los harneros que componen la etapa de Clasificacion Terciaria en ambas areas del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, se debe a la busqueda operacional del cumplimiento de la granulometria de las etapas porteriores, cabe resaltar que no se presento la oportunidad de un muestreo por harnero, por lo que no se analizo la eficiencia de clasificacion de cada configuracion de modulos, pero sin embargo dado que se cumple con el tamaño de particula exigida por la etapa posterior, se aprecia que un descuido en el cambio de modulos en mal estado influiria en la disminucion de la eficiencia de clasificacion de la etapa.

En la figura 4.17, se grafica el area efectiva de cada harnero de la etapa de Clasificacion Terciaria de ambas areas, donde se evidencia una diferencia entre ambas areas, dado que los harneros del area 82 presentan areas de 5,3 a 4,9 [m²], mientras que en area 52 presenta menores areas de 3,7 a 3,5 [m²], esta diferencia de area efectiva puede estar definida por la diferencia de tonelaje que es alimentado a ambas areas, pero sin embargo por lo analizado anteriormente esta variable no tiene impacto en la carga circulante, ya que lo analizado anteriormente, demostro que la carga circulante esta constituida casi en totalidad de tamaños superiores a 6.350 [um] y el bajo tamaño de la etapa contiene tamaños inferiores a 6.350 [um].

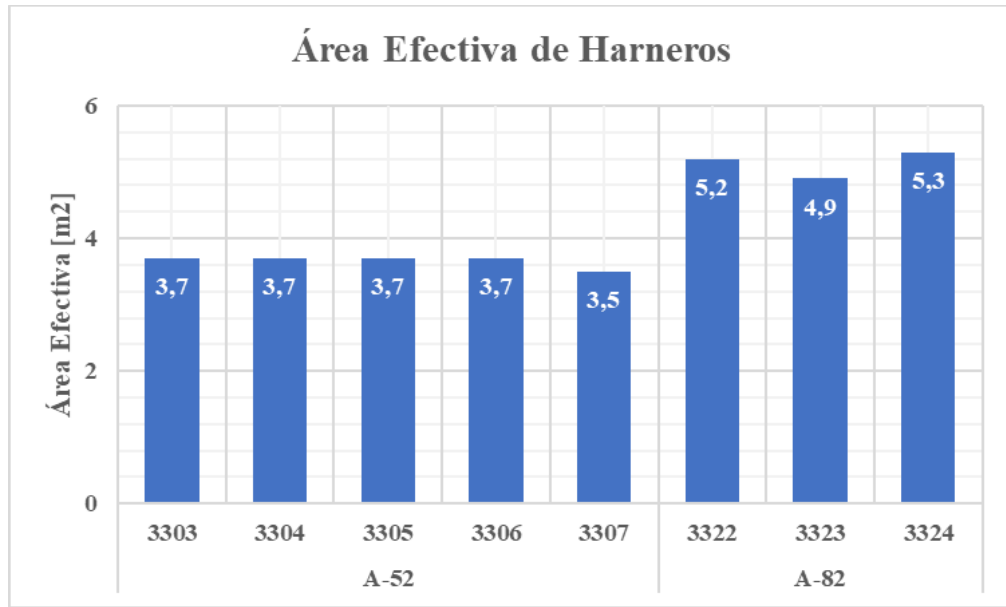


Figura 4.17 Área efectiva de harneros de etapa Clasificación Terciaria

Capítulo 5 CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de este trabajo, donde se analizó los datos recopilados y la eficiencia de la etapa de Clasificación Terciaria, además de un análisis complementario a las distribuciones granulométricas de las etapas que anteceden a la etapa de Clasificación Terciaria, se finaliza este trabajo concretando cada objetivo específico, además de lograr cumplir con el objetivo general planteado al inicio del trabajo.

Comenzando con la recopilar y analizar los datos existentes y recientes de las etapas del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados, se encontró que a distintas campañas de alimentación se presentan distintos valores de carga circulante en ambas áreas del proceso, evidenciando un aumento de la carga circulante en campañas de alimentación de texturas DIS y/o BRE, mientras que en campañas de MAS la carga circulante presenta bajos valores de carga circulante viéndose reflejado en la adherencia al target de 40%. Sin embargo, existe una notoria diferencia entre áreas, ya que el área 52 independiente de la textura presenta valores menores de carga circulante en comparación con el área 82.

Continuando con el análisis de los muestreos existentes y recientes, se evidencia que la eficiencia operacional y de clasificación de la etapa de Clasificación Terciaria son operacionalmente aceptables, ya que en ambas áreas el bajo tamaño contiene sobre el 94% de tamaños inferiores a 6.350 [um], por lo que relacionando la eficiencia de clasificación y la distribución granulométrica de la descarga de la etapa de Chancado Terciario, evidencia un déficit en la conminución en la etapa de Chancado Terciario, este déficit podría estar asociado a los minerales contemplan las texturas DIS y/o BRE, dado que por los resultados obtenidos en dichas texturas se tiene una variabilidad en los tamaños gruesos en la descarga de la etapa de Chancado Terciario lo que genera un aumento en la carga circulante.

Dado los resultados obtenidos y analizado en el Capítulo 4, se puede concluir que las variables de la etapa de Clasificación Terciaria que influyen en la carga circulante son:

- Textura del mineral de alimentado al proceso, esta variable es un indicativo actualmente, ya que debido que cuando se alimentan texturas DIS y/o BRE, y ya que estas contienen una menor ley de Fe, la carga circulante aumenta

considerablemente a valores críticos, sobrepasando el 70%, mientras con la textura MAS, se alimenta alta ley de Fe, lo que refleja una notoria disminución de la carga circulante, ya que en algunos casos la carga circulante tiende a igualar el valor ideal de 40%. Por lo que un posible estudio del comportamiento de las etapas de conminución con distintas texturas conllevaría una optimización al proceso y una disminución en los tamaños que se alimenta a la etapa de Clasificación Terciaria, por ende, se podría disminuir la variabilidad en la carga circulante del proceso.

- Tamaño de partícula, dado que se evidenció que la Carga Circulante está constituida alrededor de un 95% de tamaños superiores a 6.350 [um], por ende se está cumpliendo con la granulometría de producto de la etapa y teniendo una eficaz clasificación de tamaños gruesos, entonces al evaluar una alimentación con una mayor cantidad de tamaños de partículas inferiores a 6.350 [um] y manteniendo la alta eficiencia de clasificación de tamaños inferiores a 6.350 en el bajo tamaño de la etapa, se tendría una disminución de minerales clasificados en el sobre tamaño, por ende, provocaría una disminución del mineral recirculado disminuyendo la carga circulante del proceso de Planta de Beneficio de Mina Los Colorados.
- Abertura de módulos, la variable de la abertura de los módulos de los decks de los harneros de la etapa de Clasificación Terciaria, tiene un papel fundamental en la clasificación de los tamaños en la etapa, por lo que un mal control de los módulos que se reponen variaría o mantendría el área de clasificación del harnero, lo que afectaría en la eficiencia de la etapa por ende influiría en la Carga circulante.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CMinero. (s. f.). CMP. Consejo Minero. <https://consejominero.cl/nosotros/socios/cmp/>
- [2] Valle del Huasco - CAP Minería. (s. f.). <https://web.archive.org/web/20150723020849/http://www.capmineria.cl/operacione/valle-del-huasco/>
- [3] Wills, B. A. (2013). *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier.
- [4] Gupta, A., & Yan, D. S. (2006). *Mineral Processing Design and Operation: An Introduction*. Elsevier.
- [5] G.A. Gault, Process Control Lecture Series, WA. School of Mines, Kalgoorlie, Private Communication. 1984.
- [6] L. Elber, Process Control for Mineral Processing and Metallurgists and Engineers, Lecture Series, WA School of Mines, Private Communication, 1990.
- [7] Primera elección en cuanto al servicio y la tecnología de HPGR. (2010). Weir Minerals | KHD Humboldt Wedag, 1, SILO.TIPS. <https://silo.tips/download/primera-eleccion-en-cuanto-al-servicio-y-la-tecnologia-de-hpgr>
- [8] Catálogo General de Mallas Metálicas. (s. f.). Catálogo General de Mallas Metálicas, <https://www.rivet.cl/>. <http://45.79.190.236/~rivet/wp-content/uploads/2015/07/Rivet-Catalogo-Mallas.pdf>
- [9] PISquare. (s. f.). <https://osisoft.my.site.com/PISquare/s/topic/0TO1I0000000GA3WAO/pidatalink>
- [10] Kelly, E. G., & Spottiswood, D. J. (1990). *Introducción al procesamiento de minerales*.
- [11] Wills, B. A. (2006). *Mineral processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*.

ANEXOS

ANEXO A: Análisis Estadístico Etapa de Clasificación Terciaria

Carga Circulante

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la		Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				media	Desv.Est.					
26-41	91	0	73,29	1,15	10,96	43,69	66,04	71,77	80,53	96,43
41-44	91	0	71,08	1,15	10,93	43,48	63,32	71,90	77,68	99,10
44-47	91	0	69,23	1,31	12,47	29,65	60,24	69,07	77,83	99,00
47-49	91	0	65,76	1,13	10,81	44,76	58,44	64,48	72,78	107,30
49-52	91	0	61,68	1,00	9,57	40,05	54,78	60,55	68,51	83,87
52-55	91	0	57,622	0,973	9,280	33,411	50,373	55,603	63,321	85,379
55-57	90	0	57,98	1,00	9,50	35,51	51,27	57,22	64,19	82,77
57-58	91	0	57,28	1,02	9,71	38,10	49,87	57,55	62,75	81,95
58-60	91	0	56,789	0,974	9,289	34,926	49,875	55,601	61,891	84,517
60-65	87	0	51,312	0,886	8,268	28,201	46,498	50,108	57,203	80,648

Tamaños menores a 6350 [um] en bajo tamaño de Clasificación Terciaria

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la		Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
				media	Desv.Est.					
26-41	91	0	2,823	0,142	1,359	0,290	2,000	2,700	3,660	7,660
41-44	91	0	3,632	0,162	1,547	0,209	2,660	3,680	4,570	8,190
44-47	91	0	4,146	0,168	1,606	0,840	2,870	4,110	5,250	8,110
47-49	91	0	4,598	0,179	1,711	1,000	3,410	4,550	5,570	8,540
49-52	90	1	5,202	0,182	1,725	0,760	4,157	5,070	6,413	11,490
52-55	91	0	5,347	0,189	1,801	1,710	3,850	5,070	6,710	8,760
55-57	179	0	4,622	0,117	1,559	1,240	3,471	4,060	5,680	8,820
57-58	91	0	5,246	0,178	1,700	1,050	3,920	5,060	6,310	9,360
58-60	91	0	5,392	0,158	1,508	0,990	4,550	5,350	6,330	8,940
60-65	87	0	5,113	0,193	1,796	0,970	3,780	5,130	6,530	9,880

ANEXO B: Distribuciones granulométricas de muestreos antiguos y recientes.

Fecha	13-04-2023								
Área	52								
Malla [um]	Correa 27204	Correa 2703	Correa 2704	Correa 2705*	Correa 2705	Correa 2706	Correa 2708	Correa 2711	Correa 2712
203.200	100	100	100	100	100	100	100	100	100
177.800	100	100	100	100	100	100	100	100	100
152.400	100	100	100	100	100	100	100	100	100
127.000	100	100	100	100	100	100	100	100	100
101.600	100	64	100	100	100	100	100	100	100
88.900	100	61	100	100	100	100	100	100	100
76.200	100	58	100	100	100	100	100	100	100
63.500	100	54	100	97	99	99	100	100	100
50.800	95	46	100	92	97	97	100	98	100
38.100	90	39	97	81	91	93	99	98	100
25.400	78	19	87	68	80	80	91	78	100
19.050	71	14	79	54	70	67	84	60	100
12.700	63	9	69	42	60	53	74	38	100
9.525	57	7	62	34	52	43	66	20	99
6.350	49	6	53	26	44	33	57	7	89
3.175	37	4	40	21	33	25	44	3	59
-3.175	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fecha	13-04-2023						
Área	82						
Malla [um]	Correa 27203	Correa 27206	Correa 27207	Correa 27208	Correa 27210	Correa 27210	Correa 27211
203.200	100	100	100	100	100	100	100
177.800	100	100	100	100	100	100	100
152.400	100	100	100	100	100	100	100
127.000	97	100	100	100	100	100	100
101.600	97	100	100	100	100	100	100
88.900	95	100	100	100	100	100	100
76.200	93	100	100	100	100	100	100
63.500	93	100	100	100	100	100	100
50800	87	97	98	99	98	99	100
38.100	84	90	90	98	90	94	100
25.400	74	77	76	93	75	82	100
19.050	68	68	63	88	57	68	100
12..700	61	57	50	79	38	46	100

9.525	56	50	38	71	21	28	100
6.350	51	42	28	59	8	7	97
3.175	44	31	20	43	2	2	76
-3.175	0	0	0	-1	0	0	0

Fecha	05-08-2023								
Área	52								
Malla [um]	Correa 27204	Correa 2703	Correa 2704	Correa 2705*	Correa 2705	Correa 2706	Correa 2708	Correa 2711	Correa 2712
203.200	100	100	100	100	100	100	100	100	100
177.800	100	100	100	100	100	100	100	100	100
152.400	100	100	100	100	100	100	100	100	100
127.000	100	74	100	100	100	100	100	100	100
101.600	98	59	100	100	100	100	100	100	100
88.900	92	50	100	100	100	100	100	100	100
76.200	86	41	100	100	100	100	100	100	100
63.500	80	32	100	100	100	100	100	100	100
50.800	73	21	100	97	98	99	100	100	100
38.100	66	10	93	82	93	94	98	100	100
25.400	59	5	85	61	76	78	94	90	100
19.050	51	3	76	50	63	65	85	74	100
12.700	43	2	66	38	52	51	74	48	100
9.525	37	2	59	33	45	41	64	23	99
6.350	30	2	50	27	38	32	53	6	92
3.175	27	1	38	17	27	23	39	3	73
-3.175	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fecha	02-09-2023					
Área	82					
Malla [um]	Correa 27203	Correa 27206	Correa 27207	Correa 27208	Correa 27210	Correa 27211
203.200	-	100	100	100	100	100
177.800	-	100	100	100	100	100
152.400	-	100	100	100	100	100
127.000	-	100	100	100	100	100
101.600	-	100	100	100	100	100
88.900	-	99	100	100	100	100
76.200	-	98	99	100	100	100
63.500	-	95	97	100	99	100
50.800	-	92	95	100	99	100
38.100	-	77	83	98	92	100

25.400	-	62	71	94	85	100
19.050	-	51	60	87	75	100
12.700	-	42	48	78	58	100
9.525	-	36	39	70	43	99
6.350	-	29	31	60	35	90
3.175	-	20	19	46	17	70
-3.175	-	0	0	0	0	0

Fecha	01-10-2023					
Área	82					
Malla [um]	Correa 27203	Correa 27206	Correa 27207	Correa 27208	Correa 27210	Correa 27211
203.200	100	100	100	100	100	100
177.800	100	100	100	100	100	100
152.400	100	100	100	100	100	100
127.000	100	100	100	100	100	100
101.600	95	99	99	100	100	100
88.900	93	98	99	100	100	100
76.200	84	98	99	100	100	100
63.500	84	97	99	100	100	100
50.800	80	95	97	100	99	100
38.100	75	90	93	98	98	100
25.400	71	81	85	96	90	100
19.050	65	73	74	91	75	100
12.700	58	64	57	83	48	100
9.525	52	57	44	76	26	99
6.350	45	48	32	66	11	91
3.175	34	34	22	52	6	72
-3.175	0	0	0	0	0	0

Fecha	07-10-2023	
Área	Tolva de Alimentación	
Malla [um]	Correa 27203	Correa 27204
203.200	100	100
177.800	100	100
152.400	88	100
127.000	74	100
114.300	57	100
101.600	52	87
88.900	49	82

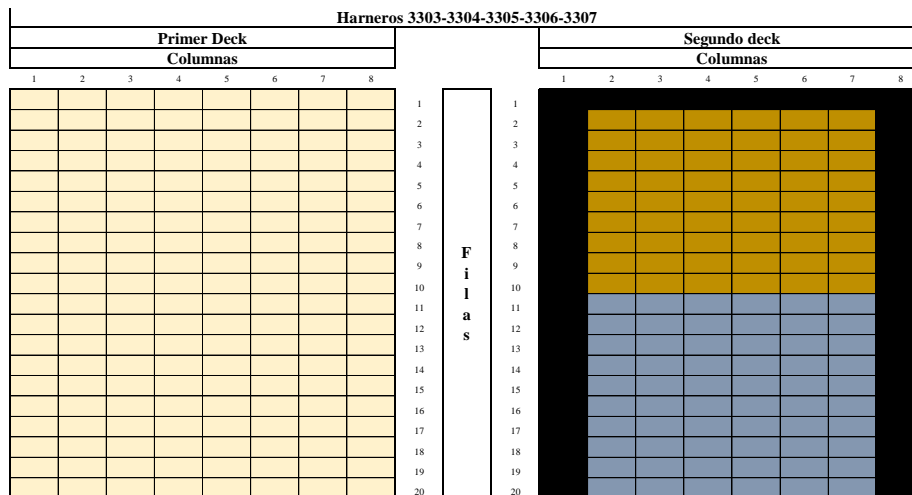
76.200	47	77
63.500	44	73
50.800	41	69
38.100	38	65
25.400	33	60
19.050	29	55
12.700	25	49
9.525	22	44
6.350	19	37
3.175	14	29
-3.175	0	0

ANEXO C: Configuración de módulos

Abertura de módulos de harneros

Aberturas de Módulos	
	7.000 [um]
	10.000 [um]
	19.000 [um]
	Ciego

Configuración de módulos de harneros del área 52



Configuración de módulos de harneros del área 82

Primer Deck								Harnero 3322								Segundo deck								
Columnas								Filas								Columnas								
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
								1																
								2																
								3																
								4																
								5																
								6																
								7																
								8																
								9																
								10																
								11																
								12																
								13																
								14																
								15																
								16																
								17																
								18																
								19																
								20																

Primer Deck								Harnero 3323								Segundo deck								
Columnas								Filas								Columnas								
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
								1																
								2																
								3																
								4																
								5																
								6																
								7																
								8																
								9																
								10																
								11																
								12																
								13																
								14																
								15																
								16																
								17																
								18																
								19																
								20																

Primer Deck								Harnero 3324								Segundo deck								
Columnas								Filas								Columnas								
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
								1																
								2																
								3																
								4																
								5																
								6																
								7																
								8																
								9																
								10																
								11																
								12																
								13																
								14																
								15																
								16																
								17																
								18																
								19																
								20																

ANEXO D: Características de Módulos

Deck Superior	
Material	PU, 85 ShA
Dimensión	305x305x36 [mm]
Abertura	19x19 [mm]
Área efectiva	32%
Diseño	Estándar Vibroplast (autolimp)

Deck Inferior	
Material	PU, 85 ShA
Dimensión	305x305x36 [mm]
Abertura	7x7 [mm]
Área efectiva	33%
Diseño	Estándar Vibroplast (autolimp)

Deck Inferior	
Material	PU, 85 ShA
Dimensión	305x305x36 [mm]
Abertura	10x10 [mm]
Área efectiva	37%
Diseño	Estándar Vibroplast (autolimp)