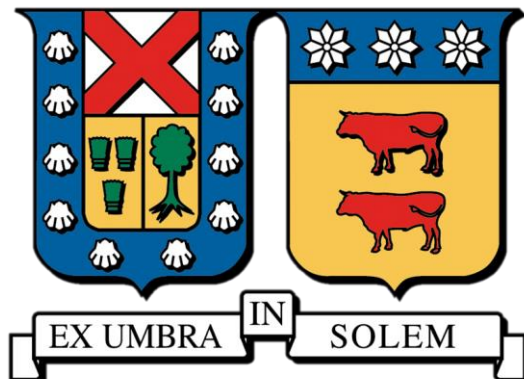


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL**



MAPA DE PROCESOS DE CHANCADO: HALLAZGOS Y OPORTUNIDADES DE  
MEJORA PARA ESTABILIZAR NIVELES DE STOCKPILE UTILIZANDO  
METODOLOGÍA DMAIC EN DIVISIÓN LOS BRONCES ANGLOAMERICAN SUR  
S.A

**JAVIERA BELÉN BASCUÑÁN ARAYA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

PROFESOR GUÍA: DANIEL RAMIREZ LIVINGSTON  
INGENIERA CO REFERENTE: NATALIA LAGOS VIVANCO

OCTUBRE 2023

## Resumen

El proyecto planteado se desarrolló en el área de Mejoramiento del Negocio de la División Los Bronces de Anglo American Sur S.A. Esta área se encarga de la mejora en las áreas de Planta, Mina y Servicios bajo el modelo de operación de Anglo American, funcionando como un soporte a la producción, realizando un trabajo transversal con las áreas operacionales con el objetivo de mantener un ciclo de mejora continua.

El análisis de desempeño de la operación para fines del año 2022 informó que un 86% de las pérdidas producidas entre la producción presupuestada a inicios de año, fueron causadas por pérdidas de rendimiento en tratamiento [tph] en el proceso de Molienda, en donde las principales causas fueron la discontinuidad de vaciado y tiempo en operación de los equipos del circuito de Molienda, con un 40% y 19%, respectivamente. Esto generó que, dentro de la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio, se generaran ciclos de Análisis y Mejora con el objetivo de estabilizar el proceso de Molienda. Dentro de estos ciclos, se evidenció la necesidad de generar una herramienta que permitiera brindar claridad sobre qué se estaba haciendo a nivel de proceso, personas y sistemas para cumplir con la expectativa del negocio.

Es por esto por lo que, se propuso como objetivo general de esta memoria generar un mapa de procesos de chancado, ya que se presentó como una oportunidad para evidenciar el flujo de decisiones a nivel de personas y sistemas e identificar los cuellos de botella que se presentaban en la operación. El propósito de dicho objetivo era generar planes de acción transversales, que no solo estuvieran enfocados a mejoras en el proceso. Esto último es importante luego de la puesta en marcha del Centro Integrado de Operación Remota (IROC) el año 2021, ya que existía la necesidad de levantar cómo se estaba realizando el flujo de comunicación, luego de la incorporación de esta nueva área y el traslado de los operadores desde las plantas a una sala de control remoto.

La metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo es la DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) de Seis Sigma, que se centra en la mejora continua de un proceso. Ésta permitió construir el mapa del proceso de Chancado, para posteriormente identificar brechas que incidieran en la estabilización los niveles de stockpile, a través de la revisión de las detenciones de las Plantas de Molienda: Los Bronces y Confluencia y un proceso de visitas a terreno a los operadores de las áreas de Despacho Mina, Chancado y Molienda para observar y plasmar el flujo de decisiones que se tomaban en la operación.

La principal brecha identificada fue una incorrecta implementación de la gestión del cambio luego de la puesta en marcha de IROC, lo cual evidenció la necesidad de mejorar la comunicación entre las áreas de Mina, Planta e IROC. El levantamiento de esta necesidad permitió generar un Taller de Claridad de Roles, en donde se pudieron generar planes de acción según criticidad de los niveles de stockpile y asignar responsabilidades al personal correcto de cada área, con el objetivo de brindar claridad de rol y mejorar la continuidad operacional.

## Índice de abreviaturas

**APC:** Control Avanzado de Procesos.

**CF:** Confluencia.

**CHP:** Chancador Primario

**CIGO:** Centro Integrado de Gestión Operacional.

**HDPE:** Polietileno de alta densidad.

**IROC:** Centro Integrado de Operación Remota.

**JdO:** Jefe de Operaciones.

**JdT:** Jefe de Turno.

**KPI:** Indicador Clave de Desempeño.

**KTPD:** Kilotoneladas por día.

**LB:** Los Bronces.

**OSS:** Open Side Setting.

**OT:** Operating Time.

**ROM:** Run Of Mine.

**SGM:** Sistema de Gestión de Mantenimiento.

**SI:** Superintendencia o Superintendente.

**STP:** Sistema de Transporte de Pulpa.

**TPH:** Toneladas por hora.

## Glosario

**Accountability:** Concepto de gestión que hace referencia a la rendición de cuentas.

**Accountable:** Rol que debe realizar la rendición de cuentas.

**Budget:** Presupuesto

**KPI:** Indicadores o valores cuantitativos que se pueden medir, comparar y monitorear, con el fin de exponer el desempeño de los procesos y trabajar en las estrategias de un negocio.

**OSS:** Indica el tamaño de abertura en la entrada del chancador.

**OT:** Es un KPI que hace referencia al tiempo operativo de un equipo y se mide en horas.

**ROM:** Hace referencia al mineral recién extraído de la mina.

**Stockpiles:** También llamado acopio de minerales a granel en pilas, es una forma económica y segura de almacenar grandes cantidades de mineral chancado ya sea grueso y/o fino. La capacidad de almacenamiento de un acopio puede alcanzar varias toneladas dependiendo de la geometría y el diseño.

# Índice

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Capítulo 1: Introducción.....                            | 9  |
| 1.1.1 | Antecedentes de la empresa.....                          | 9  |
| 1.1.2 | Antecedentes División los Bronces .....                  | 9  |
| 2     | Capítulo 2: Descripción del Proyecto.....                | 20 |
| 2.1.1 | Antecedentes del proyecto.....                           | 20 |
| 2.2   | Objetivos.....   | 21 |
| 2.2.1 | Generales .....  | 21 |
| 2.2.2 | Específicos.....   | 21 |
| 2.3   | Alcance .....  | 21 |
| 3     | Capítulo 3: Metodología.....                             | 22 |
| 3.1   | Marco Teórico.....                                       | 22 |
| 3.1.1 | Metodología Seis Sigma.....                              | 22 |
| 3.2   | Herramientas Seis Sigma a utilizar .....                 | 23 |
| 3.2.1 | Pareto .....   | 23 |
| 3.2.2 | Diagrama SIPOC .....                                     | 23 |
| 3.2.3 | Mapa de Procesos .....                                   | 24 |
| 3.2.4 | Diagrama de Ishikawa .....                               | 24 |
| 3.2.5 | 5 por qué.....   | 25 |
| 3.3   | Metodología de Trabajo.....                              | 25 |
| 3.3.1 | Definir.....   | 25 |
| 3.3.2 | Medir .....  | 25 |
| 3.3.3 | Analizar .....   | 26 |
| 3.3.4 | Mejorar .....  | 26 |
| 4     | Capítulo 4: Aplicación de la Metodología Seis Sigma..... | 27 |
| 4.1   | Contextualización de la Problemática.....                | 27 |
| 4.1.1 | Detenciones Planta Los Bronces: Molinos SAG 1 y 2.....   | 28 |
| 4.1.2 | Detenciones Planta Confluencia Molino SAG:.....          | 30 |
| 4.2   | Definición del Proyecto .....                            | 31 |
| 4.3   | Mediciones del Proyecto.....                             | 33 |
| 4.3.1 | Mediciones Proceso.....                                  | 33 |
| 4.3.2 | Mediciones Personas .....                                | 35 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.3.3 | Construcción Mapa de Procesos.....   | 37 |
| 4.4   | Análisis .....   | 42 |
| 4.4.1 | Análisis Inestabilidad en niveles de stockpile .....   | 42 |
| 4.4.2 | Análisis 5 por qué.....  | 43 |
| 4.5   | Mejoras .....  | 52 |
| 4.6   | Mejoras asociadas a gestión del cambio .....   | 52 |
| 5     | Capítulo 5: Conclusiones y Sugerencias .....   | 57 |
| 6     | Bibliografía.....  | 59 |
|       | <b>Anexos</b> .....  | 61 |
|       | Anexo A - Gráfico Desempeño de Producción División Los Bronces .....                                     | 62 |
|       | Anexo B – Encuesta de Percepción Medición Personas .....   | 63 |
|       | Anexo C - Mapa de Procesos de Chancado.....  | 64 |
|       | Anexo D - Flujograma de Operaciones Integradas: Disminución en nivel de stockpile.....                   | 65 |
|       | Anexo E - Flujograma de Trabajo de Operaciones Integradas: Evento de ingreso de bolones a chancado ..... | 66 |
|       | Anexo F - Procedimiento de limpieza de tolva de gruesos y finos Superintendencia de Operaciones .....    | 67 |
|       | Anexo H - Árbol de valor niveles de stockpile .....  | 68 |
|       | Anexo G – Planes de acción Niveles de Stockpile Planta Los Bronces y Confluencia .....                   | 69 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación Operación Los Bronces. Fuente: (Anglo American, 2012) .....   | 10 |
| Figura 2. Procesos productivos de Los Bronces. Fuente: Elaboración propia. ....   | 11 |
| Figura 3. Descripción General Proceso Mina Los Bronces. Fuente: Elaboración propia. ....  | 12 |
| Figura 4. Circuito de Chancado Primario Los Bronces y Confluencia. Fuente: (KEYPRO Ingeniería, 2022).....                       | 13 |
| Figura 5. Circuito de Molienda SAG 1 Los Bronces. Fuente: (KEYPRO Ingeniería, 2022) .....                                       | 14 |
| Figura 6. Circuito de Molienda SAG 2 Los Bronces. Fuente: (KEYPRO Ingeniería, 2022). .....                                      | 15 |
| Figura 7. Organigrama del área operacional División Los Bronces. Fuente: Elaboración propia. ....                               | 16 |
| Figura 8. Organigrama del área operacional División Los Bronces. Fuente: Elaboración propia. ....                               | 19 |
| Figura 9. Etapas de la metodología DMAIC. Fuente: (ELECTRIC, sin fecha).....  | 22 |
| Figura 10. Esquema de Diagrama de Ishikawa. Fuente: (Rojas, 2016).....  | 24 |
| Figura 11. Principales detenciones operacionales Molienda Planta Los Bronces: Molino SAG 1. Fuente: (Anglo American, 2022)..... | 28 |
| Figura 12. Principales detenciones operacionales Molienda Planta Los Bronces: Molino SAG 2. Fuente: (Anglo American, 2022)..... | 29 |
| Figura 13. Principales detenciones por consecuencia Molienda Planta Confluencia. Fuente: (Anglo American, 2022).....            | 30 |
| Figura 14. Diagrama SIPOC general del proceso de Chancado. Fuente: Elaboración propia. ....                                     | 32 |
| Figura 15. Detenciones operacionales Chancador Primario 1 y 2. Fuente: (Anglo American, 2022).....                              | 34 |
| Figura 16. Matriz de conformidad de clientes. Fuente: Elaboración propia. ....  | 36 |
| Figura 17. Diagrama de Ishikawa para inestabilidad en niveles de stockpile. ....  | 42 |
| Figura 18. Análisis 5 por qué: Causa Raíz 1. ....   | 43 |
| Figura 19. Análisis 5 por qué: Causa raíz 2.....  | 45 |
| Figura 20. Análisis 5 por qué: Causa raíz 3.....  | 47 |
| Figura 21. Análisis 5 por qué: Causa raíz 4.....  | 48 |
| Figura 22. Análisis 5 por qué: Causa raíz 5.....  | 49 |
| Figura 23. Análisis 5 por qué: Causa Raíz 6. ....   | 50 |
| Figura 24. Matriz RACI niveles de stockpile. ....   | 53 |
| Figura 26. Desempeño producción división Los Bronces, 2022. Fuente: (Anglo American, 2022).....                                 | 62 |
| Figura 27. Mapa de procesos de Chancado. ....   | 64 |
| Figura 28. Flujograma IROC: Disminución en nivel de stockpile.....  | 65 |
| Figura 29. Procedimiento de limpieza de tolva de gruesos y finos de chancador. ....   | 67 |
| Figura 30. Árbol de valor niveles de stockpile. ....  | 68 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 31. Acciones de control Nivel Stockpile Los Bronces.....  | 69 |
| Figura 32. Acciones de control Nivel Stockpile Confluencia. .... | 69 |

## **Índice de Tablas**

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Tabla de Satisfacción del Cliente. Fuente: Elaboración propia..... | 36 |
| Tabla 2: Descripción de Matriz RACI.....                                    | 52 |

## 1 Capítulo 1: Introducción

### 1.1.1 Antecedentes de la empresa

Anglo American es una compañía minera fundada en 1917 por Sir Ernest Oppenheimer, con sede en Londres, Reino Unido. La compañía se dedica a la exploración, extracción, procesamiento y comercialización de cobre, hierro, níquel, platino, carbón térmico y metalúrgico y diamantes, entre los más destacados, siendo la mayor productora de platino en el mundo. Sus principales operaciones se encuentran en África, Asia, Australia, Norteamérica, Europa y Sudamérica. (Anglo American, 2021)

El propósito de la compañía es re-imaginar la minería para mejorar la vida de las personas, manteniendo la sintonía con las demandas y expectativas del entorno, y transformar la minería a favor de un futuro más seguro, inteligente y sostenible. (Anglo American, 2022)

Para alcanzar este propósito, se define un plan de acción para el futuro de la compañía, denominado como Future Smart Mining™, el objetivo es que todas sus operaciones mineras sean más seguras, más sustentables y eficientes, además de conseguir una mayor armonía con las necesidades de las comunidades donde operan. (Anglo American, 2018)

El negocio del cobre ayuda a satisfacer la alta demanda en los países en vías de desarrollo, que se espera aumente a medida que las nuevas economías maduran y sus consumidores demandan productos que dependen del cobre. Como parte de dar continuidad en el mundo a la compañía, la unidad de negocios en Chile se organiza sobre la base la sociedad anónima cerrada: Anglo American Sur S.A, la cual tiene intereses en cuatro operaciones de cobre en Chile, en las cuales se produce concentrado de cobre, cátodos de cobre y productos secundarios asociados, tales como molibdeno y plata, manteniendo el objetivo de desarrollar y operar operaciones mineras duraderas, rentables, social y ambientalmente responsables. La compañía es propietaria de un 50,1% de las operaciones Los Bronces, El Soldado y la fundición Chagres y también tiene una participación del 44 % en la mina Collahuasi. (Anglo American, 2022)

### 1.1.2 Antecedentes División los Bronces

Los Bronces es un yacimiento cuprífero localizado a 65 km al noreste de la ciudad de Santiago, en la cuenca alta del Río Mapocho, a una altura máxima de 3.900 m.s.n.m, que se explota a rajo abierto. El clima es en general el de cordillera media templada, con precipitación de nieve en invierno y nevadas ocasionales y ligeras en verano, con temperaturas que varían entre -14°C en invierno y 18°C en verano. División Los Bronces posee 2 plantas de Molienda: Los Bronces y Confluencia, alimentadas desde la mina con minerales sulfurados, con presencia de Cu y Mo cercano al 1% y 0,02% respectivamente. Las plantas de Molienda procesan aproximadamente 60 y 87 kt/d, respectivamente, enviando como pulpa desde los espesadores (54% de sólido) el mineral hacia la planta de flotación Las Tórtolas mediante el mineroducto perteneciente a la Superintendencia de Transporte de Pulpa (STP). (KEYPRO Ingeniería, 2022)

En el mismo sitio, el mineral oxidado es tratado en dos plantas de lixiviación y SX-EW donde se producen cátodos de cobre por electro-obtención. La operación Los Bronces comprende 3 áreas geográficas (Anglo American, 2012), las cuales pueden ser observadas en la Figura 2 (Anglo American, 2012):

- **Área Los Bronces:** Localizada a 3.500 m.s.n.m. en la zona cordillerana de la Región Metropolitana, en la provincia de Santiago, comuna de Lo Barnechea, a aproximadamente 65 Kms. al noreste de la ciudad de Santiago. Considera la mina a rajo abierto, plantas de chancado y molienda de mineral sulfurado, lixiviación y SX-EW de mineral oxidado, produciendo cátodos de cobre electro-obtenidos.
- **Sistema de Transporte de Pulpa (STP):** Corresponde a un mineroducto de 56 km de longitud, que transporta mineral en pulpa entre Los Bronces y Las Tórtolas, cruzando los valles de los esteros Arrayán y Colina, entre las comunas de Lo Barnechea y Colina.
- **Área Las Tórtolas:** Localizada en el valle central de la Región Metropolitana, en la provincia de Chacabuco, comuna de Colina, aproximadamente a 30 Kms. al norte de Santiago. Considera la Planta de Flotación y el Tranque de Relaves, produciendo concentrados de cobre y molibdeno, que puede ser transportado a la Fundición Chagres o bien, en su mayoría, al puerto de Ventanas para ser exportado como tal.



Figura 1. Ubicación Operación Los Bronces. Fuente: (Anglo American, 2012)

Los Bronces comprende un extenso cuerpo mineralizado de tipo pórfido de cobre que se extiende 4 km de Norte a Sur y 3 km de Este a Oeste, el depósito en la actualidad continúa abierto en profundidad y cuenta con tres fases activas, Infiernillo 5, Infiernillo 6 y Donoso 2 de donde se realiza la extracción de mineral. De las fases activas de la operación se extraen cuatro tipos de materiales:

- Mineral, caracterizado por una ley de corte específica cada mes y el cual es destinado a las plantas de procesamiento.
- Lix, material sulfurado que presenta una baja ley de cobre, que es enviado a pilas de lixiviación.
- Estéril, material bajo la ley de corte que se envía a botadero.
- Estéril clase 1, material bajo la ley de corte, pero que, por sus características litológicas, tienen valor estructural para la construcción basal de los botaderos.

Para tratar estos materiales, se cuenta con tres plantas en el área de Los Bronces, y una en el área de Las Tórtolas, estas son:

- Planta Los Bronces, con 2800 [tph] de tratamiento, en donde se procesa mineral.
- Planta Confluencia, con 4800 [tph] de tratamiento, en donde se procesa mineral.
- Planta San Francisco, planta de electro obtención, en donde se procesan las soluciones obtenidas de las pilas de material lixiviado, y obtienen de producto cátodos de cobre.
- Planta Las Tórtolas, planta de flotación de donde se obtiene el concentrado final a comercializar.

Los procesos de producción de cobre en Los Bronces se dividen en dos vías, flotación y electro obtención de cobre, los cuales se muestran en la Figura 3:

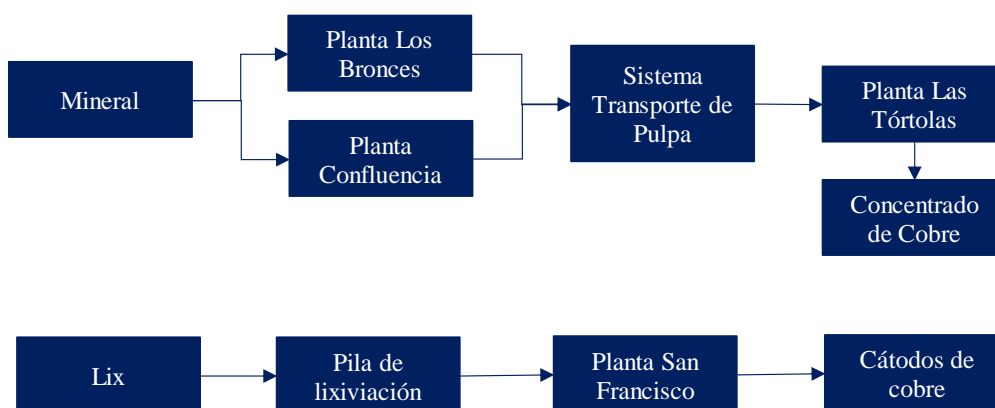


Figura 2. Procesos productivos de Los Bronces. Fuente: Elaboración propia.

#### 1.1.2.1 Descripción General del Procesamiento de Mineral

El procesamiento de sulfuros de cobre en división Los Bronces está representado por el diagrama de la Figura 3. En donde la operación comienza con la perforación de tiros y

posterior tronadura, procesos que son previamente diseñados por las áreas de ingeniería, topografía y geología de Los Bronces, y que tienen como objetivo desprender el material compuesto por roca mineralizada y estéril. La roca removida es cargada en camiones mediante palas que extraen el mineral en la frente de explotación, para luego ser transportado a uno de los dos chancadores primarios, o bien, dispuestos mediante el método volteo de tolva, en el depósito San Francisco. Los chancadores pertenecientes a Los Bronces, de tipo giratorio y de capacidad conjunta de 160 [ktpd], se encuentran ubicados entre la mina y la planta de molienda. Una vez que el mineral es chancado, se envía por un sistema de correas transportadoras a stockpiles, los que alimentan a cada planta de molienda: Los Bronces y Confluencia, reduciendo el tamaño del mineral hasta formar una pulpa. Una vez producida, es enviada a estanques espesadores, donde es extraída parte del agua contenida, para finalmente poder ser transportada mediante el mineroducto, hasta la planta de flotación Las Tórtolas, la que, por medio de flotación colectiva y selectiva, entrega como productos un concentrado de cobre y de molibdeno. (Anglo American, 2006)

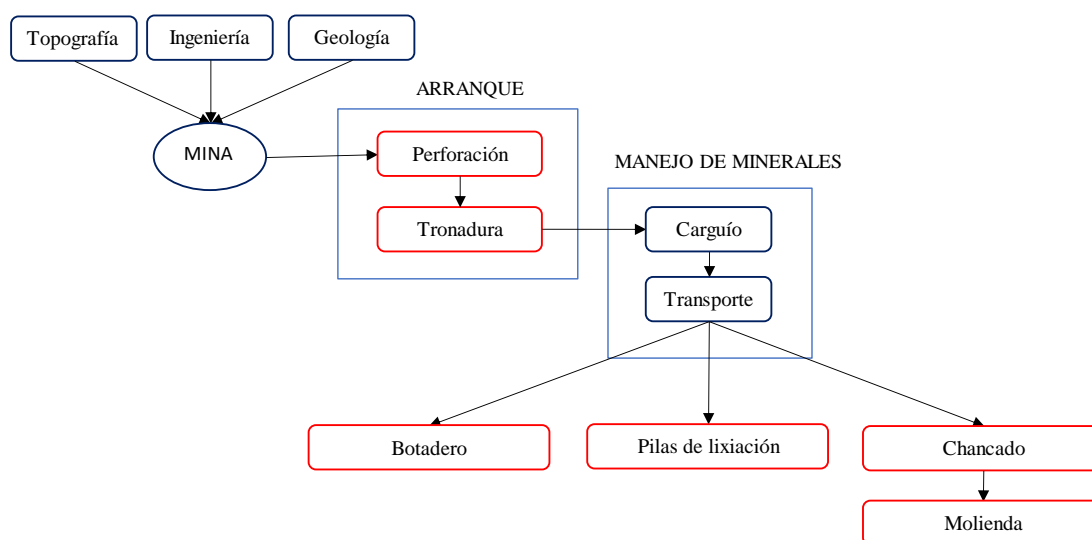


Figura 3. Descripción General Proceso Mina Los Bronces. Fuente: Elaboración propia.

### 1.1.2.2 Proceso de Chancado Primario y Molienda Los Bronces y Confluencia

- **Circuito Chancado Primario:**

La Planta de Chancado Primario de Los Bronces y Confluencia está compuesta por dos chancadores primarios giratorios de 600 [kW] de potencia instalada cada uno, operando con un OSS de 7", procesando carga alimentada de ROM. (KEYPRO Ingeniería, 2022)

Las descargas de ambos Chancadores son transportadas mediante un circuito de correas, en donde ambos descargan a una Torre de Transferencia, la cual dispone de dos chutes que permiten que se realice la distribución del mineral que se envía, por medio de correas

transportadoras nuevamente : la correa CM-3, que alimenta el acopio grueso de Los Bronces o hacia la correa CVB-003, la cual conduce el mineral hacia el Acopio de Gruesos de Confluencia, mediante la correa overland tipo regenerativa, CVB-004.

La configuración de las instalaciones permite que el mineral ROM pueda ser alimentado al Chancador 1 o al Chancador 2, por lo cual las correas que ingresan el mineral a la Torre de Transferencia presentan esta doble configuración, y disponen de capacidad para el tratamiento asociado a cada chancador. Lo cual puede ser observado en la descarga de las correas CM-2 y CM-2 en la Figura 4:

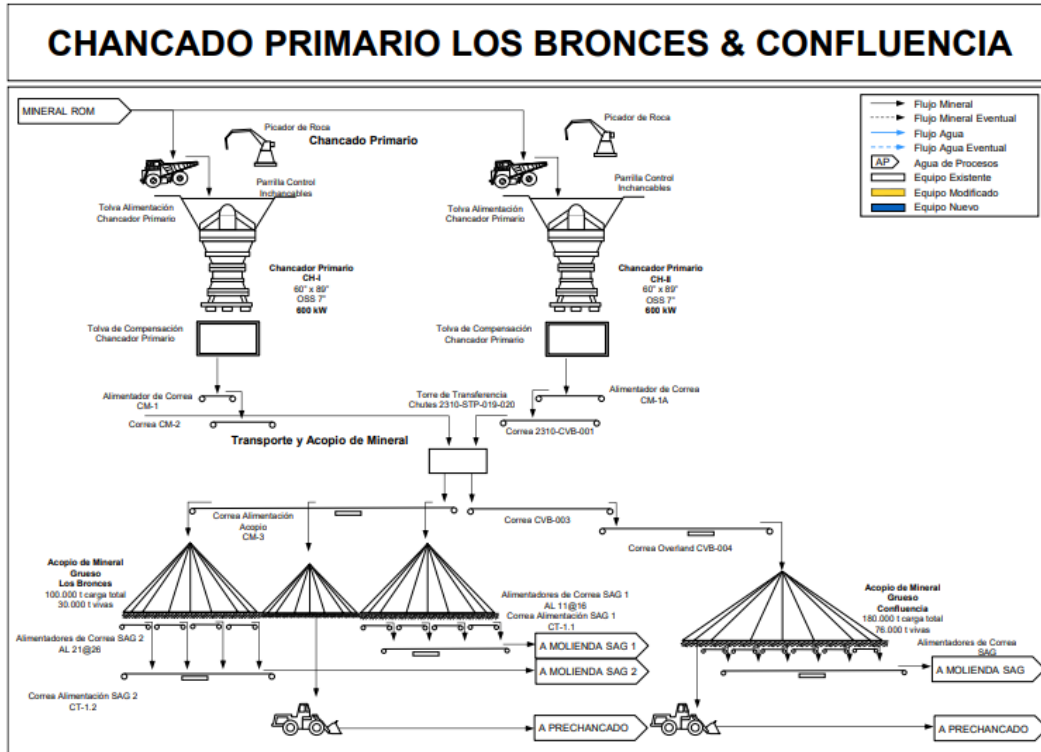


Figura 4. Circuito de Chancado Primario Los Bronces y Confluencia. Fuente: (KEYPRO Ingeniería, 2022).

Como se observa en la Figura 4, los acopios de mineral grueso Los Bronces y Confluencia tienen capacidad para 100.000, y 180.000 [ton] de carga total, respectivamente. Luego, el mineral es enviado a la planta de Molienda los Bronces mediante un sistema de transporte de correas, compuesto por cuatro alimentadores, en donde hay dos descargando en cada correa: CT-1.1 y CT-1. 2, las cuales transportan el mineral a la Molienda SAG 1 y Molienda SAG 2, respectivamente. Además, mediante cargadores frontales se transporta el mineral a la planta de Prechancado existente, la cual es utilizada con el objetivo de incrementar el tratamiento del proceso de molienda.

En cuanto a Confluencia, desde el Acopio de Gruesos, se envía el mineral a través de un sistema de transporte compuesto por de seis alimentadores y una correa, que alimentan a un único molino SAG. Mediante cargadores frontales se transporta el mineral a la planta de Prechancado existente, con el mismo propósito mencionado anteriormente para Los Bronces.

• **Molienda Los Bronces:**

Desde el acopio de gruesos se extrae mineral para alimentar el circuito de molienda, el cual está compuesto por dos circuitos de molienda SAG-Bolas, más un tercer molino de bolas. Respecto al circuito SAG 1, el cual puede ser observado en la Figura 5, el mineral grueso es clasificado en un harnero y el bajo tamaño es enviado a la molienda secundaria. El sobre tamaño de los harneros es transportado a través de correas hacia la planta de chancado de pebbles. La planta de pebbles está compuesta por una tolva que recibe el sobretamaño de los harneros SAG 1 y harnero SAG 2 y alimenta a cuatro chancadores de pebbles. El material chancado se transporta mediante correas hacia los molinos de bolas 1, 2 y 3. La molienda secundaria 1 está compuesta por un molino de bolas, operando en circuito cerrado inverso con una batería de hidrociclones, el cual es un equipo constituido por un conjunto de hidrociclones, en este caso son 10 y funciona como un sistema de clasificación granulométrica, cuyo rebose (overflow) es enviado a un harnero desrripiador, ya que es la corriente que contiene la parte de la pulpa con la granulometría esperada y constituye producto final del circuito, mientras que la corriente descendente (underflow) reingresa a los molinos de bolas. El producto de la molienda es enviado a espesamiento previo a su transporte vía mineroducto.

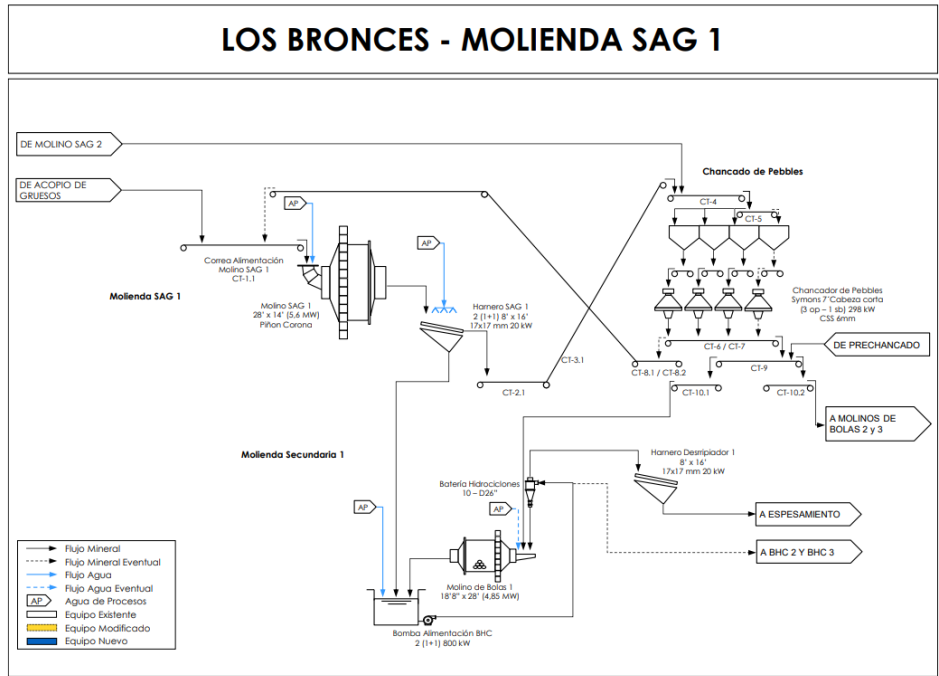


Figura 5. Circuito de Molienda SAG 1 Los Bronces. Fuente: (KEYPRO Ingeniería, 2022)

En cuanto al circuito SAG 2, como se observa en la Figura 6, el mineral desde el acopio de grueso se alimenta al Molino SAG 2, cuya descarga es clasificada en un harnero SAG, cuyo bajo tamaño es enviado a la molienda secundaria 2. El sobre tamaño de los harneros transportado a través de correas a la planta de chancado de pebbles. Desde el cajón de molienda secundaria 2, se alimentan, mediante bomba centrífugas, una batería de hidrociclones, compuesta por 10 hidrociclones y el cajón de molienda secundaria 3. El rebose

es enviado a un harnero desrripiador 1 y la descarga alimenta al molino de bolas 2. La molienda secundaria 2 está compuesta por un molino de bolas.

El producto de molienda, correspondiente al overflow de las baterías de hidrociclones, se conduce a la planta de espesamiento de mineral de Los Bronces previo paso por los harneros desrripiadores. Esta planta consta de dos espesadores de alta capacidad, los cuales se alimentan en forma paralela. El mineral espesado es enviado hacia la planta concentradora Las Tórtolas mediante un mineroducto.

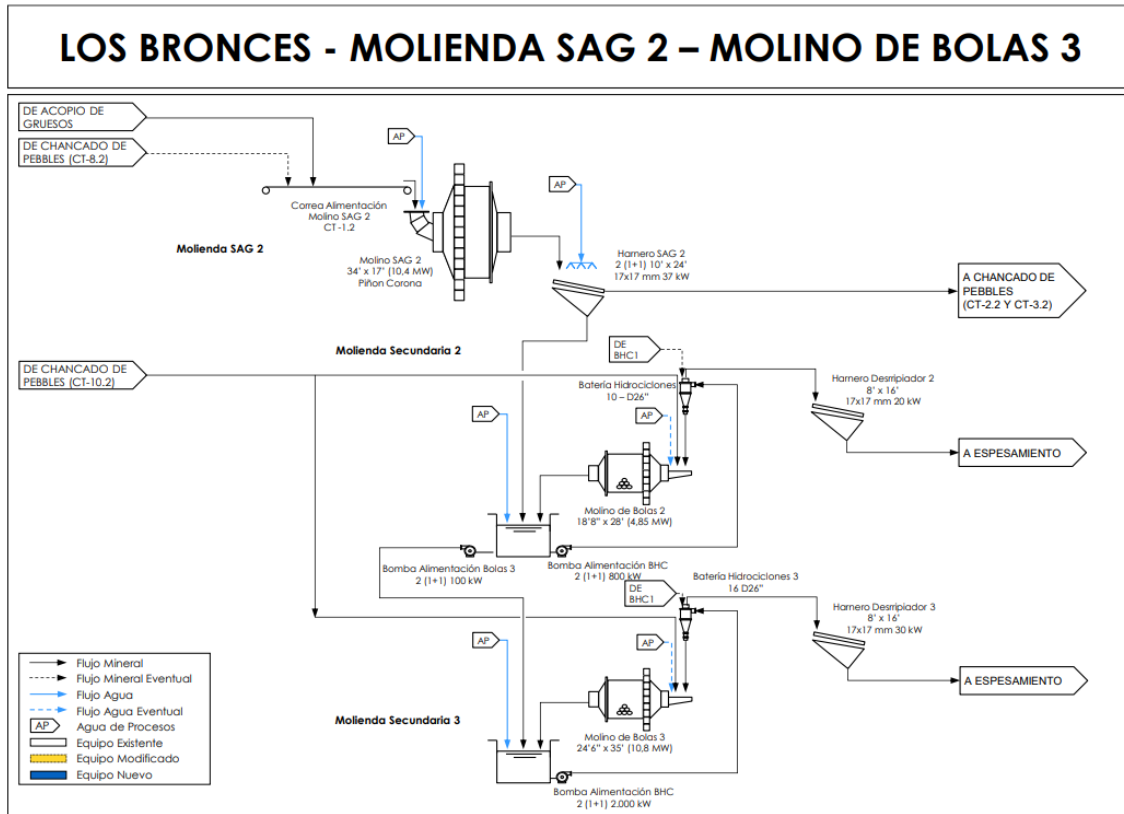


Figura 6. Circuito de Molienda SAG 2 Los Bronces. Fuente: (KEYPRO Ingeniería, 2022).

- **Molienda Confluencia:**

Desde el acopio de gruesos de la Planta Confluencia se extrae mineral para alimentar el circuito de molienda, el cual está compuesto por un circuito de molienda SAG-Bolas. El mineral desde el acopio de grueso es extraído y descargado en la correa que alimenta el Molino SAG, cuya descarga es clasificada en un harnero, cuyo bajo tamaño es enviado a la molienda secundaria luego de que la pulpa ingresa al cajón molienda secundaria. El sobretamaño de los harneros es transportado a la planta de chancado de pebbles. La planta de pebbles está compuesta por una tolva que recibe el sobretamaño del harnero pebbles y alimenta a dos chancadores de pebbles. El material chancado es transportado hacia los Molinos de bolas 1 y 2. Desde el cajón de molienda, se alimentan, mediante bomba, dos baterías de hidrociclones, compuesta por 16 hidrociclones, donde cada una de las baterías

alimenta a un molino de bolas. El rebose de cada batería es enviado a un harnero desrripiador. La molienda secundaria está compuesta por dos molinos de bolas.

El producto de la molienda es enviado a espesamiento, para posteriormente ser enviado a la planta concentradora, mediante el mineroducto.

### 1.1.2.3 Organigrama División Los Bronces

Para el correcto funcionamiento de la operación de Chancado, en división Los Bronces, las gerencias involucradas están lideradas por la Gerencia General, estas son: Gerencia Mina, Plantas y Mantenimiento. La Gerencia Mina se divide en dos superintendencias dentro de la faena: Operaciones Mina y Gestión Mina, esta última es la cual debe estar en contacto con la Superintendencia de Operaciones Chancado y Molienda, ya que está conformada por los roles Especialista de Despacho y Operador de Despacho, encargados de darle continuidad a la alimentación de mineral vaciado hacia ambos chancadores, mediante el envío de camiones. Además, dentro de la Gerencia Plantas está la Superintendencia de Ingeniería de Procesos y Control de Gestión, la cual es la encargada de entregarle retroalimentación a la Superintendencia de Chancado y Molienda de acuerdo con el desempeño del proceso. El organigrama del área operacional de la División Los Bronces se muestra de forma simplificada en la Figura 7:

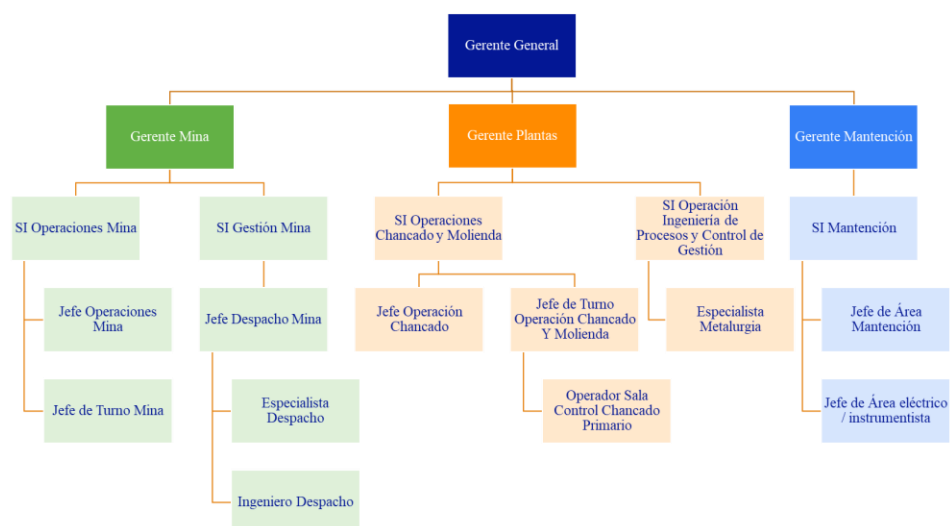


Figura 7. Organigrama del área operacional División Los Bronces. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, este fue el organigrama que representaba a las gerencias involucradas en la operación de Chancado hasta el año 2021, año en que se integró la operación de la cadena de valor completa en el Centro de Operación Remota, IROC, de ahora en adelante.

#### 1.1.2.4 Integración en las operaciones de Los Bronces

El año 2017, en la operación Los Bronces, se tuvo como objetivo la integración de sus operaciones. La fase 1 de este proyecto, consideraba la creación y puesta en marcha del Centro Integrado de Gestión Operacional, CIGO de ahora en adelante, con el objetivo de mejorar la coordinación entre mina y planta, asegurar niveles óptimos de stockpile, disminuir la exposición al riesgo en chancado y aprovechar el uso de nuevas tecnologías (Anglo American, 2018). El objetivo de este proyecto era unificar los procesos de chancado y despacho para que operaran como una sola unidad integrada. Este centro continuó estando ubicado dentro de las dependencias de la faena Los Bronces, por lo que los operadores seguían en terreno, pero ya no estaban aislados en las salas de control respectivas de sus operaciones, si no que estaban todos ubicados dentro de la misma unidad de control, pero continuaban estando a cargo de los mismos roles: Operador de Despacho y Operador Chancado a cargo de Especialista de Despacho y Jefe de Turno Chancado y Molienda, respectivamente.

Un año después de la creación de este centro, se vieron resultados que impactaron en distintos aspectos, se logró disminuir un 22% en los tiempos de cola a chancado, menor exposición de los operadores al riesgo y no hubo detenciones por falta de mineral durante el año 2018, asegurando niveles óptimos de stockpile que permitieron darle continuidad al vaciado durante todo el año. (Anglo American, 2018)

Los resultados se lograron, ya que hubo una correcta gestión del cambio cultural dentro de la operación, lo cual permitió lograr adaptabilidad a esta nueva forma de operar y así alcanzar los objetivos esperados, los cuales eran mejorar la colaboración, coordinación y sinergia del equipo, ya que el CIGO permitió tener una mejor comunicación y coordinación entre los procesos, otorgando mejores herramientas a los operadores para que pudieran tomar sus decisiones. (Anglo American, 2018)

La fase 2 del proyecto de integración de operaciones, consistía en la integración completa de las operaciones, es decir, desde el proceso de Perforación hasta Puerto, incluyendo entre estos: Tronadura, Carguío, Transporte, Chancado, Molienda, STP y Flotación. Durante el período de abril a mayo 2020 se realizó un diagnóstico de la operación, definición de objetivos, roles y responsabilidades, con el objetivo de establecer el plan futuro de trabajo y gestión del cambio. (Accenture , 2022)

Para agosto 2021, se puso en marcha la fase 2 del proyecto, con la creación de IROC, en donde para esa fecha se habilitó la infraestructura necesaria para operar de forma remota en Santiago, teniendo una sala de control habilitada para todos los operadores de las operaciones anteriormente mencionadas, logrando la integración de la operación de la cadena de valor completa.

El objetivo de IROC fue definido como “Controlar la ejecución integrada del plan semanal para cumplir el óptimo global de la cadena de valor (turno a turno)” y su

misión es “Optimizar la cadena de valor, operación y monitorización de una forma integrada y acorde con los más altos estándares de seguridad y medioambiente. IROC promueve su propósito a través de hacer posible el trabajo colaborativo, la innovación, la toma de decisiones óptima y basada en datos y la mejora continua, en línea con los planes estratégicos de la empresa”. Esta busca ser cumplida mediante los siguientes pilares (Accenture , 2022):

- Coordinación centralizada: Tomar decisiones operativas basadas en el desempeño general de la cadena de producción para cumplir con los objetivos a corto plazo y contribuir a la estabilidad.
- Nivelar la información para todos: Coordinar y proveer información a través de reuniones integradas de IROC para informar los objetivos individuales y globales. Generar una comunicación y retroalimentación sistemáticas entre las estaciones de trabajo IROC y con terreno para brindar claridad.
- Planificación táctica integrada: Cuando sea necesario, proponer ajustes al plan de producción a corto plazo basado en recursos y las limitaciones de toda la cadena de producción, en conjunto con las áreas operativas.
- Fomentar la colaboración: Impulsar la cultura de objetivos comunes y aumentar la comprensión del impacto de cada área en la cadena de producción y cómo se les puede ayudar.

Para cumplir este objetivo dentro de IROC, se modificó la estructura organizacional de Los Bronces, con la incorporación de una nueva Superintendencia (Superintendencia IROC), la cual además trajo consigo la incorporación de nuevos roles que pasan a tener responsabilidades dentro de la toma de decisiones en el proceso de Chancado. La nueva estructura organizacional de la cual depende el correcto funcionamiento de la operación de chancado puede observarse en la Figura 8:

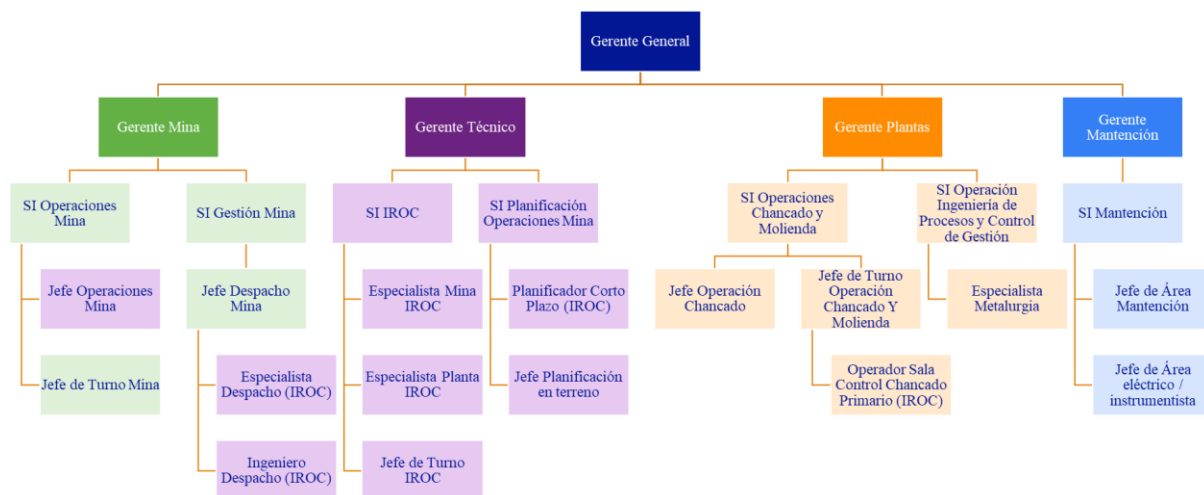


Figura 8. Organigrama del área operacional División Los Bronces. Fuente: Elaboración propia.

De esta estructura, se desprenden los siguientes nuevos roles claves para una correcta operación: Superintendente de IROC y jefe de Turno de IROC.

## 2 Capítulo 2: Descripción del Proyecto

### 2.1.1 Antecedentes del proyecto

Dados los resultados de fines del año 2022, donde un 86% de las pérdidas producidas entre la producción presupuestada a inicios de año, fueron causadas por pérdidas de rendimiento en tratamiento [tph] en el proceso de Molienda (Anglo American , 2022), es que se realizaron ciclos de Análisis y Mejora para poder encontrar las causas raíces que generaron esos resultados y ejecutar planes de acción de control relacionados al proceso, pero dentro de la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio, se consideró que si bien se estaba analizando el desempeño del proceso mediante la revisión de los KPIs principales, no existía una herramienta que permitiera identificar brechas a nivel de personas y sistemas.

Es por esto por lo que, dentro de la búsqueda de herramientas de mejora continua, se propuso al mapa de procesos, el cual apareció como una oportunidad para evidenciar los cuellos de botella que estaban sucediendo en la operación, a nivel de personas y sistemas, en el caso de que existieran y así poder generar planes de acción transversales que abarquen mejoras relacionadas a estos.

Como se mencionó, Los Bronces está operando desde IROC por lo que el trabajo debe tener una visión integrada de la operación y permitir visualizar como cada área: Mina, Planta e IROC intervenía en la cadena de valor. Es por esto por lo que se escogió el proceso de Chancado, ya que es aquí donde se integraban ambas operaciones: Mina y Planta para poder alimentar de manera continua a los stockpiles, los cuales funcionan como buffers en el proceso, ya que permiten mantener el proceso de molienda al darle continuidad a la alimentación de mineral. Dado lo anterior, se presenta una oportunidad para visualizar mediante el mapeo de procesos, los cuellos de botella que se generan y provocan inestabilidad aguas abajo en el proceso, afectando el desempeño de Molienda. Así a futuro, esta herramienta podía seguir siendo utilizada para detectar oportunidades de mejora para la integración de los procesos en post de la estabilización de los procesos y liberar el cuello de botella actual: Molienda, ya que permitirá observar los flujos de decisiones en la operación y así se podrá estudiar en el futuro cuáles decisiones deberían ser tomadas por IROC y dejar de ser tomadas por planta o Mina.

## 2.2 Objetivos

### 2.2.1 Generales

Construir un mapa de procesos de Chancado que permita visualizar qué roles y mediante que sistemas se toman las decisiones que pueden conducir a cuellos de botella en la operación y así identificar oportunidades de mejora en la operación.

### 2.2.2 Específicos

- Identificar las problemáticas principales aguas arriba que afectan el desempeño del proceso de Molienda para darle el enfoque correcto al proyecto.
- Identificar las problemáticas principales del proceso de Chancado que generan inestabilidad en los niveles de stockpile.
- Levantar el actual flujo de decisiones sobre las problemáticas identificadas del proceso Chancado en Los Bronces en un mapa de proceso.
- Analizar las principales causas raíz de la inestabilidad en los niveles de stockpile a nivel de proceso, personas y sistemas.
- Identificar oportunidades de mejora en el proceso de Chancado y gestión de IROC con el objetivo de buscar estabilidad en los niveles de stockpiles.
- Brindar claridad a través del mapa de procesos, sobre el rol de las áreas de IROC, Planta y Mina en la toma de decisiones del proceso de Chancado.

## 2.3 Alcance

El presente estudio estará enfocado en la realización del mapa de proceso de Chancado de la división Los Bronces y a partir de este levantar oportunidades de mejora. Para realizar esto, es preciso realizar visitas a las instalaciones de IROC y Planta con el objetivo de conocer el proceso productivo. Dado que este estudio tiene una duración de 6 meses, se utilizarán datos correspondientes al período de enero a diciembre del año 2022 y en base a la información recolectada en las visitas se presentarán los hallazgos, sin embargo, serán a modo de conclusiones, ya que el trabajo pertenece a la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio y desde esta deben ser levantadas las sugerencias a las Superintendencias de Mantenimiento, Gestión Mina, IROC u Operaciones, según sea el caso.

### 3 Capítulo 3: Metodología

Los mapas de procesos son utilizados en la mejora continua de los procesos, gracias al método Seis Sigma, es por esto por lo que la metodología aquí presentada se dividió en dos grandes áreas, por un lado, se presentó el sustento teórico del origen de los mapas de procesos, a partir de una descripción general del método Seis Sigma y por otro lado se presentó la metodología específica que se utilizó en este estudio, que se basó en las estrategias descritas de la sección teórica.

#### 3.1 Marco Teórico

##### 3.1.1 Metodología Seis Sigma

El método Six Sigma o DMAIC consiste en una metodología sistemática para reducir errores, concentrándose en la mejora del proceso, minimizando las posibilidades de error. Esta metodología es utilizada para eliminar los desperdicios del proceso, reducir la variación de un producto, mejorar la productividad y acortar los ciclos de los procesos. (Yepes, 2004)

DMAIC sigue un formato estructurado que consiste en 5 fases conectadas entre sí (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) como se muestra en la Figura 9. Estas etapas tienen como objetivo responder ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora. (Ocampo, 2012)

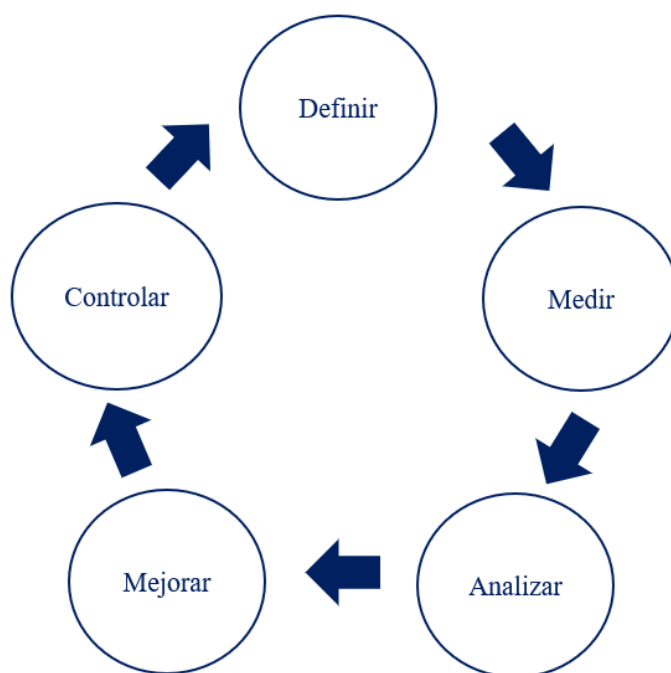


Figura 9. Etapas de la metodología DMAIC. Fuente: (ELECTRIC, sin fecha)

##### 3.1.1.1 Definir

Es la fase inicial de la metodología, tiene como objetivo identificar los posibles proyectos de mejora dentro de la empresa y definir cuál es el problema por tratar. Dentro de esto, es

importante definir el propósito del proyecto a realizar, el alcance que tendrá el mismo, el funcionamiento actual del proceso, el flujo del proceso general, entre otros. (Ocampo, 2012)

#### 3.1.1.2 Medir

Una vez que está definido el problema a abordar, se debe establecer qué características determinan el comportamiento del proceso, es necesario identificar cuáles son las variables del proceso y qué parámetros afectan a su desempeño, se mide la capacidad del proceso, además de evaluar el sistema de medición actual. (Pérez-López. E. García-Cerdas, 2014)

#### 3.1.1.3 Analizar

En esta etapa se analizan los datos obtenidos del estado actual del proceso y se determinan las causas de este estado y las oportunidades de mejora. Aquí se determina si el problema es real o un evento aleatorio. Así en esta etapa se analizan los datos recolectados en las etapas anteriores y se estructura un plan de mejoras potenciales para aplicar en el siguiente paso. En esta etapa suelen utilizarse diagramas de causa efecto para encontrar la raíz del problema y en base a esto poder resolverlo. (Ocampo, 2012)

#### 3.1.1.4 Mejorar

Cuando ya se determinó que el problema es real, se deben identificar las posibles soluciones. En esta fase se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso, rediseñando el proceso actual para mejorar los problemas existentes. (Ocampo, 2012)

#### 3.1.1.5 Controlar

Una vez que se ha mejorado el desempeño del sistema, se debe asegurar que este se mantenga en el tiempo, así se hace necesario tener una estrategia de control que permita monitorear el sistema y cerciorarse que este opere de forma eficiente. (Ocampo, 2012)

### 3.2 Herramientas Seis Sigma a utilizar

#### 3.2.1 Pareto

El diagrama de Pareto es una gráfica de barras para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, visualizando los principales eventos, con el objetivo de caracterizar las causas que generan el 80% del impacto y las menores que pertenecen al 20% restante. (Briones, 2017)

#### 3.2.2 Diagrama SIPOC

Un diagrama SIPOC es una herramienta utilizada en la etapa de definición que permite resumir las entradas y salidas de un proceso en forma de tabla estilizada. Esto permite a los equipos identificar los aspectos relevantes de un proyecto de mejora de procesos antes de empezar a trabajar.

SIPOC es un acrónimo que significa, en inglés, Suministros, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes. El nombre invita a un equipo a pensar en los proveedores de su proceso, los insumos del proceso, el proceso mismo, los productos que produce y los clientes que reciben esos productos. (Gallardo, 2021)

### 3.2.3 Mapa de Procesos

Un mapa de procesos es una herramienta versátil que ayuda a visualizar el flujo de trabajo para mejorar la eficiencia. Aporta claridad, ayuda a los equipos a aportar ideas para mejorar los procesos, mejora la comunicación interna y proporciona documentación de los procesos. Esta herramienta también permite definir límites. Los equipos pueden ver qué implica el proceso, cómo funciona y dónde termina. Además, aclara información clave, como quién está a cargo del proceso y las responsabilidades específicas necesarias para que el proceso siga avanzando. (Vélez, 2014)

### 3.2.4 Diagrama de Ishikawa

La identificación de la causa raíz es una metodología utilizada en la etapa de Análisis para comprobar y analizar las causas de un problema, encontrar maneras de resolverlos y evitar que ocurran. El diagrama de Ishikawa es una herramienta ideada en el siglo XX por el ingeniero japonés Kaoru Ishikawa (Legaria Méndez, 2010), que consiste en una representación gráfica, similar a una espina de pescado, con una línea horizontal en el centro que representa el problema y líneas oblicuas que llegan a la horizontal que representan las causas, como se ilustra en la Figura 7 (Carrizales, 2016)

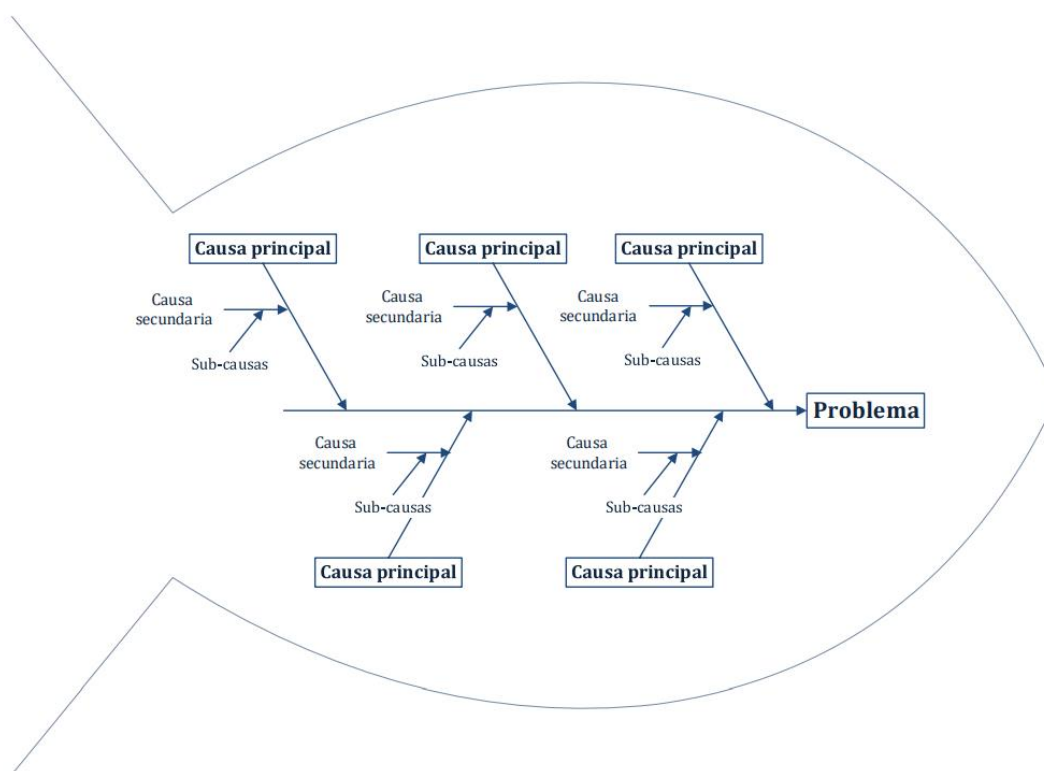


Figura 10. Esquema de Diagrama de Ishikawa. Fuente: (Rojas, 2016)

Para utilizar el diagrama de Ishikawa se deben seguir los siguientes pasos (Carrizales, 2016):

1. Definir con exactitud el problema, fenómeno o evento que se quiere analizar.

2. Definir las categorías en las que se pueden enmarcar las causas del problema, unas de las pautas empleadas regularmente son las denominadas “5 M”: Método, Mano de obra, Maquinaria, Material, Medio Ambiente.

3. Identificar las causas que pueden haber ocasionado el problema y distribuir las según las categorías definidas en la etapa anterior y a cada causa.

4. Analizar y discutir el diagrama con el objetivo de encontrar las causas más probables y a formular acciones que ayuden a solucionar el problema, para realizar esto suele utilizarse la herramienta de los 5 por qué, la cual por medio de preguntas del estilo “¿Por qué es así?” o “¿Por qué ocurre esto?” intenta descubrir si existe una causa anterior a la ya encontrada.

### 3.2.5 5 por qué

Este es un método simple utilizado en la etapa de Análisis, que se basa en analizar sistemáticamente las posibles causas de un problema, a través de preguntarse al menos cinco veces: “por qué”. Se considera que, al no encontrar una nueva respuesta, después de varias veces, es lo que permite identificar la verdadera causa raíz del problema. (Briones, 2017)

## 3.3 Metodología de Trabajo

Para la construcción del mapa de procesos, se utilizó la metodología Six Sigma o DMAIC, descrita desde la sección 3.1.1, que persigue la mejora continua de los procesos. Como se mencionó en esa sección, este sistema constaba de 5 etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. En particular, en este trabajo se consideraron las cuatro primeras, ya que luego de la creación del mapa de procesos se espera que se generen hallazgos e identificación de oportunidades de mejora, las cuales serán presentadas como propuestas de alternativas de mejora y se podría crear un sistema de control que permita monitorear el proceso productivo con sus modificaciones, en el caso de que se implementen. Finalmente, la metodología utilizada fue la siguiente:

### 3.3.1 Definir

En este paso, se espera definir el problema por abordar, identificando las oportunidades de mejora con ayuda de gráficos de Pareto del proceso de Molienda, para así obtener el enfoque correcto en el mapa de procesos de Chancado sobre las principales problemáticas aguas arriba, establecer claridad sobre la justificación del proyecto, su impacto y validar que la elección del proceso de chancado sea la correcta. Posterior a esto, se identificarán los stakeholders necesarios para la realización del proyecto y se definirá el alcance de este, mediante la primera versión del mapa de procesos, el cual será de tipo SIPOC.

### 3.3.2 Medir

Esta segunda etapa comienza, una vez que el problema está claramente definido y ya está identificado el proceso de chancado con la primera versión del mapa SIPOC. Esta etapa consiste en reunir datos del desempeño del año 2022, donde las mediciones a nivel Proceso se harán utilizando gráficos de Pareto del proceso de Chancado, que entreguen información acerca de la situación actual, identificando los principales cuellos de botella. También se harán mediciones a nivel Personas, con el objetivo de tener en cuenta su percepción sobre la claridad de rol y proceso, luego de la puesta en marcha de IROC. Teniendo estas mediciones

en consideración, se procederán a realizar entrevistas en terreno, es decir en IROC y Planta, para construir la versión final del mapa de procesos, donde se plasmará el flujo de decisiones de los cuellos de botella identificados. A partir de la realización del mapa de procesos, se presentarán los hallazgos al realizarlo y los cuales influirán en el siguiente paso.

### 3.3.3 Analizar

A partir del mapa de procesos y los hallazgos encontrados posteriormente haber realizado todas las visitas y entrevistas en terreno, se realizará un análisis causa raíz de la problemática principal identificada en el proceso de Chancado que genera inestabilidad en los niveles de stockpile.

### 3.3.4 Mejorar

Consiste en que a partir de los hallazgos generados en el análisis causa raíz, se identifiquen las oportunidades de mejoras que pueden realizarse por parte del equipo de Mejoramiento del Negocio y las cuales deben ser levantadas a otros equipos.

## 4 Capítulo 4: Aplicación de la Metodología Seis Sigma

### 4.1 Contextualización de la Problemática

Como se mencionó en antecedentes, la problemática surgió en la operación, luego de que, a fines del año 2022, se tuvo que un 86% de las pérdidas producidas entre la producción presupuestada a inicios de año, fueron causadas por pérdidas de rendimiento en tratamiento [tph] en el proceso de Molienda. (Anglo American , 2022).

Los análisis realizados por la Superintendencia de Control de Procesos demostraron que para el año 2022, el cumplimiento de tratamiento diario de mineral [kton] respecto al Budget considerado a inicios de año, tomando en consideración el desempeño en conjunto de ambas plantas, Los Bronces y Confluencia, se vio afectado en un 40% por la discontinuidad de vaciado y en un 19% por tiempo operativo de equipos (Ver Anexo A).

La discontinuidad de vaciado se da cuando hay inestabilidad en los niveles de stockpile durante el turno, lo cual impide que estos cumplan su función de asegurar un flujo de alimentación continuo, uniforme y controlado a los molinos SAG. Esto conlleva dos problemáticas, la primera es que al haber inestabilidad en los niveles de stockpile, se pierde la segregación natural de tamaño de mineral que se da en las pilas y, por ende, los operadores de Molienda pierden control sobre la granulometría que está siendo alimentada a los molinos SAG, esto afecta en parte al segundo problema, el cual es que los molinos SAG no puedan operar al máximo de su capacidad durante todo el turno, ya sea por problemas de granulometría o porque los flujos de alimentación son bajos o discontinuos.

Los niveles de stockpile afectan directamente dos KPIs, el tratamiento horario [tph], por las causas explicadas anteriormente que generan discontinuidad de vaciado y el tiempo operativo (OT) [h], el cual se ve afectado cuando los niveles de stockpile están en un nivel crítico que no permite alimentar a la planta y por ende los molinos SAG deben detener. Es por esto, que se debe analizar a través de diagramas de Pareto obtenidos del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM), el impacto que tiene el nivel de stockpile en las detenciones de los molinos SAG en ambas plantas, Los Bronces y Confluencia.

Para el análisis se estudiaron las detenciones del Molino SAG1 y SAG2 de Planta Los Bronces y Molino SAG de Planta Confluencia (desde enero 2022 a diciembre 2022), filtrando solo las detenciones operacionales, excluyendo las mantenciones programadas y no programadas y detenciones programadas y no programadas. Este estudio arrojó los siguientes diagramas:

### 4.1.1 Detenciones Planta Los Bronces: Molinos SAG 1 y 2

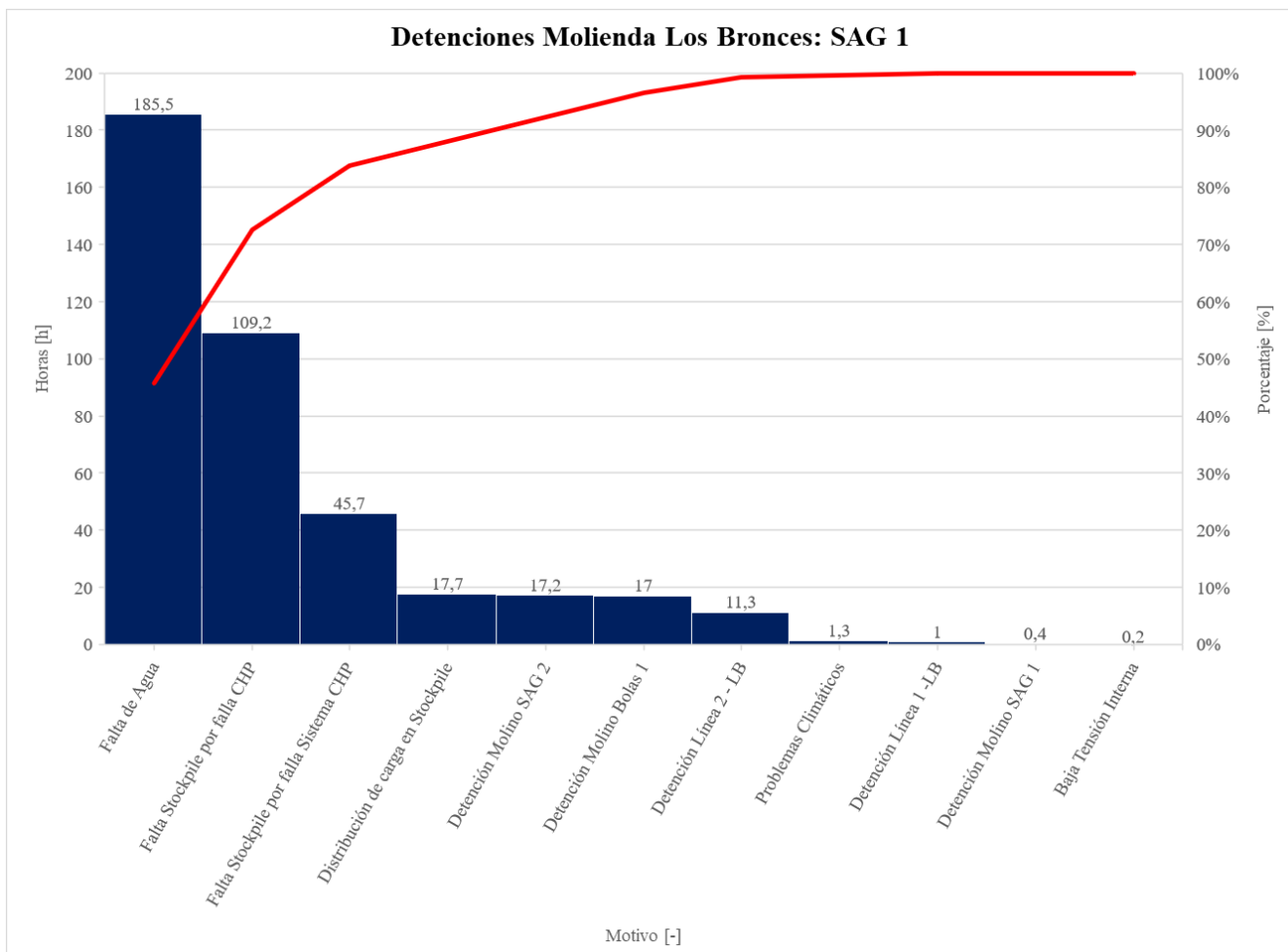


Figura 11. Principales detenciones operacionales Molienda Planta Los Bronces: Molino SAG 1. Fuente: (Anglo American, 2022)

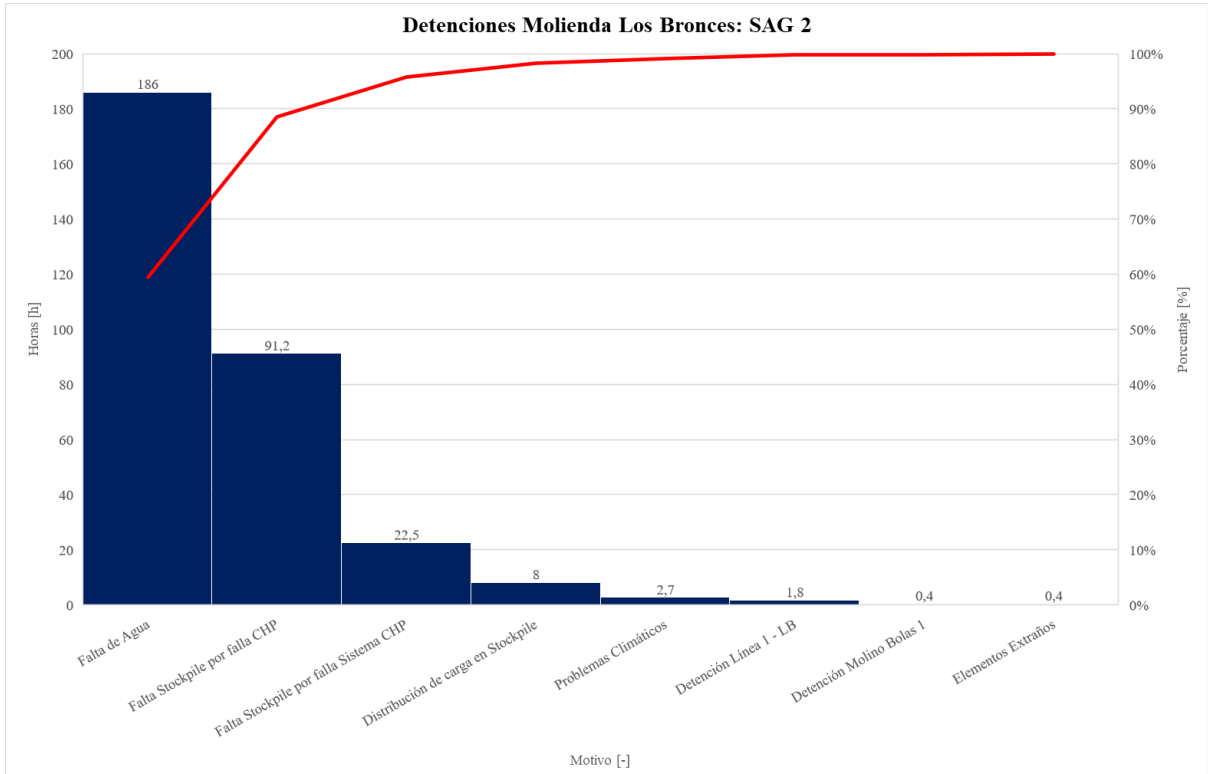


Figura 12. Principales detenciones operacionales Molienda Planta Los Bronces: Molino SAG 2. Fuente: (Anglo American, 2022)

En cuanto a la planta Los Bronces, la principal causa de detención por consecuencia fue la falta de agua dentro del proceso, lo cual se provocó dado condiciones climáticas del año anterior que no permitieron que el embalse tuviera suficiente agua para el año 2022. Seguido de esto, las causas con más impacto en las detenciones fueron por falta de mineral en stockpile por falla en CHP, falta de mineral en stockpile por falla sistema CHP y por distribución de carga en stockpile, con un 24%, 10% y 4%, respectivamente.

#### 4.1.2 Detenciones Planta Confluencia Molino SAG:

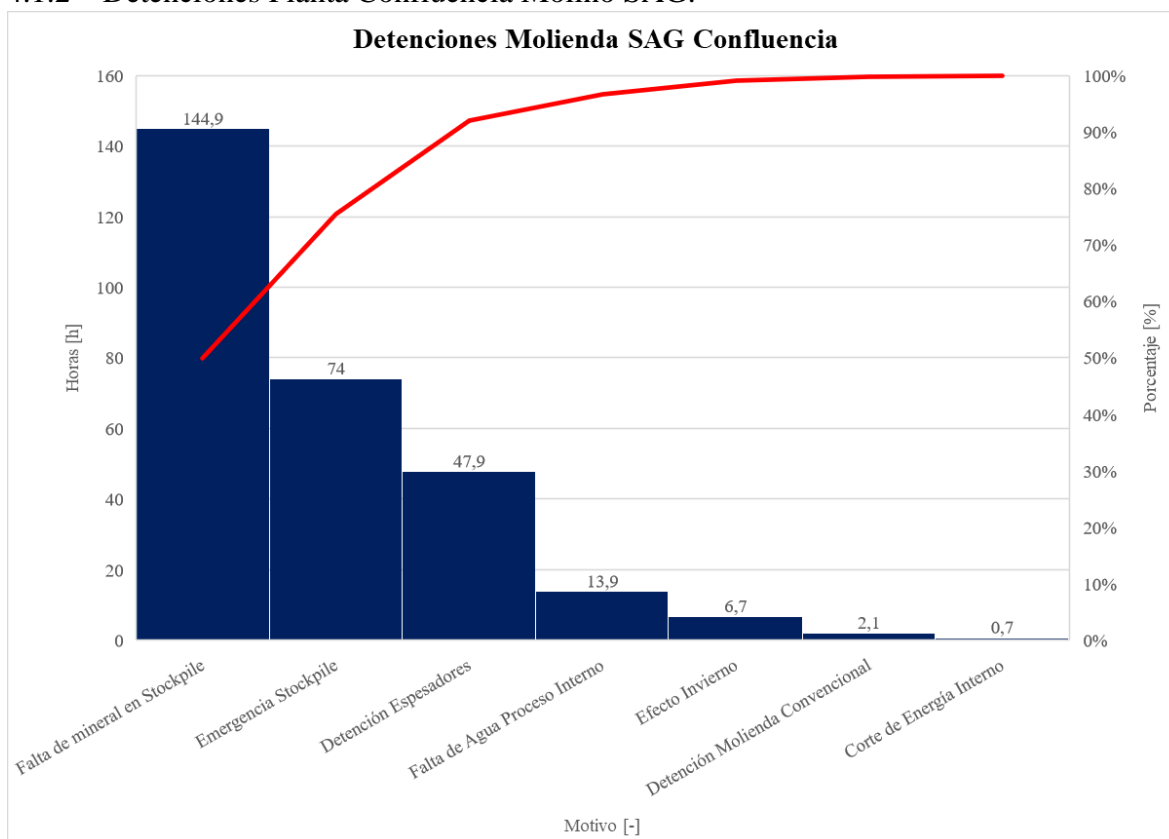


Figura 13. Principales detenciones por consecuencia Molienda Planta Confluencia. Fuente: (Anglo American, 2022)

En la planta Confluencia, las principales causas de detención fueron falta de mineral en stockpile y emergencia stock pile, representando un 50% y 25% de las pérdidas, respectivamente. El resto fueron detenciones por consecuencia dada la detención de equipos aguas abajo del circuito de molienda, cortes de energía, falta de agua en el proceso interno y efecto invierno, todos problemas propios del proceso de molienda.

En resumen, los diagramas de Pareto indicaron que las detenciones por causas relacionadas al nivel de stockpile representaron un 50% del total de detenciones. El impacto de la detención de vaciado hacia los stockpiles se resumió en los siguientes motivos imputados, en el siguiente orden de relevancia:

1. Falta de mineral en stockpile por falla Sistema de Chancador Primario: Representó un 45% de las detenciones de la planta de molienda asociadas a stockpile. Este motivo hizo referencia a cuando el vaciado a stockpile se veía interrumpido por fallas operacionales dentro del circuito interno de chancado (excluyendo al chancador), tales como fallas en las correas, chutes, compuerta de torre de transferencia o carro tripper. También se podía deber a problemas aguas arriba de Chancado que impedían que se pudiera mantener un nivel suficiente de stockpile, ya que existía un alto tiempo en espera de mineral.
2. Falta de mineral en stockpile por falla en Chancador Primario: Representó un 34% de las detenciones asociadas a stockpile. Este tipo de detención, como su nombre lo dice, era

por fallas operacionales del chancador que generaron la detención de este, generalmente eran provocadas por ingreso de material inchancable o atollo de bolones.

3. Emergencia stockpile: Representó un 16% de las detenciones asociadas a stockpile. Este tipo de detención se refería a detención de vaciado a stockpile por emergencias, tales como incendio de una correa o atollo del chancador primario que generaron niveles de stockpile insuficientes.
4. Distribución de carga en stockpile: Representó un 5% de las detenciones asociadas a stockpile. Cuando la alimentación a stockpile estaba detenida y el nivel de stockpile era crítico, se utilizaba un bulldozer que empujara el mineral acumulado hacia los alimentadores, si es que había problemas con este equipo para mantener el flujo de alimentación, se imputaba este motivo.

La justificación de realizar un mapa de procesos del proceso de Chancado se validó luego evidenciar que las principales pérdidas en el desempeño de producción son generadas por detenciones en las plantas por falta de mineral y por discontinuidad de vaciado, lo cual hace necesario estudiar el proceso aguas arriba y ver cuáles son las problemáticas que se generan en el proceso y generan inestabilidad en los stockpiles. Además, por lo mencionado en antecedentes, sobre la puesta en marcha de IROC, está la necesidad desde la Superintendencia del Negocio de conocer qué es lo que se está haciendo a nivel de personas y sistemas, dados los nuevos ajustes a la estructura organizacional de la operación. Es por esto por lo que el mapa de procesos es una herramienta que permitirá visibilizar el flujo de decisiones en el proceso de chancado, para luego:

- Identificar las causas raíz que generan discontinuidad de vaciado.
- Identificar roles involucrados en el proceso de chancado.
- Identificar brechas que existen en el proceso actual, a nivel de personas y sistemas.
- Identificar las decisiones del proceso de Chancado que son integradas, es decir, dependen de Mina, Planta e IROC.

#### 4.2 Definición del Proyecto

El mapa de procesos debía enfocarse en el proceso de Chancado, ya que la problemática identificada fue la inestabilidad de los niveles de stockpiles. Es por esto, que se validó la necesidad de estudiar el proceso de chancado, para identificar cuellos de botella del proceso que generaban discontinuidad en el vaciado a Molienda y además visualizar la claridad de rol al observar el proceso en el cual se integra la operación de Mina, Planta e IROC.

Siguiendo la metodología DMAIC, en la etapa de definición se debían tener definidos el alcance del proyecto, los resultados esperados, los stakeholders necesarios para realización de este y los beneficios que se podrían tener tras su realización.

- **Alcance del Proyecto**

La construcción del mapa de procesos pretendía ser una herramienta para la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio que mostrara el flujo de decisiones del proceso de Chancado, qué roles tomaban estas decisiones y mediante qué sistemas, con el objetivo de que la herramienta permitiera brindar claridad al momento de realizar mejoras en estos dos aspectos.

- **Identificación de stakeholders**

Para realizar el mapa del proceso de Chancado, se utilizó un diagrama SIPOC, para poder identificar los roles que estaban involucrados en la operación de este y que debían ser entrevistados. Este diagrama se puede ver en la Figura 16:

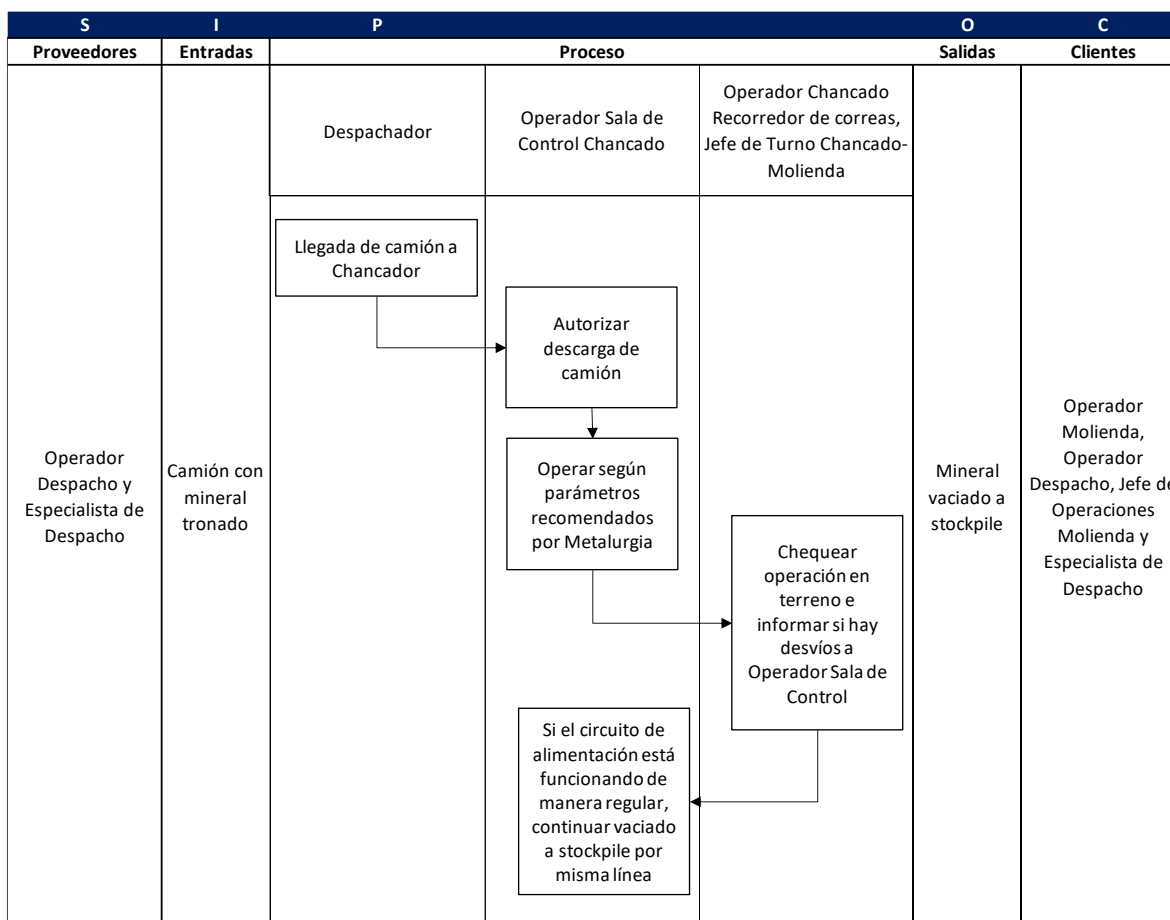


Figura 14. Diagrama SIPOC general del proceso de Chancado. Fuente: Elaboración propia.

Para entender la relación entre todas las partes involucradas, se observó que los stakeholders necesarios a entrevistar para comprender el proceso y flujo de decisiones eran los siguientes:

1. **Despachador/Operador de Despacho:** Rol encargado de asegurar la llegada de camiones con la granulometría y ley adecuadas a ambos chancadores, evitar tener camiones en cola y que el chancador se detenga por girar en vacío al estar en espera de mineral.

2. **Especialista de Despacho:** Rol encargado de supervisar la operación de Despacho y generar estrategias en caso de que ocurran imprevistos, ya sean de Gestión Mina o de Planta (Chancado) y que puedan perjudicar la descarga continua de camiones hacia ambos chancadores.
3. **Operador Chancado Sala de Control:** Rol encargado de la correcta operación del circuito de Chancado y coordinación con los demás roles: Despachador, Operador Molienda, Jefe de Turno Chancado-Molienda, Jefe de Operaciones Chancado y Jefe de Turno IROC.
4. **Operador Chancado Recorredor de Correas:** Rol encargado de dar aviso oportunamente sobre condiciones detectadas en terreno que pongan en riesgo la seguridad de las personas y de la operación y cuyas condiciones no puedan ser corregidas de inmediato por él mismo.
5. **Jefe de Turno Chancado-Molienda:** Controlar en terreno el cumplimiento de la correcta operación de Chancado y Molienda, gestionar estrategias de coordinación en caso de imprevistos durante el turno.
6. **Operador Molienda Sala de Control:** Rol cliente en el proceso de Chancado, el cual debe ser avisado en caso de imprevistos que perjudiquen la continuidad del vaciado.
7. **Jefe de Operaciones Molienda:** Rol cliente en el proceso de Chancado, el cual debe generar estrategias en caso de que se vea perjudicada la continuidad del vaciado.
8. **Jefe de Turno IROC:** Rol responsable de verificar que se cumplan los objetivos del turno y coordinar decisiones con Operación en terreno. Si bien este rol no aparece dentro del mapa de procesos, es un rol que está en la sala de control junto a los operadores de Chancado y Molienda y está constantemente en comunicación con ambos roles. Tiene la oportunidad de ver la cadena de valor completa, por lo cual aporta con una visión integrada a la hora de formular estrategias.

- **Resultados esperados**

Dentro de los resultados esperados, se esperaba una correcta utilización de la herramienta SIPOC en el mapa de procesos, es decir, que se identifiquen todos los proveedores, entradas, salidas y clientes en el proceso de Chancado. El mapa de procesos debía contener el flujo de decisiones operacionales que actualmente eran brechas para mantener óptimos niveles de stockpile, para que luego este pudiera ser utilizado como una herramienta para identificar mejoras a nivel de personas y sistemas.

#### 4.3 Mediciones del Proyecto

##### 4.3.1 Mediciones Proceso

Una vez que el problema estuvo claramente definido, el objetivo de esta etapa del ciclo DMAIC consistió en reunir datos históricos objetivos, que entregaran la mejor información para cuantificar cuales eran los principales cuellos de botella del proceso de Chancado y que generaban discontinuidad de vaciado al stockpile. Esta información fue obtenida a partir de

los diagramas de Pareto entregados por el Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM), abarcando todo el año 2022. El cuantificar cuáles eran las principales detenciones, permitió obtener cuáles eran las problemáticas que debían estar identificadas en el mapa de procesos.

Como se explicó en Antecedentes, División Los Bronces cuenta con dos chancadores primarios: Chancador Primario 1 y Chancador Primario 2, los cuales alimentan a Planta Los Bronces y Planta Confluencia, respectivamente. El análisis solo consideró las detenciones operacionales, excluyendo las mantenciones programadas y no programadas y detenciones programadas y no programadas, las cuales se daban por fallas de equipos. Los resultados del análisis se muestran a continuación:

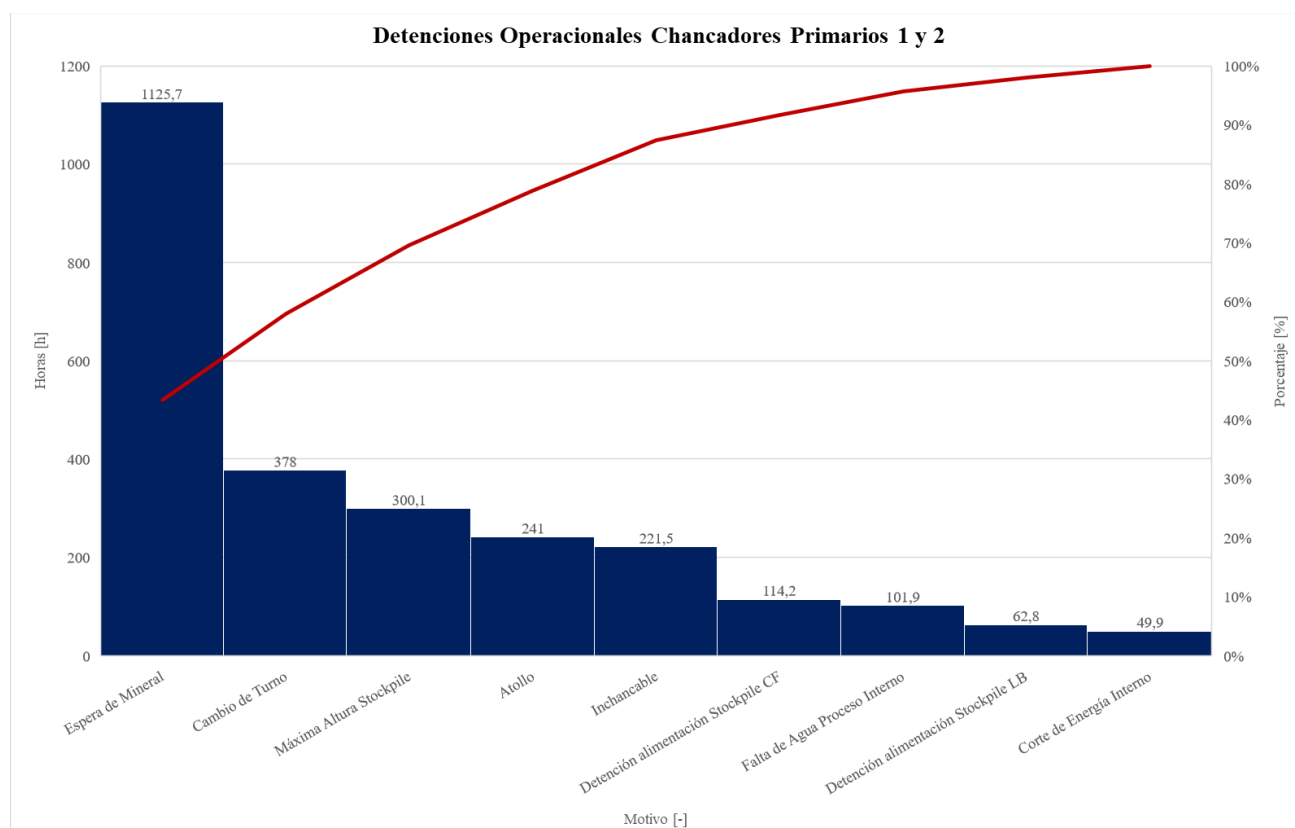


Figura 15. Detenciones operacionales Chancador Primario 1 y 2. Fuente: (Anglo American, 2022)

Este gráfico demostró que la espera de mineral era la principal causa de detenciones representando un 43% en promedio (1125,7 h), seguido de un 15% (378 h) por cambio de turno, 12% (300,1 h) por máxima altura de stockpile, 9% (241 h) por atollo y 9% (221,5 h) por inchancables. Las causas que debían investigarse en las entrevistas en terreno y en el caso de ser posible representarlas en el mapa de procesos fueron las siguientes:

- **Espera de mineral:** Si es que no hay camiones en cola para descargar al chancador, este equipo puede girar en vacío por un tiempo de 10 minutos, luego de esto, por seguridad se detiene, al pasar este tiempo, se comienza a contabilizar lo que se define como tiempo en espera de mineral, el cual se detiene una vez que se autorice la descarga de un camión con mineral.

- **Cambio de Turno:** El cambio de turno, genera demoras en la carga de camiones nuevamente al chancador, por lo que este tipo de detención se da por el retraso que se da luego de los cambios de turno, los cuales ocurren a las 8:00 y 20:00 horas.
- **Máxima altura de stockpile:** Este tipo de detención se da cuando se debe detener el vaciado, ya que el stockpile está al máximo de su capacidad y por temas de seguridad, se debe evitar sobrepasar esa altura para no dañar el carro tripper, ni los sensores de nivel ubicados en el área de descarga, en caso de que el stockpile de la otra planta aún no esté lleno, se comparte carga.
- **Atollo:** Se da cuando ingresa mineral sobretamaño (bolones) o contaminado con nieve, lo cual genera atascamientos en la tolva del chancador o en equipos de transferencia posteriores, como los chutes, impidiendo que continúe el proceso de descarga de mineral por seguridad, por lo cual se debe detener el chancador para utilizar el martillo picarrocas y disminuir el tamaño del mineral, o en el caso que este no esté disponible, utilizar un cargador frontal para poder sacar la nieve o bolon del chancador.
- **Inchancables:** Los inchancables son cualquier material que, mezclado con el mineral extraído, puede dañar la maquinaria o en el peor de los casos, atascarse y atrasar toda la producción. Estos materiales son aquellos que no pueden ser chancados, generalmente pueden ser elementos metálicos como trozos de tolva de camiones, entredientes de pala, brocas de perforación o elementos plásticos, como tubos de HDPE. (Ramos, 2018)

#### 4.3.2 Mediciones Personas

Como se mencionó anteriormente, dado que existía la necesidad de conocer qué es lo que se estaba haciendo a nivel de personas, es que se realizó una encuesta<sup>1</sup> enfocada a las problemáticas principales que pueden afectar la producción y el cumplimiento de los objetivos del proceso que controla el entrevistado. Se encuestó a todos los operadores de la sala de Control IROC, con el fin de medir su percepción. Los resultados de la encuesta se pudieron resumir en la siguiente tabla de conformidad del cliente, donde la importancia va de 1 a 10 desde el menos importante a lo más importante y la satisfacción actual va de 5 a 1, donde 1 es el máximo grado de satisfacción:

---

<sup>1</sup> Preguntas en Anexo B

Tabla 1: Tabla de Satisfacción del Cliente. Fuente: Elaboración propia.

| Necesidades del cliente |   | Importancia | Satisfacción del cliente |   |   |   |   | Objetivos operacionales  | N° |
|-------------------------|---|-------------|--------------------------|---|---|---|---|--|----|
| Generales               | Específicas   |             | 1                        | 2 | 3 | 4 | 5 |  |    |
| Sistema                 | Estar informado de las condiciones de operación propias y de los procesos de clientes y proveedores   | 10          |                          |   |   |   | X | Que todas las partes conozcan transversalmente la información  | 1  |
|                         | Tener un registro de fallas que converse con el registro de fallas de clientes y proveedores          | 2           |                          |   |   | X |   | Un sistema de registro de falla transversal                    | 2  |
| Estructura              | Saber cómo afectan las decisiones propias y las de clientes y proveedores en el resultado del proceso | 5           |                          |   |   |   | X | Definir y hacer conocida la estructura y jerarquía del proceso | 3  |
|                         | Saber a quién solicitar información   | 5           |                          |   |   | X |   | Crear una entidad que controle el proceso global               | 4  |
|                         | Saber cuándo comunicar qué, y a quién hacerle llegar la información                                   | 10          |                          |   |   | X |   | Normar las comunicaciones                                      | 5  |
| Proceso                 | Tener claro los objetivos del proceso global  | 4           |                          | X |   |   |   | Crear KPI transversales  | 6  |
| Liderazgo               | Saber quién toma qué decisión   | 8           |                          | X |   |   |   | Definir roles y responsabilidades                              | 7  |

A partir de esta tabla fue posible clasificar las necesidades más relevantes, las cuales al solucionar generarían mayor impacto dada la importancia y el nivel de satisfacción actual del cliente. La siguiente gráfica muestra las necesidades que generarían mayor impacto:

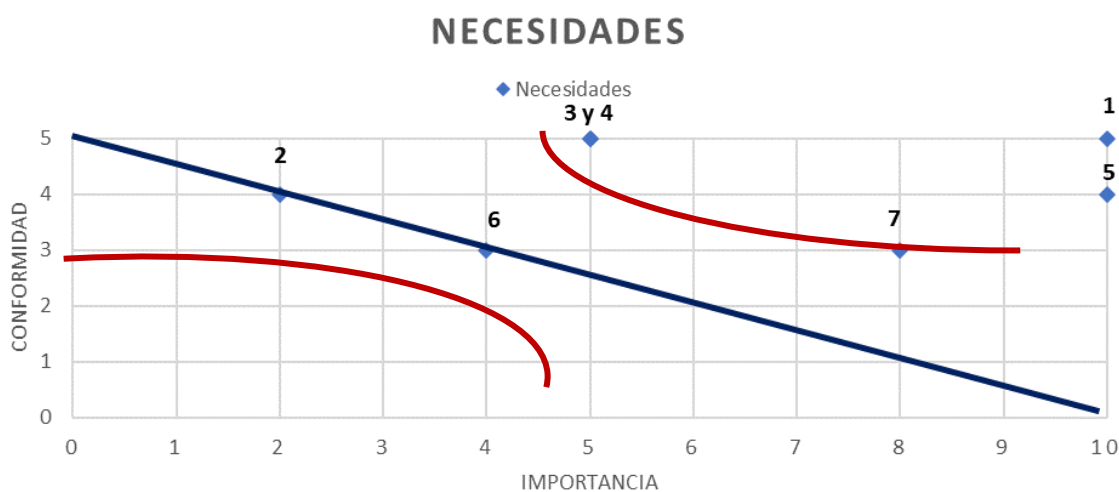


Figura 16. Matriz de conformidad de clientes. Fuente: Elaboración propia.

Así, las necesidades 1, 3, 4, 5 y 7 fueron las que debían ser consideradas por ser las de mayor importancia y tener menor satisfacción en el cliente actualmente. Estas necesidades fueron:

- Estar informado de las condiciones de operación propias y de los procesos de clientes y proveedores.
- Conocer cómo afectan las decisiones propias y las de clientes y proveedores en el resultado del proceso.
- Saber a quién solicitar información.

- Saber cuándo comunicar qué, y a quién hacerle llegar la información.
- Saber quién toma qué decisión.

La necesidad número siete, fue la más baja en cuanto a satisfacción del cliente, por lo que se corroboró la hipótesis que tenía la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio sobre la falta de claridad de rol luego de la creación de IROC. Esta problemática surgió luego de la incorporación del rol de jefe de Turno IROC, el cual es el encargado de coordinar decisiones con Operaciones en terreno, por lo cual en esta oportunidad se levantó como preocupación por parte de los operadores el tener duplicidad a la hora de recibir órdenes o reportar sobre problemáticas.

Es por esto, que el mapa de procesos debía identificar quienes eran los clientes y proveedores de cada decisión, para identificar la cantidad de roles que incidían en una decisión y a cuántos se les debe comunicar la misma. Esto permitirá a largo plazo que se puedan tomar medidas de mejora sobre claridad de rol.

#### 4.3.3 Construcción Mapa de Procesos

Para llevar a cabo la construcción del mapa de procesos, el cual era el objetivo de este trabajo, se debían tener en consideración los resultados obtenidos en las mediciones a nivel de proceso, ya que permitían identificar las problemáticas a las cuáles se les debía poner énfasis al realizar las observaciones entrevistas en terreno con los stakeholders identificados en la etapa de Definición y además, con este trabajo, se debieron validar los resultados de las mediciones a nivel personas, ya que se identificarían en cuáles decisiones es donde no hay claridad sobre quién toma cada decisión por parte de los operadores.

Los resultados de las mediciones a nivel de proceso indicaron que se debía poner atención a las operaciones de cambio de turno, máxima altura de stockpile, atollo e ingreso de inchancables, ya que estas fueron las que generaban mayor discontinuidad de vaciado. Dentro de las causas también se encontraba la espera de mineral, la cual indica problemas aguas arriba. Es importante aclarar que esta última problemática no estará cubierta explícitamente en el mapa de procesos, ya que esta fuera del área de Chancado, pero al ser una consecuencia directa sobre los niveles de stockpile, se verá indirectamente reflejada cómo es el flujo de comunicación respecto a esto y será incluida en el análisis posterior.

Dentro de este trabajo, es importante tener en cuenta que el mapa de procesos permitió identificar cuáles son los roles involucrados en la toma de una decisión específica, identificado quienes son los proveedores, clientes y responsable de cada una, además de demostrar si es que hay un procedimiento o estándar que seguir como plan de acción.

Al realizar la construcción del mapa de procesos, el cual puede observarse en el anexo C, se identificaron las siguientes operaciones que se generan en el proceso de Chancado, con sus respectivas observaciones:

- 1. Cambio de Turno:** Esta operación da inicio al proceso de Chancado. Es una reunión en el puesto de trabajo de alrededor de cinco minutos, en donde el operador de Chancado

saliente le informa a su contra turno sobre las novedades y puntos de atención ocurridos durante la jornada. Dentro de las observaciones de este punto, se tuvieron las siguientes:

- a. La discontinuidad de vaciado causada por el cambio de turno en la mina se daba ya que se detiene el carguío y descarga de mineral en los camiones durante el período en que los operadores abandonan el turno y realizan el relevo con el nuevo turno.

**2. Disponibilidad de equipos:** Si bien la disponibilidad dependía del área de Mantenición, era importante mapear el flujo de decisiones que se generaba cuando una falla es detectada, ya sea por parte del operador de Chancado en IROC o personal en terreno. De este punto se pudo observar que, en la mayoría de los casos, el flujo era el correcto, es decir, luego de la detección de una falla, la coordinación sucedía entre jefe de Turno de Operación de Chancado y Jefe de Turno de Mantenición. Sin embargo, se observó lo siguiente:

- a. En casos de extrema urgencia sobre detener un equipo, no existía claridad sobre si el operador debe actuar de igual forma o esperar la autorización del jefe de Turno. Por lo que, en este punto, se valida el resultado de la encuesta realizada a los operadores de IROC, sobre la baja claridad sobre quién toma cada decisión, identificando esta como una de ellas.
- b. Cuando un equipo presentaba fallas, pero podía continuar operando con restricciones, lo cual sucede principalmente en las correas transportadoras, en donde Mantenición entregaba restricciones sobre el uso de velocidad de estas, el operador comunica al jefe de Turno IROC, para que este esté en línea con lo sucedido.
- c. Cuando un chancador se encontraba no disponible, usualmente se utilizaba la estrategia de compartimiento de cargas del chancador disponible al otro no disponible, esto se evaluaba cuando había cierto nivel de stockpile disponible en ambas plantas, pero si bien este criterio fue establecido en un flujograma (ver Anexo D), flujo de decisión de indisponibilidad en el chancado), no está especificado cuál es el rol que debe autorizar y definir la distribución de carga mediante compuertas.
- d. Actualmente, el seguimiento a detenciones se hace en las reuniones de inicio de turno, donde el jefe de Turno debe informar a jefe de Turno IROC sobre el avance de la mantención o duración de detenciones programadas. Se observa que, en esta rutina, a veces este rol es reemplazado por el jefe de Operaciones de Chancado, sobre todo en los casos en que se está llevando una mantención a cabo.

**3. Atollo causado por bolones:** El atollo es causado por el envío de mineral sobre tamaño desde cuando se ejecuta el carguío desde la pala al camión y luego ingresa a la tolva de chancado si es que no fue rechazado por el camión o por el operador en la sala de control antes de la descarga del camión. Para este proceso, se observó lo siguiente:

- a. Solo había un operador de chancado, cada chancador tenía un semáforo, el cual indicaba la autorización para que el operador del camión descargue, este semáforo puede ser utilizado de forma automática, pero cuando el operador de sala observa que

está llegando material sobre tamaño debe autorizar manualmente la descarga de ambos chancadores, una vez que se descarga el mineral, no todas las cámaras tenían sistema de autolimpieza, por lo que era difícil para el operador detener la descarga en caso de que existieran bolones no visibles en la tolva del camión, es por esto que el sistema debe ser mayormente preventivo aguas arriba.

- b. Se observó variabilidad entre operadores sobre cómo estos se alertan sobre mineral sobre tamaño, se observó en un grupo donde el operador tenía comunicación con el operador de pala, esto se daba entre operadores que se conocían, por lo cual se daban avisos informales cuando observaban que se estaba cargando material sobre tamaño, pero no estaba estandarizado.
  - c. Existía un flujo de trabajo creado en IROC, sobre cómo actuar frente a eventos de ingreso de bolones al chancado (en Anexo E), sin embargo, nuevamente se observó que el personal de Planta no estaba en conocimiento, lo cual hubiera facilitado la claridad de roles y responsabilidades y, por ende, la efectividad en la gestión frente a este evento, ya que si es que los roles indicados estuvieran en conocimiento de que el jefe de Turno IROC era el encargado de averiguar la granulometría de los frentes de carguío, se hubieran podido acudir directamente a este rol para generar estrategias de prevención en conjunto, esto indicó que no hay conocimiento sobre el rol de IROC en ciertas decisiones o generación de estrategias.
  - d. No existía un stock de bolones con gran capacidad, por lo que a veces se debían enviar los bolones al chancador con el picarrocas en mejor estado, esto generó un uso excesivo de picarrocas durante el año 2022, los cuales estaban diseñados para reacomodamiento de mineral y no para ser utilizados durante grandes períodos de tiempo para romper bolones, los cuales a veces generan detenciones y uso de picarroca intermitente de más de 40 [min], generando discontinuidad de vaciado.
  - e. Cuando ya ocurría el atollo, hay un procedimiento por parte de Planta para hacer la limpieza de la tolva de gruesos, en donde se especificaba que el operador de la sala es quien debe realizar la coordinación con Servicios Mina para la detención. En cambio, en el flujograma (Ver Anexo E, decisión según disponibilidad de picarroca) aparecía que es el Jefe de Turno IROC quien debe coordinar el equipo para retiro de bolón, por lo que se observó nuevamente que no existía claridad de roles.
- 4. Atollo causado por inchancables:** Para este proceso de ingreso de inchancables a la tolva de gruesos, los cuales fueron definidos anteriormente, se observó lo siguiente:
- a. Hay sistema de detección de dientes de pala, pero no de entre dientes o piezas de perforadoras, por lo que a veces la detección de pérdida de estos es más lenta y durante las entrevistas con los jefes de turno de IROC se comentó que el seguimiento del protocolo de acción luego de detectar un inchancable no era tan frecuente como antes.

- b. Cuando había una detección de elementos de desgaste perdidos, no se generaba una alerta previa a personal de Planta, los avisos solo quedaban dentro del personal de Servicios de Gestión Mina e IROC, por lo que se observó que era fundamental aclarar cuál era el rol encargado de dar aviso al personal de Planta para poder prevenir el ingreso a uno de los chancadores.
- c. Luego de la detección de un inchancable, quien debía velar y liderar por el cumplimiento del procedimiento a seguir para proceder con la limpieza de tolva de gruesos era el jefe de Turno de Operaciones de Chancado, sin embargo, durante las observaciones en terreno, por las tareas que este debía realizar, muchas veces debía ser suplido por el Jefe de Operaciones de Chancado, lo cual indicaba nuevamente problemáticas de claridad de roles.

**1. Detención de Planta:** Las detenciones de planta a las que se hace referencia en el mapa de procesos, son a las cuales se les da por falla de equipos, no a detención por falta de mineral o atollo, en este caso se observó lo siguiente:

- a. No hay claridad por parte de jefes de turno de Chancado sobre en qué casos de emergencia el operador debe detener los equipos, para no ponerlos en riesgo.

**2. Niveles de stockpile bajos:** Este se daba cuando el nivel de stockpile no era suficiente para alimentar a la planta de Molienda y durante la observación de cuando se daba esto en la operación, se tuvo lo siguiente:

- a. No había consenso sobre cuál era la definición de bajo nivel de stockpile entre IROC y Planta, durante las entrevistas se entregaron números distintos para definir la criticidad de estos.
- b. Existía un flujograma de IROC (en Anexo D) sobre cómo actuar en casos de disminución de nivel de stockpile, pero no existía un plan de acción integrado para que las áreas de Mina, Planta e IROC trabajaran en conjunto.
- c. Cuando los niveles de stockpile eran críticos, solía suceder que jefe de Turno IROC tenía dificultades asegurando el vaciado con el personal de Gestión Mina y usualmente se debía escalar la situación para poder generar acciones de control, por lo que se evidenció nuevamente la necesidad de definir un plan de acción para poder controlar los niveles de stockpile de forma integrada entre áreas, estableciendo responsabilidades por rol.
- d. No se tenía claridad sobre el rol que debería ser responsable por los niveles de stockpile y liderar los planes de acción, ya que no se realizó una correcta gestión del cambio que indicaba que IROC debía velar por el cumplimiento de los niveles de stockpile.
- e. Se observó que era una problemática para IROC el ser responsables por el desempeño de los niveles de stockpile, ya que no podían intervenir en la operación de Chancado, de la cual era responsable la gerencia Planta.

- 3. Nivel de stockpile alto:** Este se daba cuando la pila de mineral está a casi 10 [m] del carro tripper, por lo que por temas de seguridad se debía detener la descarga en esa zona y mover el carro tripper a otra pila de mineral. El movimiento del carro toma alrededor de 5 a 10 minutos, por lo que el operador debe avisar al despachador previamente a realizar la maniobra, de que se detendrá la descarga de camiones por ese tiempo. De la observación en terreno de esto, se tuvo lo siguiente:
- a. En todos los grupos, se observó que el aviso de la maniobra al despachador se hace a tiempo.
  - b. Se necesitaba confirmación en terreno de que el nivel de cierto stockpile era alto, ya que los sensores no indicaban correctamente la altura de la pila, dada la contaminación que se generaba en la zona de acopio.

## 4.4 Análisis

### 4.4.1 Análisis Inestabilidad en niveles de stockpile

Dados los hallazgos generados por el trabajo en terreno realizado para la construcción del mapa de procesos y este mismo, se pudieron encontrar diversas causas asociadas a la inestabilidad de los niveles de stockpiles, las cuales pueden verse resumidas en el diagrama de Ishikawa de la Figura 17, el cual permitió determinar el origen del problema y a partir de esto buscar soluciones.

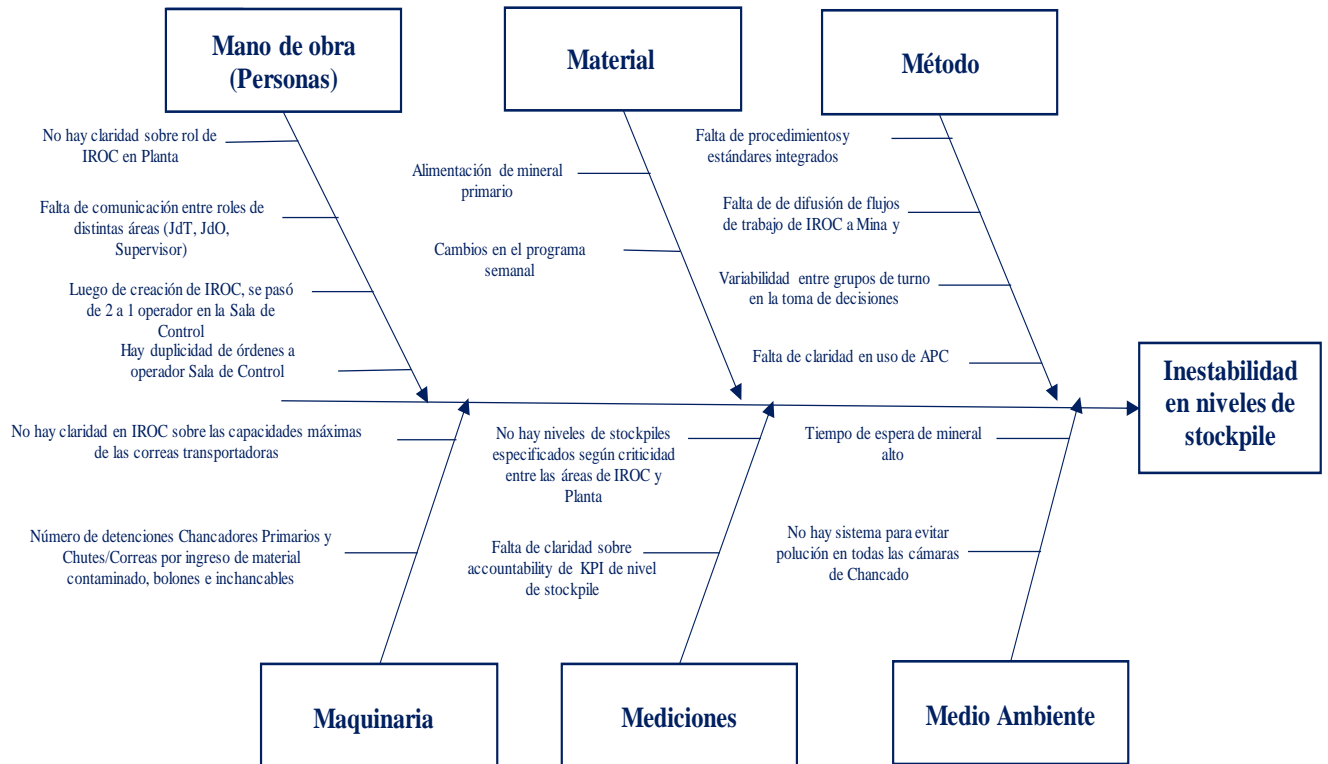


Figura 17. Diagrama de Ishikawa para inestabilidad en niveles de stockpile.

#### 4.4.2 Análisis 5 por qué

A continuación, se agruparon los hallazgos en seis causas más directas para el siguiente paso, para luego realizar los 5 porqués de cada una de estas y sus causas raíz, con el objetivo de proponer posibles oportunidades de mejora para estabilizar los niveles de stockpile.

##### 4.4.2.1 Causa Raíz 1

**Causa investigada:** Falta de comunicación y variabilidad entre grupos en la toma de decisiones.

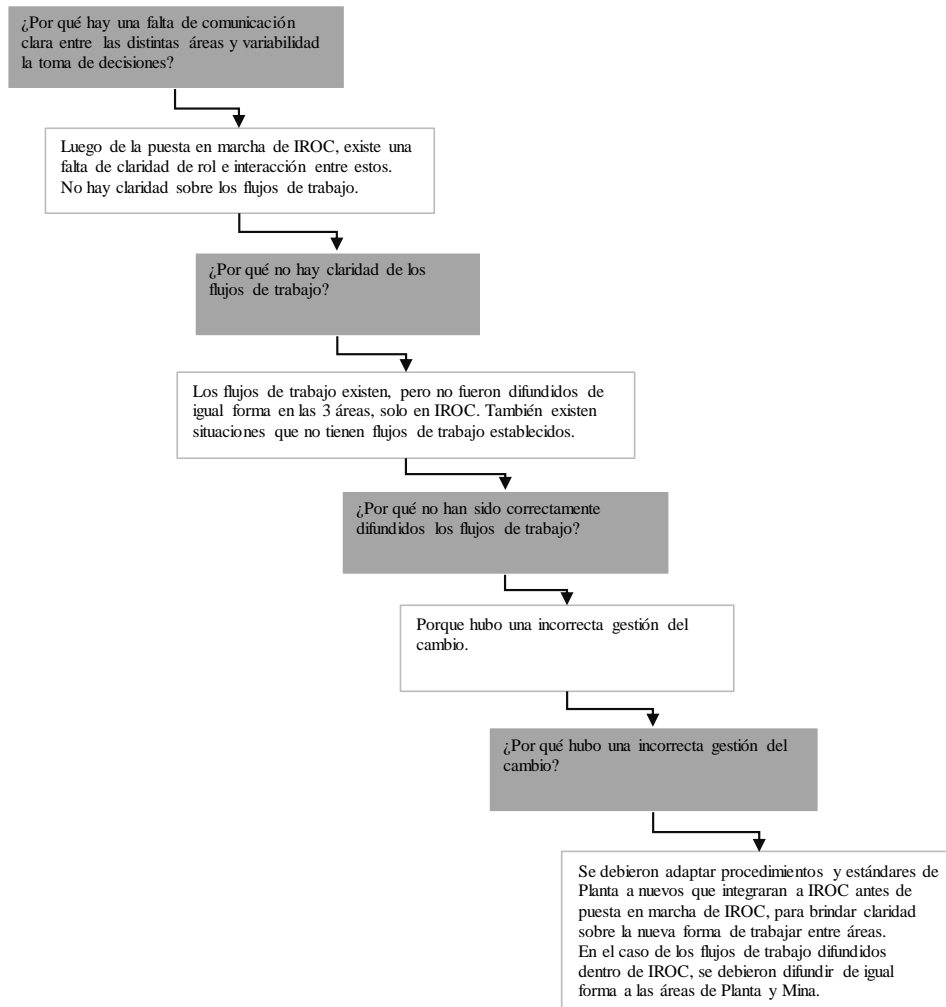


Figura 18. Análisis 5 por qué: Causa Raíz 1.

**Causa raíz:** Faltó una correcta implementación de gestión del cambio, lo que conllevó a que existen procedimientos y estándares adaptados que incluyan participación de IROC e incorrecta difusión de los existentes.

La falta de comunicación fue causada porque no había claridad sobre los flujos de trabajo entre áreas Mina, Planta e IROC, esto se concluyó luego de observar que existía variabilidad

entre grupos en la toma de decisiones durante la operación del proceso de Chancado, ya que no todos los operadores de chancado presentes en la sala de control respondían de igual forma a la pregunta sobre a quién debían reportar, ni tampoco existía claridad sobre si debían aceptar órdenes de parte de Jefe de Turno de IROC o si solo debían ser tomadas como recomendación, de igual forma, también fue observado que este último rol, junto al rol de Superintendente de IROC, sí ejercían órdenes, lo que generaba confusiones entre los operadores y esto se vio reflejado en la encuesta realizada. Esto se debía a que estaban principalmente asociadas con la manipulación de parámetros de los equipos del circuito de chancado, usualmente era el de velocidad de correas, por lo que se debe evaluar el rol de IROC como consultado, informado o responsable de estas decisiones operacionales.

La velocidad de las correas transportadoras del circuito de chancado es controlada por el operador de forma manual o automática, esto último se logra debido al sistema APC, el cual controla solo la velocidad de las primeas correas del circuito: CM1 y CM1-A para las plantas Los Bronces y Confluencia, respectivamente. El resto de las velocidades de ambos circuitos de correas se debe manipular de forma manual.

La velocidad está restringida principalmente por el peso que pueden soportar, por lo que es esencial tener una buena comunicación entre las áreas de mantención, planta e IROC para no sobre exigir las correas y provocar el deterioro de estas o generar atollo de mineral en los chutes y/o sistemas de transferencia dentro del circuito, sobre todo en el escenario en que los niveles de stockpile están bajos. Dado el deterioro actual de las correas y, además, a modo de prevención, las correas transportadoras CVB-003 y correa overland CVB-004 se pueden operar a velocidad máxima por un máximo de dos horas por turno, con el objetivo de aprovechar las condiciones en las que se tiene un flujo de camiones y mineral continuo. Por esto, era fundamental que existiera claridad sobre qué roles podían autorizar cambios en los parámetros de velocidad de las correas, ya que todos debían estar en pleno conocimiento de las condiciones actuales del proceso y las consecuencias que puede tener la manipulación de este parámetro. El alineamiento que se debía tener respecto al manejo de este parámetro debe estar presente en un flujo de trabajo para hacer más eficiente la toma de decisiones y se observó que actualmente no está estandarizada la forma de proceder al momento de autorizar la condición de velocidad máxima, lo cual permitiría aprovechar esta condición y no que varios roles canalicen la misma información necesaria para decidir.

Lo mencionado anteriormente fue una consecuencia luego de la puesta en marcha de IROC, en donde la Superintendencia de Operaciones de Chancado y Molienda no tenía procedimientos y estándares adaptados que incluyeran los nuevos roles de jefe de Turno de IROC y Superintendente de IROC, y no estaban registradas las actividades que debían cumplir en los casos que fueran necesarios y en los que fue observada su participación, los cuales pueden verse en el Anexo F.

En el caso de IROC, existían flujos de trabajo que describían como debían proceder en ciertas operaciones de forma integrada con los roles de Mina y Planta, pero no estaban correctamente difundidos. Lo anterior generaba variabilidad entre los grupos de turno sobre

la toma de decisiones operacionales, por lo cual fue evidente la falta de claridad de rol, luego de la puesta en marcha de IROC.

Adicional a los estándares, procedimientos y flujos de trabajo que deben ser actualizados, también se debe brindar claridad sobre la incidencia de estos dos roles de IROC, Jefe de Turno y Superintendente, en ciertos KPIs operacionales, como la velocidad de correas, ya que no existe un consenso sobre qué roles son los autorizados para manipularlos.

**Propuesta Plan de acción:** Se deben definir las actividades, responsabilidades y límites de cada rol, para así encontrar los roles correctos de la cadena de valor y luego de esto, se debe buscar la forma de difundir este trabajo para mejorar la gestión del cambio luego de la puesta en marcha de IROC y así brindar claridad de rol dentro del personal involucrado en el correcto funcionamiento del proceso de Chancado, verificando que los flujos de trabajo estén claros y así fomentar la comunicación eficiente y adaptación de procedimientos y estándares integrados entre Mina, Planta e IROC.

4.4.2.2 Causa Raíz 2

**Causa investigada:** No había claridad sobre que IROC posea accountability sobre los niveles de stockpile y, por ende, no podía liderar las estrategias asociadas a la estabilización de estos.

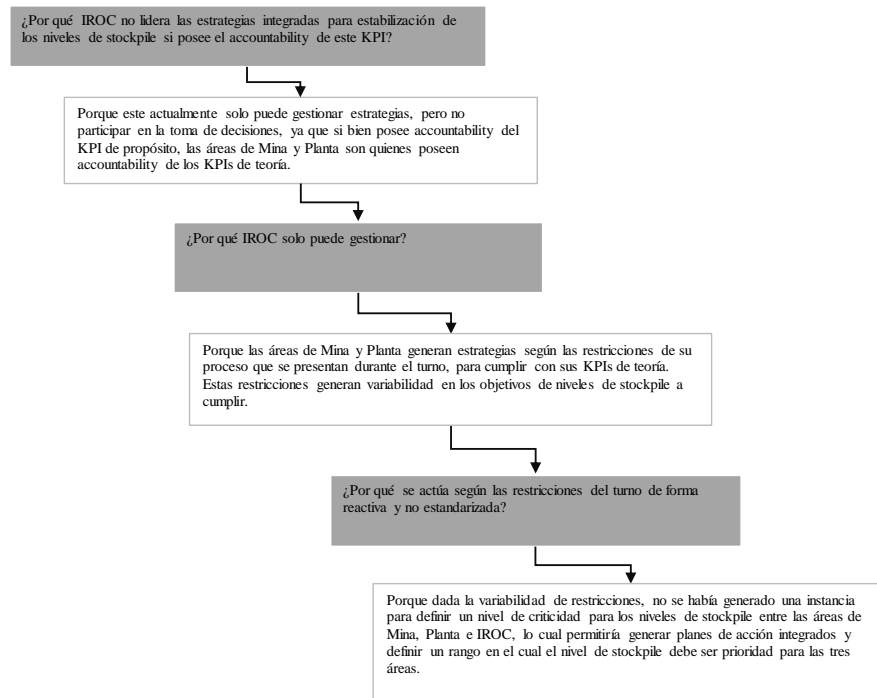


Figura 19. Análisis 5 por qué: Causa raíz 2.

**Causa raíz:** Generalmente se actuaba de modo reactivo y no se habían generado instancias para crear planes de acción integrados entre Planta, Mina e IROC.

En este análisis, se llegó a la conclusión de que la causa raíz de que IROC no tuviera liderazgo sobre las estrategias asociadas a la estabilización de niveles de stockpile fue que se actuaba principalmente de forma reactiva según las restricciones que se presentaran en los procesos de Planta o Mina, lo cual también generaba que los objetivos a cumplir para niveles de stockpile fueran variables durante el turno o la semana y por ende, no se generaron las instancias para definir niveles de criticidad de este KPI, para los cuales se pudieran generar planes de acción integrados, con el objetivo de evitar el doble trabajo, en el cual más de un área ejerciera acciones similares para estabilizar la operación, lo cual actualmente era un cuello de botella al momento de mitigar las disminuciones en los niveles de stockpile, ya que podía pasar que ambas áreas estuvieran solicitando información o ejerciendo órdenes sobre el operador de chancado, operador de despacho u otro personal de Operaciones Mina, por lo que es evidente que se debe tener un ente que integre las necesidades del proceso y las comunique, para evitar que realicen consultas repetidas que ralenticen las decisiones.

Durante el análisis de esta causa, se evidenció que también se debía trabajar en la baja claridad sobre el rol de IROC, principalmente hacia el rol de Jefe de Turno IROC (el cual es el que estaba más en contacto con los operadores) sobre si este era responsable, informado o consultado respecto a las decisiones que influían sobre los niveles de stockpile, ya que esto desfavoreció que se generara una comunicación y gestión eficiente al momento de generar planes de acción para estabilizar los niveles de stockpile, ya que los operadores no tenían claridad sobre si debían solo reportar u obedecer órdenes de este rol. Sin embargo, las entrevistas en terreno permitieron verificar que IROC si estaba informado sobre ser el accountable del KPI de niveles de stockpile, sin embargo, no se difundió de la forma correcta a los roles correctos de Planta, lo cual generaba roces en la toma de decisiones, y a que se generaran planes de acción enfocados en la estabilización de los niveles de stockpile de forma integrada.

**Propuesta Plan de acción:** Se sugirió que se generaran instancias en las que los roles correctos pudieran discutir y consensuar objetivos en conjunto para los niveles de stockpile, definiendo niveles de criticidad de estos y que así se pudieran generar planes de acción integrados entre Mina, Planta e IROC.

En cuanto a brindar claridad sobre el rol que tenía IROC sobre este KPI, es algo que debía ser definido en el punto anterior, en donde se concluyó que se debían establecer las responsabilidades de cada área en los KPIs operacionales que influían en los niveles de stockpile mediante una matriz de asignación de responsabilidades (RACI), con el objetivo de solucionar la problemática sobre las confusiones respecto al rol de jefe de turno IROC que fueron observadas dentro del personal de Planta y Mina, para que se evite el doble trabajo y escalamiento de decisiones de forma innecesaria.

### 4.4.2.3 Causa Raíz 3

**Causa Investigada:** Tiempo en espera de mineral por la no llegada de camiones.

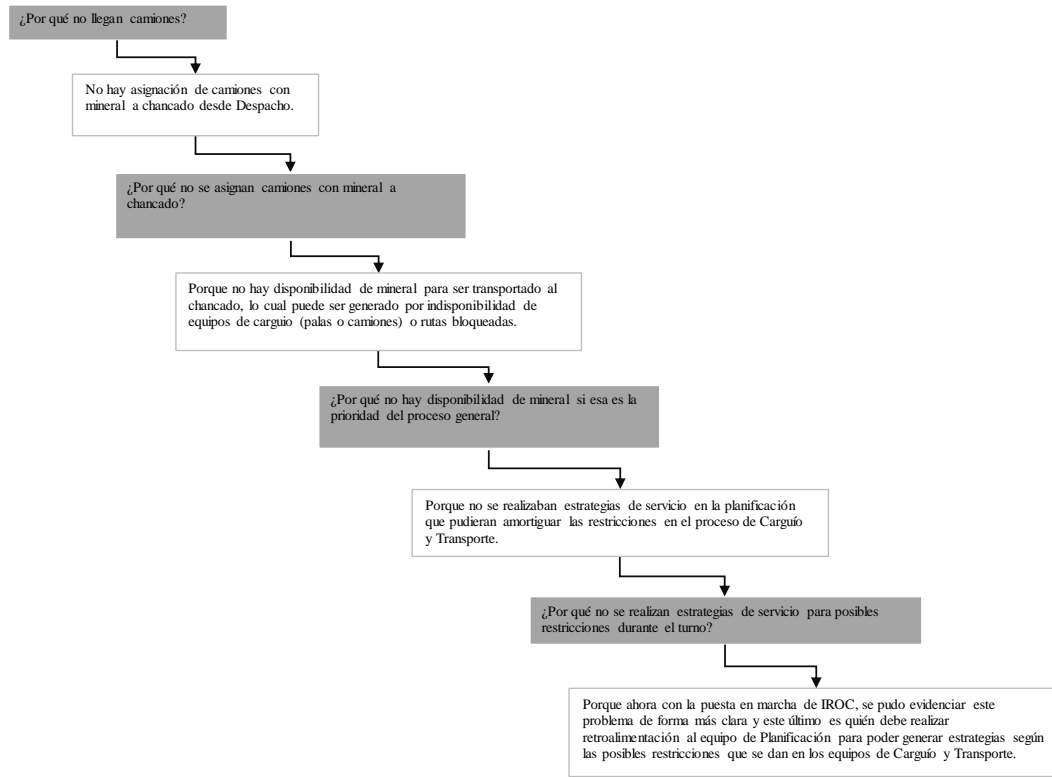


Figura 20. Análisis 5 por qué: Causa raíz 3.

**Causa Raíz:** No se consideraban estrategias de servicio en la planificación de alimentación para poder actuar frente a la indisponibilidad de equipos de carguío u otras restricciones.

Las detenciones por espera de mineral se generan cuando hay rutas bloqueadas por derrame o caída de equipos que impiden el tránsito o carguío de camiones, el tiempo de respuesta era variable según las estrategias de servicio presentes en ese momento.

**Propuesta de Plan de acción:** Es una oportunidad para que IROC pudiera evidenciar las principales restricciones dadas en el turno e impulsar el levantamiento de estas al área de planificación, para que así se generaran estrategias de servicio y no se actuara de forma reactiva generando altos tiempos en espera de mineral, entregando alternativas de alimentación según la disponibilidad de equipos de carguío o evaluando la posibilidad de dejar equipos de carguío en reserva según el desempeño de los niveles de stockpile.

#### 4.4.2.4 Causa Raíz 4

**Causa Investigada:** Ingreso de inchancables al chancador.

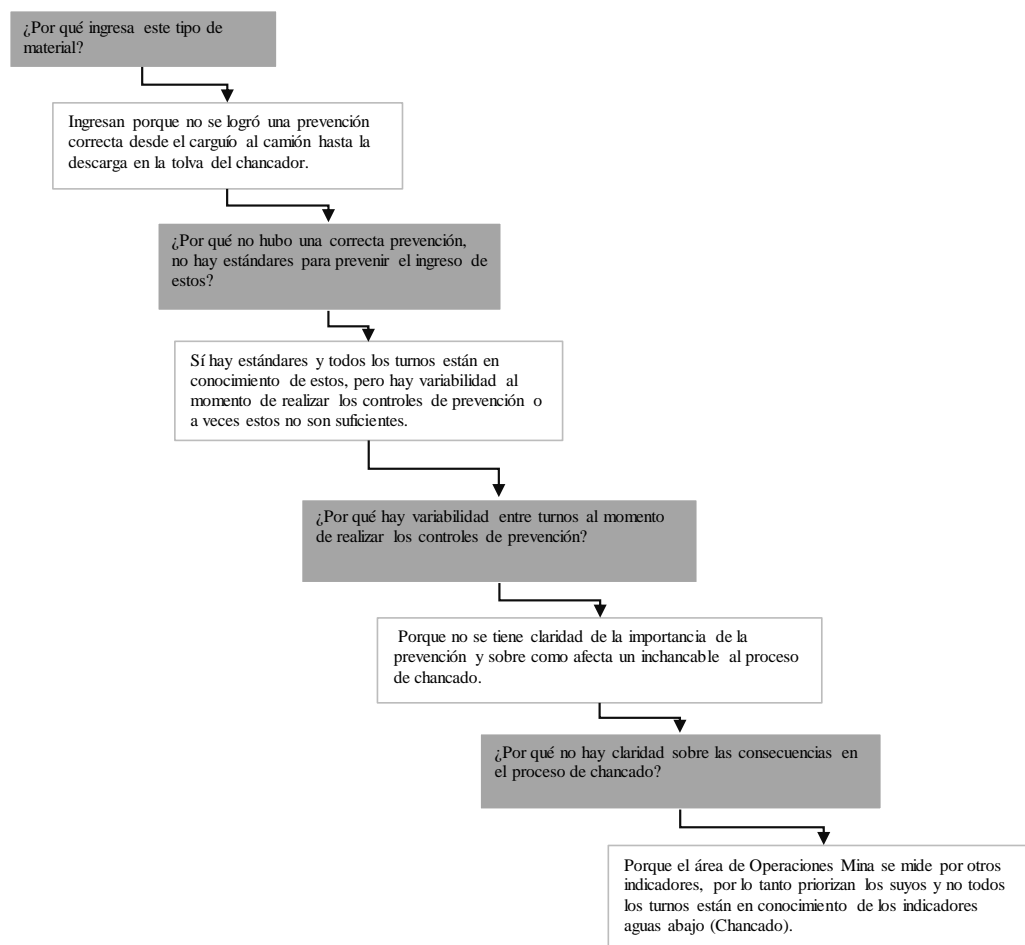


Figura 21. Análisis 5 por qué: Causa raíz 4.

**Causa Raíz:** No hay suficientes controles de prevención, dada la baja prioridad que se le da por parte del área de Mina a las detenciones de este tipo.

El ingreso de este tipo de mineral o material ocurría ya que no se realizaban los suficientes controles de prevención en el área de Mina, se observó que el personal de esta área conocía los estándares de prevención y sabía cómo realizarlos, sin embargo, dado el aumento de mineral primario (mayor probabilidad de mineral sobretamaño) o áreas de trabajo con presencia de material inchancable, como tubos de HDPE, se debía aumentar la frecuencia de controles y concientizar al personal de Mina sobre el impacto del ingreso de estos al chancador.

**Propuesta de Plan de acción:** Se debía levantar esta preocupación a los roles correctos de Operaciones Mina, para que se evaluara la frecuencia y calidad de los controles de prevención que se realizan a los equipos utilizados para carguío y transporte de mineral.

Se sugirió que las confirmaciones de proceso eran una gran oportunidad para evaluar si es que todos los operadores de carguío están en conocimiento sobre los procedimientos de prevención y así asegurar que estos se estén realizando correctamente y además confirmar que estos controles hayan sido realizados con la frecuencia establecida.

4.4.2.5 Causa Raíz 5

**Causa Investigada:** Baja utilización de los operadores del sistema automático de control APC.

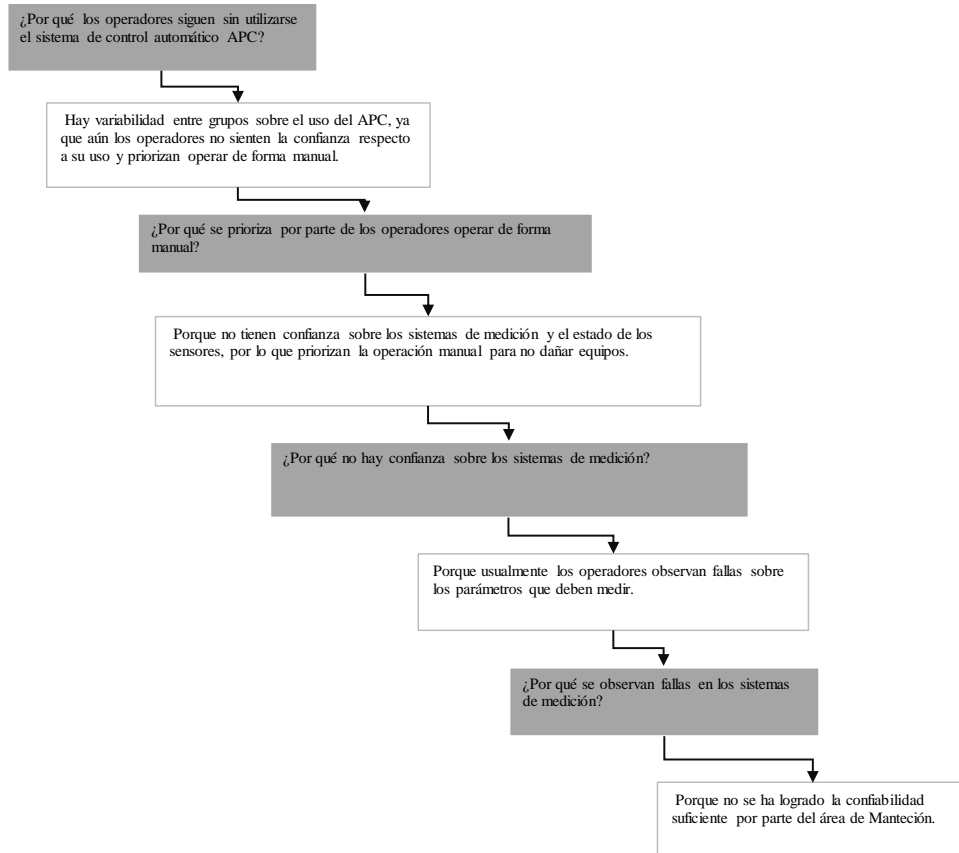


Figura 22. Análisis 5 por qué: Causa raíz 5.

**Causa Raíz:** Baja confiabilidad que entregan los sensores del circuito de Chancado que son utilizados por el APC.

La baja confianza respecto a los sensores por parte de los operadores se dio principalmente en el sensor que marca el tonelaje que está pasando por las correas del circuito, por lo que los operadores sienten desconfianza sobre el sistema y temen sobre exigir a estos equipos específicamente, lo cual los hace priorizar operar de forma manual.

**Propuesta de Plan de acción:** Se sugirió que esta problemática observada se debía levantar al área de Mantenición, para que se generaran pautas de mantenimiento que permitieran mantener a los sensores en buen estado, esta iniciativa permitiría aumentar la confianza de los operadores por el sistema de control y por ende aumentaría la confianza respecto a la operación automática.

La utilización de los sistemas automáticos en el proceso de Chancado era prioridad en este momento para la división Los Bronces, debido a que luego de la puesta en marcha de IROC, solo hay un operador de Chancado presente en la sala de control, el cual debe controlar ambos circuitos de Chancado (Los Bronces y Confluencia), ya que el otro está en la planta, por ende, era importante que el operador sintiera confianza respecto a estos sistemas. Es por esto, que el área de Planta debía fomentar el uso de APC y se sugirió la posibilidad de realizar una capacitación a los operadores, con el objetivo de que estos pudieran levantar sus problemáticas y dudas con el sistema de control, más un posterior acompañamiento por parte del área de Control de Procesos, para generar una buena gestión del cambio con este sistema.

4.4.2.6 Causa Raíz 6

**Causa Investigada:** Detenciones largas por ingreso de bolones.

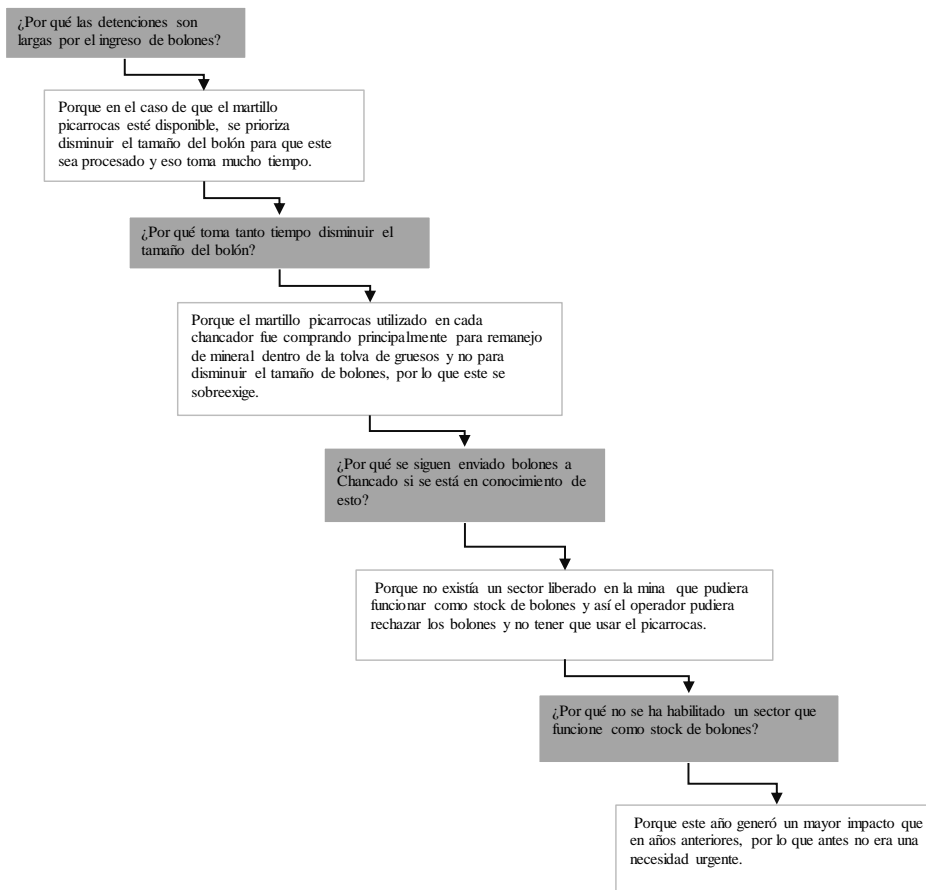


Figura 23. Análisis 5 por qué: Causa Raíz 6.

**Causa Raíz:** No hay un sector habilitado para almacenar bolones.

El ingreso de mineral sobre tamaño estaba dado por el aumento del mineral primario durante el año 2022, pero se mantuvo la misma frecuencia de controles de prevención luego de este aumento, lo cual se abordó en el punto 3. Sin embargo, la causa raíz era que cuando el bolón ingresaba a la tolva de gruesos del chancador, se priorizaba la utilización del martillo picarrocas y en el caso de que este no estuviera disponible se debía coordinar su retiro con una retroexcavadora (ver Anexo E), esto generaba largas detenciones, ya que los martillos picarrocas utilizados están diseñados para re manejo de material, por lo cual al operador le tomaban mucho tiempo los intentos de disminuir el tamaño de bolones para que estos fueran procesados y además esto se volvía un cuello de botella, ya que mientras este está operando el martillo picarrocas, también debía estar atento a la operación del otro chancador disponible. Todo esto sería evitable si es que el operador tuviera la posibilidad de rechazar los bolones para un stock específico en el que estos fueran almacenados, pero en la actualidad cuando se rechazaban eran enviados al stock de mineral, lo que generaba que estos pudieran volver a ingresar al chancador si es que no se prevenía su reingreso.

**Propuesta de Plan de acción:** Se sugirió levantar esta problemática con los roles adecuados para que se habilitara un espacio para almacenar bolones en forma de stockpile y así evitar sobre exigir al picarrocas, por lo mismo se sugirió que se reevaluara el uso de este equipo y/o alternativas a este según los pronósticos de alimentación de mineral primario para los años siguientes.

Posteriormente a este análisis, para el siguiente paso de Mejoras, se presentaron las causas raíz identificadas al equipo de Superintendencia de Mejoramiento del Negocio, donde se identificaron las que podían ser abordadas por el equipo y las que dependían directamente de la coordinación de otras superintendencias.

La causa raíz principal en la cual podía intervenir el equipo, era la gestión del cambio, la cual agrupaba las siguientes problemáticas identificadas: Falta de procedimientos y estándares adaptados que incluyan participación de IROC e incorrecta difusión de los existentes y la baja claridad sobre el rol de IROC que impedía un correcto liderazgo de esta área para la estabilización de los niveles de stockpile.

Las causas raíz que debían ser levantadas hacia otras gerencias fueron las siguientes: Falta de planes de acción integrados según criticidad de niveles de stockpile, incorporación de estrategias de servicio en la planificación del plan de alimentación semanal, cantidad de controles de prevención de inchancables y bolones no suficientes, baja confiabilidad de sensores del circuito de chancado primario que son utilizados por el sistema APC, picarrocas no apto para disminuir mineral sobre tamaño y falta de espacio que funcionara como stock de bolones. Estas causas fueron levantadas a través de las sesiones integradas de trabajo “Mina a Planta” que eran gestionados por la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio, a los cuales asistía personal de las Superintendencias de Gestión Mina, Operaciones Mina, Operaciones e IROC, estas tenían una frecuencia de una vez a la semana y se utilizaban para levantar diversas problemáticas que estuvieran afectando el desempeño del proceso de

Molienda para posteriormente generar planes de acción frente a estas u realizar el seguimiento de los planes y mejoras discutidas.

Las mejoras realizadas luego de la presentación de hallazgos se describieron en el siguiente punto, enfocándose en el avance de las que pudieron ser influenciadas por el equipo de Mejoramiento del Negocio.

#### 4.5 Mejoras

Se concluyó que las problemáticas de falta de comunicación entre áreas, variabilidad en la toma de decisiones y falta planes de acción integrados para actuar según criticidad de niveles de stockpile, fueron influenciadas por una gestión del cambio incompleta, lo cual se vio reflejado en que no existían procedimientos y estándares adaptados que incluyeran la participación de IROC y por ende se generó confusión sobre el rol que IROC debía cumplir, influyendo directamente la falta de claridad sobre sus responsabilidades sobre la estabilización de los niveles de stockpile.

#### 4.6 Mejoras asociadas a gestión del cambio

El levantamiento de la gestión del cambio incompleta como causa raíz permitió que se generará un “Taller de Claridad de Roles” liderado por el equipo de Mejoramiento del Negocio, el cual trabajó en conjunto con el equipo de Gestión del Cambio y Recursos Humanos y se enfocó principalmente en las estrategias de estabilización de los niveles de stockpile y los límites y responsabilidades que los roles de IROC, Planta y Mina tenían sobre estos, con el objetivo de brindar claridad de rol. Dentro de este taller, se reunió a los siguientes roles: Superintendentes de IROC, Planificación Mina, Operaciones Chancado y Molienda, Gestión Mina, Mantenimiento Chancado y Molienda e Ingeniería de Procesos y Control de Gestión, además de Jefe de Operaciones de Chancado y Jefe de Operaciones de Despacho Mina. Para cumplir con estos propósitos, se realizó una matriz de responsabilidades (RACI) para el KPI de nivel de stockpile. En la Tabla 2 se puede observar una matriz RACI, la cual indica con una inicial el rol de cada cargo de acuerdo con lo siguiente:

Tabla 2: Descripción de Matriz RACI

| <b>Descripción de Rol</b> |             |
|---------------------------|-------------|
| <b>R</b>                  | Responsable |
| <b>A</b>                  | Aprobador   |
| <b>C</b>                  | Consultado  |
| <b>I</b>                  | Informado   |

Esta matriz permitió llegar a un acuerdo sobre el papel que debía cumplir cada rol en los niveles de stockpile y posteriormente aclarar que el rol que respondía por el desempeño de los niveles de stockpile y la estabilidad de estos era el Superintendente de IROC, lo que

permitió cumplir el objetivo de la solución propuesta en el punto anterior, sobre definir responsabilidades y a la vez difundir el trabajo de forma simultánea, mejorando la gestión del cambio a través del taller. Los roles responsables, consultados e informados pueden observarse en la Figura 24, en donde el jefe de Turno IROC representa al rol integrador de las partes responsables del KPI:

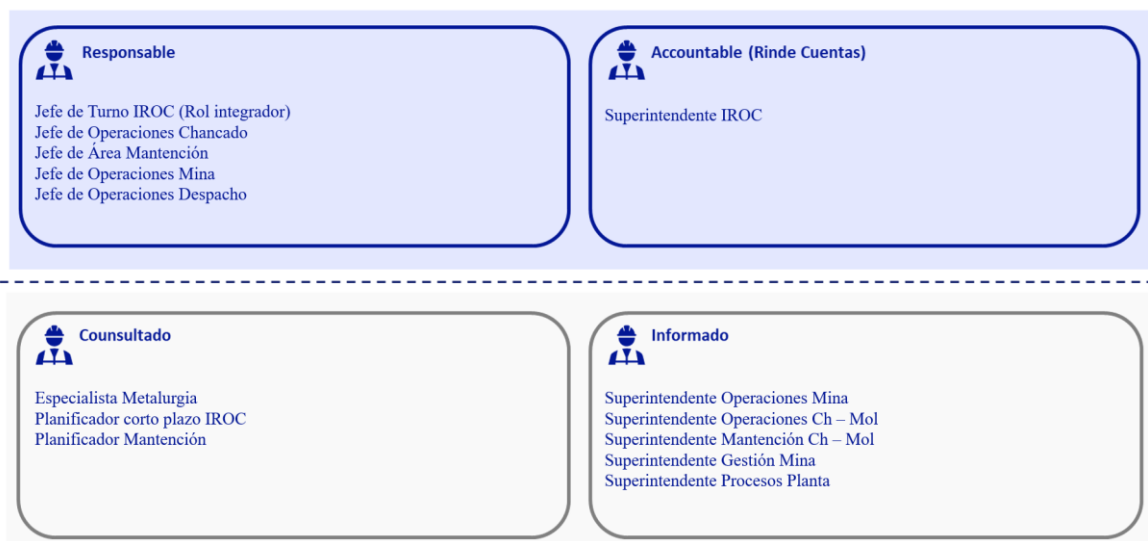


Figura 24. Matriz RACI niveles de stockpile.

En una segunda instancia del taller, se pudieron acordar los niveles de criticidad para los stockpile de ambas plantas: Confluencia y Los Bronces (ver Anexo H), lo que permitió cumplir el objetivo de poder actuar de forma estandarizada entre áreas y no reactiva, estableciendo una estructura al asignar responsabilidades según área o rol.

La gestión del plan de acción realizado y asignación de responsabilidades sobre el KPI de niveles de stockpile, llegó hasta la etapa de implementación. Al término del período de memoria el personal involucrado se encontraba en un proceso de gestión del cambio. Se espera que los resultados sean favorables, generándose continuidad en la alimentación hacia las plantas.

Es importante aclarar que se levantó la problemática sobre la difusión de los flujos de trabajo integrado generados por IROC y la actualización de los estándares y procedimientos de la gerencia Planta, en los cuales estaba presente la participación de IROC, pero esto queda fuera del alcance de este trabajo, ya que deben ser realizados por las superintendencias de Planta e IROC.

Por último, se sugirió que las confirmaciones de proceso eran útiles para la detección temprana de inchancables y bolones, ya que al utilizar un checklist, se podía corroborar el cumplimiento de los estándares operacionales de prevención de estos y por ende medir la adherencia operacional. A través de la confirmación de procesos se podían priorizar las actividades y procesos críticos en los cuales no se está respetando la manera acordada de

realizar cierta tarea específica y así mejorar la forma en la que se realizan los controles de prevención actualmente. Las sugerencias se presentan a continuación:

- **Confirmación de procesos para mejorar los controles de prevención de bolones e inchancables**

La realización de un checklist de confirmación de procesos puede desempeñar un papel importante en mejorar el sistema de prevención de bolones y evitar que lleguen al proceso de chancado, lo que a su vez ayuda a evitar detener el chancador y garantizar una operación más eficiente. Este podría contener lo siguiente para contribuir al objetivo:

### **1. Inspección de Material de Alimentación:**

- **Verificación Visual:** Aseguramiento de que los operadores de carguío estén realizando una inspección visual del material de alimentación antes de que ingrese al chancador para identificar cualquier signo de bolones o material grande de tipo inchancable que pueda causar atascos en la tolva de gruesos del chancador.
- **Utilización de Sensores:** Si hay sensores instalados en el futuro, el checklist podría incluir la comprobación de que los sensores de detección de bolones estén funcionando correctamente y generando alertas si se detecta un tamaño de material inusualmente grande.

### **2. Capacitación y Entrenamientos:**

- **Capacitación de Operadores:** El checklist podría incluir una sección sobre la capacitación de los operadores en el conocimiento sobre el estándar a seguir para prevenir el carguío de bolones e inchancables y sobre las consecuencias que generan estos últimos en el proceso de chancado, así se favorece la toma de decisiones rápidas, las acciones preventivas y la comunicación entre procesos.

### **3. Mantenimiento Preventivo:**

- **Revisión de Equipos:** El checklist podría establecer inspecciones regulares de los elementos de desgaste de los equipos utilizados en la tronadura y de carguío, con el objetivo de prevenir la pérdida de elementos a tiempo y que el chancador detenga por ingreso de inchancable.

### **4. Registro y Seguimiento:**

- **Documentación:** Se podría establecer la práctica de documentar cualquier detección de bolones o inchancables, con el objetivo de registrar para un seguimiento continuo y así identificar patrones o tendencias y mejorar el estándar de prevención actual.

### **5. Revisión Post-Operación:**

- **Análisis de Bolones:** Después de un turno de operación, el checklist podría incluir un análisis para determinar si se produjeron bolones y, en caso afirmativo, investigar las posibles causas y tomar medidas preventivas.

## 6. Retroalimentación y Mejora Continua:

- **Revisión y Mejora:** Los resultados y datos recopilados a través del checklist podrían utilizarse para identificar áreas de mejora en el sistema de prevención de bolones e inchancables y tomar acciones para optimizarlo con el tiempo.

En resumen, un checklist de confirmación de procesos puede proporcionar una estructura para asegurarse de que se están tomando las medidas necesarias para prevenir la formación de bolones y evitar que lleguen al proceso de chancado. Ayuda a establecer prácticas consistentes, a mejorar la detección temprana y a tomar medidas preventivas, lo que en última instancia contribuye a mantener la operación del chancador sin interrupciones no planificadas y a mejorar la eficiencia global del proceso.

- **Confirmación de procesos para fomentar uso de sistema APC**

Se sugiere diseñar un checklist de confirmación de procesos para fomentar el uso del sistema APC por los operadores de chancado, el cual podría contemplar los siguientes puntos:

### 1. Preparación y Planificación:

- **Verificación de Datos:** El checklist podría incluir un paso para verificar que los datos de entrada necesarios para el APC estén disponibles y sean precisos, es decir que estén funcionando dadas las condiciones de operación. Esto garantiza que el modelo de control tenga información confiable para realizar predicciones precisas.
- **Establecimiento de Objetivos:** Los operadores pueden definir los objetivos específicos que desean lograr mediante el uso del APC, como mejorar la eficiencia de chancado o asegurar un tonelaje objetivo para ser transportado por las correas.

### 2. Implementación:

- **Activación del Sistema:** Se podría verificar durante las inspecciones que el sistema APC esté activado y funcionando según lo previsto, y que las conexiones con los equipos y sensores estén establecidas correctamente.
- **Ajuste de Parámetros:** Comprobar que los parámetros del APC estén configurados adecuadamente para el proceso de chancado y que los límites de operación estén definidos correctamente.

### 3. Monitoreo y Uso Continuo:

- **Detección de Desviaciones:** El checklist podría incluir indicadores clave de desviaciones o anomalías que los operadores deben observar mientras monitorean el proceso con el APC, esto permitirá identificar problemas con los valores entregados por los sensores utilizados y así mejorar el estado de estos últimos, en el caso de que se evidencien fallas.

#### 4. Resolución de Problemas:

- **Acciones Correctivas:** Si se detectan desviaciones significativas o problemas en el proceso, el checklist podría guiar a los operadores para tomar acciones correctivas o ajustar los parámetros del APC según sea necesario.

#### 5. Retroalimentación y Mejora Continua:

- **Revisión de Resultados:** Los operadores pueden comparar los resultados obtenidos con los objetivos establecidos inicialmente y evaluar si se están logrando las mejoras esperadas al utilizar el sistema APC en comparación a la operación manual.
- **Retroalimentación al Equipo:** El checklist podría incluir un punto para proporcionar retroalimentación al equipo responsable del APC sobre la eficacia del sistema y cualquier problema o mejora potencial identificada.

La implementación de un checklist de confirmación de procesos proporciona una estructura sistemática para asegurarse de que se estén considerando todos los aspectos clave al utilizar el sistema APC en el proceso de chancado. Esto ayuda a los operadores a seguir prácticas consistentes y también a la Superintendencia de Ingeniería y Control de Gestión a recibir retroalimentación por parte de los operadores para poder mejorar el sistema APC y así lograr los objetivos deseados de manera efectiva.

## 5 Capítulo 5: Conclusiones y Sugerencias

En primer lugar, se logró identificar que las pérdidas por tratamiento horario de mineral en el proceso de Molienda SAG fueron causadas por discontinuidad de vaciado y tiempo en operación de los molinos SAG, con un 40% Y 19% respectivamente, esto permitió darle el enfoque correcto a la investigación realizada para el proceso de Chancado, definiendo como prioridad del proyecto el encontrar cuellos de botella a nivel de proceso, personas y sistemas que influían en la inestabilidad de los niveles de stockpile y en consecuencia generaban discontinuidad en la alimentación a los molinos SAG de las plantas Los Bronces y Confluencia.

Dado que se identificó como problemática principal la inestabilidad en los niveles de stockpiles, se generó la necesidad de encontrar los principales cuellos de botella que ocurrían en el proceso de Chancado, mediante el levantamiento de las detenciones operacionales más recurrentes de ambos chancadores, lo cual permitió darle el enfoque correcto a la investigación del flujo de decisiones que se realizaba cuando ocurrían estas problemáticas, mediante un proceso de entrevistas en terreno a los operadores de las operaciones de Despacho, Chancado, Molienda y personal de IROC para así poder generar el mapa de proceso del chancado e identificar falencias relacionadas al proceso, personas o sistemas, lo cual fue importante, ya que este trabajo debía tener una visión integrada de la operación de Chancado, que permitiera estudiar si es que existían cambios en los flujos de decisiones luego de la puesta en marcha de IROC y el traslado de los operadores desde las salas de control en terreno a la sala de control de operación remota ubicada en Torre Titanium.

Por medio del mapa de procesos se lograron identificar las causas que generaban inestabilidad en los niveles de stockpile en el proceso de Chancado, identificando como una de las principales una incorrecta implementación de gestión del cambio, lo cual se vio reflejado en una variabilidad en la toma de decisiones entre grupos de turno, falta de comunicación entre áreas, retraso en la toma de decisiones integradas y baja claridad sobre quién tomaba cada decisión, luego de la incorporación de los roles de Jefe de Turno y Superintendente de IROC, lo que afectaba directamente la falta de planes de acción integrados entre las áreas de Mina, Planta e IROC y gestión entre estas para estabilizar los niveles de stockpile.

A través de la aplicación de la metodología se logró la identificación de los problemas que generaban cuellos de botella, se propusieron mejoras aplicadas al proceso, estructura, liderazgo y sistemas. Estas mejoras tuvieron como objetivo mejorar la claridad de rol de cada área y asignación de responsabilidades sobre el desempeño de los niveles de stockpile, con el objetivo de mejorar la comunicación entre las áreas involucradas, agilizar la gestión integrada mediante generación de planes de acción según resultados, fortalecer la figura de IROC a impulsar acciones preventivas para aumentar el trabajo planificado y disminuir el trabajo reactivo y a levantar la preocupación por parte de los operadores sobre la confiabilidad de los sensores para que así se generasen pautas de mantenimiento sobre estos.

Además, se pudo identificar como oportunidad de mejora y se sugirió la realización de confirmaciones de proceso a los operadores de carguío para fomentar los ciclos de mejora

continúa respecto al seguimiento del estándar de prevención de bolones e inchancables y así concientizar a la operación aguas arriba sobre el impacto que tiene la realización de controles de prevención en los procesos aguas abajo. Esta iniciativa, también se sugirió para ser realizada a los operadores de chancado, como una forma de acompañamiento y seguimiento durante la utilización de sistemas automáticos en la operación, fomentando su uso y así generar retroalimentación para la Superintendencia de Ingeniería y Control de Procesos.

Finalmente, se cumplió el objetivo de brindar claridad a través del mapa de proceso sobre el rol de las áreas de Planta, Mina e IROC en el proceso de Chancado, ya que una de las aplicaciones que tiene el mapa de procesos, es poder dar sustento durante los ciclos de Análisis y Mejora realizados por la Superintendencia de Mejoramiento del Negocio, ya que a partir de problemáticas que se estén dando en el proceso de chancado, se tendrán identificados los roles a los cuáles se debe recurrir, sistemas, procedimientos o estándares que se deben revisar, permitiendo identificar oportunidades de mejora de forma más rápida.

Se espera que a futuro se realice una matriz RACI de los indicadores de teoría del nivel de stockpile, ya que la difusión de esta afectará la estructura de la toma de decisiones sobre la estabilización de los niveles de stockpile, al otorgar roles y responsabilidades y además al liderazgo, ya que generará redes de comunicación efectiva que impulsen la correcta canalización de la información.

El desarrollo de la memoria se basó en la identificación de un problema real, el cual fue la inestabilidad en los niveles de stockpile, lo que afecta directamente los resultados de la producción, se espera que con las medidas implementadas y oportunidades levantadas se logre traspasar el cuello de botella hacia las Plantas Concentradoras, que deberían ser la limitante de la producción de acuerdo con la capacidad de procesamiento de las líneas productivas.

Se espera que los correctos lineamientos para la gestión de los procesos productivos, junto con la definición de flujos de comunicación claros, logren mejorar los resultados operativos sin la necesidad de inversiones significativas. La utilización efectiva de los recursos disponibles es primordial para el cumplimiento de los objetivos operacionales planificados de acuerdo con las capacidades del proceso.

Por último, se sugiere que esta metodología de mapeo de procesos sea utilizada para los procesos de Perforación y Tronadura, los cuales son fundamentales para el aseguramiento de la granulometría necesaria de alimentación a la molienda SAG. Además, al abarcar estos procesos se podrían identificar posibles oportunidades de mejora que repercutan en la prevención de inchancables provenientes de elementos de desgaste de equipos utilizados en estos procesos y de bolones al evaluar estrategias que repercutirían en la disminución de mineral sobre tamaño en el proceso de tronadura. Por otro lado, para asegurar la obtención resultados que repercutan positivamente en el proceso, se sugiere incorporar una encuesta a los stakeholders del proceso acerca de sus expectativas y percepción sobre oportunidades en el proceso, con el objetivo de tener un alcance que abarque las necesidades reales de la empresa.

## 6 Bibliografía

- Accenture . (2022). *Flujos de Trabajo de Operación Integrada*. Santiago.
- Anglo American . (2022). *Reconciliación de Producción Anual*. Santiago, Chile.
- Anglo American. (2012). *Informe a Comunidades Los Bronces*. Santiago, Chile.
- Anglo American. (2018). *Proyecto CIGO 2018*. Santiago.
- Anglo American. (2018). *Reporte de Sustentabilidad 2018*. Chile: Anglo American.
- Anglo American. (2021). *Integrated Annual Report 2021*. Londres: Anglo American plc.
- Anglo American. (2022). *Informe de desempeño Diciembre 2022*. Superintendencia de Ingeniería de Procesos y Control de Gestión.
- Anglo American. (2022). *Integrated Annual Report 2022*. Londres: Anglo American .
- Anglo American. (2022). *SGM: Sistema de Gestión del Mantenimiento*. Recuperado el Febrero de 2023, de [http://10.187.0.119:8001/RGM/frm\\_Mantencion.aspx](http://10.187.0.119:8001/RGM/frm_Mantencion.aspx)
- Briones, O. (2017). *Mejoramiento del Sistema de gestión de pérdidas operacionales en mina Los Bronces*. Universidad de Chile, Ingeniería de Minas, Santiago, Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148017/Mejoramiento-del-sistema-de-gestion-de-perdidas-operacionales-en-la-Mina-Los-Bronces.pdf?sequence=1>
- Carrizales, J. (2016). *Causa raíz del problema*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20526/Capitulo4.pdf>
- Consejo Minero. (2023). *Consejo Minero*. Obtenido de Consejo Minero: <https://consejominero.cl/nosotros/socios/anglo-american/>
- ELECTRIC, G. y. (sin fecha). Metodología DMAIC. 14-16.
- Gallardo, C. (2021). *Aplicabilidad de la metodología Seis Sigma en proyectos de edificación*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago, Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/182168/Aplicabilidad-de-la-metodologia-Seis-Sigma-en-proyectos-de-edificacion.pdf?sequence=1>
- KEYPRO Ingeniería. (2022). *Proyecto Análisis de Capacidad Los Bronces: Operación Los Bronces*. Santiago.
- Legaria Méndez, G. (2010). *Análisis de propuesta de mejora al proceso de la dirección general de vida silvestre (DGVS) mediante la aplicación de la metodología DMAIC de six sigma*. Universidad de México. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000666061>
- Miro. (2022). *Miro*. Obtenido de Miro: <https://miro.com/es/plantillas/diagrama-sipoc/>

- Ocampo, J. y. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. *LACCEI : Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 23-27.
- Pérez-López, E. García-Cerdas, M. (Julio-Septiembre de 2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Tecnología en Marcha*, 27, 88-106. Obtenido de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/2070/1876](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2070/1876)
- Ramos, R. (2018). *Evaluación de dispositivos de extracción de inchancables en maqueta de chancador primario*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Rojas, L. (2016). *Propuesta y evaluación de estrategias de minimización del uso de agua en la producción de jugos sin aditivos*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología, Santiago, Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144131/Propuesta-y-evaluaci%C3%B3n-de-estrategias-de-minimizaci%C3%B3n-del-uso-de-agua-en-la-producci%C3%B3n-de-jugos-sin.pdf?sequence=1>
- Vélez, R. (2014). *Diseño de un mapa de procesos para la cooperativa de transportes Loja*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9198/1/TESIS%20DISE%20DE%20MAPA%20DE%20PROCESOS%20PARA%20LA%20COOPERATIVA%20DE%20TRAN.pdf>
- Yepes, V. y. (2004). *Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción [en línea]*. Obtenido de <http://personales.upv.es/vyepesp/05YPX01.pdf>