



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL NIVEL DE TRASPASO EN LA CONFIABILIDAD DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

MARCO ANTONIO CORNEJO CASTRO

PROFESOR GUÍA:

ENRIQUE RUBIO ESQUIVEL

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JULIÁN ORTIZ CABRERA

ALFONSO OVALLE WALKER

SANTIAGO DE CHILE

SEPTIEMBRE 2008

Resumen

Los métodos de explotación subterráneos Block/Panel Caving poseen componentes de infraestructura de producción tales como puntos de extracción, cruzados de producción piques de traspaso y cruzados de transporte. Estos están sujetos a ser interrumpidos debido a diversos tipos de eventos geotécnicos tales como sobretamaños, colgaduras, desplomes, reparación de carpetas de rodado, falla de martillos picadores, entre otros. Existe evidencia que la productividad de la mina y sus componentes de infraestructura dependen del número de eventos a experimentar en un periodo de tiempo. La productividad de la mina depende de la productividad de cada componente, siendo los piques de traspaso fundamentales en definir esta productividad.

El objetivo del presente trabajo, es cuantificar el efecto del sistema de traspaso en la confiabilidad de un programa de producción minero, en particular en la productividad de cruzados de producción.

El estudio se centra en el análisis de la mina DOZ de la compañía PT Freeport Indonesia, quienes cuentan con información histórica de producción e interferencias operacionales de los piques de traspaso del año 2006. Con estos se construyen curvas de productividad y frecuencia de eventos por pique, siendo las colgaduras el evento más frecuente (7 por mes) y los eventos mecánicos casi constantes durante todo el periodo (2 por mes). La producción de la mina se sostiene en los piques más maduros (80 – 130 Kt/mes) los que están relacionados con el cruzado de transporte 2.

La modelación de la producción permite definir curvas de frecuencias de eventos (Curva U) las que muestran la relación entre la frecuencia de ocurrencia de eventos y el tonelaje acumulado de una componente y curvas de productividad (Curva de Producción Característica) la que describe las toneladas/periodo de un componente de la infraestructura minera, en función del número de eventos experimentados

Con las Curvas U y de producción características alimentan de modelos simulación de eventos discretos en Arena software para cuantificar la influencia de las interferencias operacionales de los piques en el cruzado de producción. En estas se aprecia que para una calle de producción, las productividades disminuyen si el número de eventos en los piques es mayor (diferencias de productividades de hasta 35 Kt para piques sin eventos y piques que fallan cada 7 Kt).

En resumen, se propone considerar en la elaboración del plan de producción las interferencias operacionales ocurridas en los piques de traspaso, ya que como se demostró la influencia de estas puede ser significativa a la hora de extraer lo que indica el plan.

Abstract

The underground exploitation method of Block/Panel Caving has infrastructure components such as extraction point, production and haulage level drifts, and ore-passes. Those are subjects to be interrupted due to various types of geotechnical events such as over-size, hung-up, collapses, failed in rock-breaker and combination between them. There were a lot of evidences that mine productivity and its infrastructure components are depending on those numbers of events in some period of time. Therefore, the mine productivity is depending on every component, also condition of ore-passes are fundamental on defining that productivity.

The objective of this work is to quantify the effect of ore-pass system reliability in the mining production, in particular in the production drift.

This study is concentrating on analysis at DOZ mine-PT Freeport Indonesia, which has information history of production and operational interference of ore-pass in year 2006. It was constructed the productivity curve and frequency of event per ore-pass. It was observed some hung-up events occurred as many as 7 per-month and some events nearly constant within all periods (2 per-month). The mine production in those old ore-passes is in between 80-130 kt/month and related with haulage-2 drift.

The production modeling allows us to define curve of event frequency (Curve-U) that shows the relation between frequency of occurred events and accumulated tonnages of one component and productivity curve (curve of characteristic production) that describes the tonnage/period of mining infrastructure component, in a function of number of experimented events.

The input for simulation model with Arena software are curve U and production curve characteristic to quantify the influence of operational interference in production level drift. It was assessed also for one main drift at production level, the productivity decreasing if the number of events in those ore-passes are greater (different productivity until 35 kt for ore-passes without events and failed every 7 kt)

In summary, it was proposed in production plan to elaborate the operational interference occurred in ore-pass so that the influence could be known whether significant or not in hours as already indicated in plan.

Agradecimientos

Uf, después de nueve años de “estudio” estoy escribiendo estas palabras lo que significa que por fin termine mi carrera. La verdad que creo no poder plasmar en estas líneas todo lo que siento en este momento, son muchos los sentimientos que se vienen a mí, pero la verdad es que primero que todo quisiera agradecer el amor, el cariño y por sobre todo la paciencia ustedes papa y mama tuvieron. Esto es para ustedes, ya que sin su apoyo y dedicación no habría logrado nada, a lo mejor me equivoque en farrearame tantos años, pero la verdad que ahora me siento un hombre integro el cual durante todo este tiempo siempre tuvo la mano y el gesto de ustedes, que si me caía ahí ustedes me paraban una y otra vez. Espero que se sientan orgullos de mi porque esto no es mío, sino que de ustedes.

Otra persona fundamental en todo es periodo es mi mena, no terminaría nunca de escribir lo que eres para mí, pero me siento la persona más afortunada del mundo ya que tengo dos mamas, gracias y esto también es para ti. Ale, Fabián ¿vieron que se puede?

Paula gracias por ser mi hermana mayor, lo logre.

Muchos me molestan porque me he demorado mucho, pero el último tiempo he sentado cabeza no solo por mí, sino por la mujer que estos dos últimos años ha estado conmigo. Gracias Claudia, mi amor por aguantarme, ahora le toca a usted salir. Te amo.

Recuerdo cuando fui a la oficina de un profesor a pedirle tema de memoria, el me dijo “...y *quien soy yo...*”, bueno ya ha pasado un año y mas que un profesor se convirtió en un amigo y por sobre todo quien me apoyo y confió en mí como persona y profesional. Gracias Enrique por todo, ojala que todos tus proyectos de vida se cumplan. También de manera muy especial quisiera agradecer a Sebastián, quien siempre tuvo tiempo para ayudarme en mi trabajo de memoria.

Más que agradecer quisiera recordar a todos las amistades que hice en estos nueve años, nombrarlos sería injusto, pero quisiera saludar “los malos” con quienes tuvimos los mejores carretes en la U y a mis compañeros de REDCO (Javier y Gabriel) con quienes actualmente trabajo.

Por último, y pesar de estar nueve años estudiando les puedo decir a todos que lo logre.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Introducción..... | 1 |
| | 1.1 Objetivos | 6 |
| | 1.1.1 Objetivos Generales..... | 6 |
| | 1.1.2 Objetivos Específicos..... | 6 |
| | 1.2 Alcances | 6 |
| | 1.3 Metodología | 7 |
| 2 | Antecedentes Bibliográficos | 9 |
| | 2.1 Planificación de la Producción..... | 9 |
| | 2.2 Estado del Problema | 10 |
| | 2.3 Origen de la Teoría de la Confiabilidad | 12 |
| | 2.3.1 Confiabilidad de Múltiples Componentes | 14 |
| | 2.4 Confiabilidad aplicada a la Planificación Minera | 15 |
| | 2.4.1 Antecedentes (Modelo de Confiabilidad)..... | 15 |
| | 2.4.2 Parámetros del Modelo | 16 |
| | Curvas U | 16 |
| | Curva de Producción Característica (PCC) | 17 |
| | Cálculo de Confiabilidad de las Componentes del Sistema | 18 |
| | 2.4.3 Resultados de la Metodología..... | 20 |
| | 2.5 Piques de Traspaso | 21 |
| | Diseño..... | 22 |
| | Interferencias Operacionales..... | 24 |
| | 2.6 Simulación | 25 |
| | 2.6.1 Clasificación de modelos | 29 |
| 3 | Análisis de Información Mina PT Freeport DOZ..... | 32 |
| | 3.1 Antecedentes de la Mina | 32 |
| | 3.2 Infraestructura Mina | 34 |
| | 3.2.1 Nivel de Producción | 34 |
| | 3.2.2 Nivel de Transporte..... | 35 |
| | 3.3 Análisis Históricos de Producción..... | 35 |
| | 3.3.1 Producción Mina | 36 |
| 4 | Análisis Información Piques de Traspaso..... | 38 |
| | 4.1 Análisis Información. Piques de Traspaso Año 2006..... | 39 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1.1 | Mina | 39 |
| | Análisis Productividad | 39 |
| | Análisis Eventos | 42 |
| 4.2 | Sectorización Piques de Traspasos | 44 |
| 4.2.1 | Sectorización por Cruzado de Transporte | 44 |
| | Producción | 45 |
| | Eventos | 47 |
| 4.2.2 | Por Tipo de Eventos..... | 49 |
| | Colgaduras..... | 49 |
| | Mecánicos..... | 51 |
| 5 | Curvas U y Curvas de Producción Característica. Piques de Traspaso..... | 54 |
| 5.1 | Metodología | 54 |
| 5.1.1 | Estructuración de la información | 54 |
| | Eventos | 54 |
| | Tonelajes | 55 |
| 5.1.2 | Curvas U..... | 55 |
| 5.1.3 | Curvas PCC | 58 |
| 5.2 | Resultados y Análisis | 59 |
| 5.2.1 | Curvas U..... | 59 |
| 5.2.2 | Curva de Producción Característica (PCC) | 63 |
| 5.3 | Incorporación Curvas U y PCC en Modelo de Confiabilidad | 65 |
| 6 | Simulación..... | 69 |
| 6.1 | Construcción del Modelo..... | 69 |
| 6.2 | Descripción Modelo..... | 70 |
| 6.2.1 | Puntos de Extracción | 71 |
| | Tiempo de Llegadas..... | 71 |
| | Interferencias Operacionales..... | 71 |
| | Equipo LHD..... | 73 |
| | Ciclo de Carguío | 74 |
| | Mineral | 75 |
| | Cuadrillas de reducción secundaria..... | 75 |
| | Reparación de puntos de extracción | 75 |
| | Modelo puntos de extracción..... | 76 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.2.2 | Piques de traspaso | 78 |
| | Interferencias operacionales | 78 |
| | Modelo Piques de Traspaso | 80 |
| 6.3 | Parámetros del Modelo | 81 |
| 6.3.1 | Parámetros variables entre simulaciones..... | 83 |
| 6.4 | Validación del Modelo de Simulación | 84 |
| 6.5 | Resultados y Análisis | 86 |
| 7 | Conclusiones y Recomendaciones..... | 90 |
| 7.1 | Conclusiones..... | 90 |
| 7.2 | Recomendaciones..... | 92 |
| 8 | Bibliografía | 93 |
| 9 | Anexos | 96 |
| 9.1 | Tablas Producción y Eventos | 96 |
| 9.2 | Curvas U | 101 |
| 9.3 | Simulaciones..... | 107 |
| 9.4 | Descripción Bases Datos | 107 |
| 9.4.1 | Estado Piques de Traspaso | 108 |
| 9.4.2 | Descripción Hojas de Trabajo | 109 |
| | Descripción Hoja <i>Production</i> | 109 |
| | Descripción Hoja <i>Tonnage</i> | 113 |
| 9.4.3 | Tonelajes Piques de Traspaso..... | 115 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|-----|
| Ilustración 1. Negocio Minero..... | 1 |
| Ilustración 2. Componentes de un sistema minero tradicional (Kazakidis and Scoble, 2002).. | 4 |
| Ilustración 3. Representación “curva de la bañera” | 13 |
| Ilustración 4. Configuraciones de los distintos sistemas..... | 15 |
| Ilustración 5. Ángulos para el que mineral fluya. | 24 |
| Ilustración 6. Colgadura. | 25 |
| Ilustración 7. Ubicación PT Freeport Indonesia..... | 32 |
| Ilustración 8. Cuerpos mineralizados distrito minero de Grasberg..... | 33 |
| Ilustración 9. Esquema manejo de minerales DOZ. | 33 |
| Ilustración 10. Formato Final de la Información de Piques de Traspaso | 38 |
| Ilustración 11. Diagrama Conceptual de la Obtención de Tonelaje y Eventos..... | 39 |
| Ilustración 12. Cruzados de Transporte. | 45 |
| Ilustración 13. Ejemplo Duración de Eventos. | 54 |
| Ilustración 14. Ejemplo calculo frecuencia para 0 Kt acumulado..... | 65 |
| Ilustración 15. Ejemplo extrapolación tonelaje acumulado. | 66 |
| Ilustración 16. Extrapolación Curva U. | 66 |
| Ilustración 17. Efecto plan y efecto umbral..... | 67 |
| Ilustración 18. Regresión con respecto al 20 % mayor..... | 68 |
| Ilustración 20. Modelo en Arena punto de extracción..... | 76 |
| Ilustración 21. Interferencias operacionales puntos de extracción..... | 77 |
| Ilustración 22. Modelo en arena Pique de Traspaso. | 80 |
| Ilustración 23. Cuantificación tonelaje vaciado al pique y modo de falla. | 81 |
| Ilustración 24. Discretización Curva U mina, para obtener tonelajes entre eventos. | 83 |
| Ilustración 25. Información operativa piques de traspaso..... | 108 |
| Ilustración 26. Información cuadrillas de reducción. | 108 |
| Ilustración 27. Planillas Excel..... | 109 |
| Ilustración 28. Descripción Tabla I. | 110 |
| Ilustración 29. Estado piques de traspaso..... | 110 |
| Ilustración 30. Descripción Tabla II. | 111 |
| Ilustración 31. Descripción Tabla III. | 111 |
| Ilustración 32. Descripción Tabla IV..... | 112 |
| Ilustración 33. Descripción Tabla V..... | 112 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 34. Descripción Tabla VI..... | 113 |
| Ilustración 35. Descripción Tabla I. | 113 |
| Ilustración 36. Descripción tabla II. | 114 |
| Ilustración 37. Descripción tabla III. | 114 |
| Ilustración 38. Descripción tabla IV..... | 115 |
| Ilustración 39. Planilla " <i>Historical truck by LP 2006.xls</i> ". | 116 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Efecto de eventos geotécnicos de sobre tamaño y colgadura en la productividad del método. (Rubio y Dunbar, 2007) | 3 |
| Gráfico 2. Dispersión producción mina DOZ. | 5 |
| Gráfico 3. Curvas U para puntos de extracción Mina PT Freeport DOZ (Indonesia). | 16 |
| Gráfico 4. Curva de producción característica..... | 17 |
| Gráfico 5. Cálculo del diámetro del pique de traspaso. | 23 |
| Gráfico 6. Tonelaje acumulado. | 36 |
| Gráfico 7. Producción piques de traspaso año 2006. | 40 |
| Gráfico 8. Producción (total y promedio) piques de traspaso (sin datos aberrantes). | 41 |
| Gráfico 9. Productividad mensual y número de piques activos por periodo..... | 41 |
| Gráfico 10. Número de eventos por mes y tonelaje extraído por mes año 2006. | 42 |
| Gráfico 11. Número de eventos y tonelajes anuales por pique. | 43 |
| Gráfico 12. Tonelaje acumulado por pique y según relación HC..... | 45 |
| Gráfico 13. Producción para cada HC y mina. | 46 |
| Gráfico 14. Número de eventos por HC. | 47 |
| Gráfico 15. Producción mensual versus número de eventos mensuales por pique de traspaso..... | 48 |
| Gráfico 16. Producción mensual versus número de eventos según sectorización. | 48 |
| Gráfico 17. Número de colgaduras por HC y mina. | 50 |
| Gráfico 18. Número de colgaduras por pique..... | 51 |
| Gráfico 19. Número de eventos mecánicos por HC y mina. | 52 |
| Gráfico 20. Número de eventos mecánicos año 2006 por pique. | 52 |
| Gráfico 21. Tonelaje promedio mensual versus número de eventos para pique de traspaso. | 53 |
| Gráfico 22. Resultado metodología construcción Curva U. | 58 |
| Gráfico 23. Resultado construcción curva PCC. | 59 |
| Gráfico 24. Curva U piques de traspaso DOZ. | 60 |
| Gráfico 25. Curva U mina HC2 | 60 |
| Gráfico 26. Curva U mina HC1 | 60 |
| Gráfico 27. Curva U Colgaduras mina DOZ. | 61 |
| Gráfico 30. Curva U eventos Mecánicos mina DOZ. | 62 |
| Gráfico 34. Resumen Curvas U. | 62 |

| | |
|--|----|
| Gráfico 35. PCC versión preliminar mina DOZ..... | 63 |
| Gráfico 36. PCC versión preliminar sectorizada mina DOZ..... | 64 |
| Gráfico 45. Discretización Curva U puntos de extracción..... | 72 |
| Gráfico 46. Discretización Curva U piques de traspaso. | 79 |
| Gráfico 47. Resultados validación..... | 84 |
| Gráfico 48. Dispersión entre tonelaje actual y mejor ajuste de las replicaciones. | 85 |
| Gráfico 49. Resultado del mejor ajuste. | 86 |
| Gráfico 50. Resumen PCC simulaciones. | 88 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Tabla de autores para relación D/d. | 23 |
| Tabla 2. Número de Componentes Activos Periodo 2000 – 2006. | 36 |
| Tabla 3. Formato información histórica puntos de extracción. | 36 |
| Tabla 4. Tabla resumen. Piques de Traspaso año 2006. | 43 |
| Tabla 5. Relación pique de traspaso - cruzado de transporte. | 44 |
| Tabla 6. Estadísticas básicas de tonelajes por piques de traspaso. | 46 |
| Tabla 7. Estadísticas básicas de número de eventos por piques de traspaso. | 47 |
| Tabla 8. Estadísticas básicas de colgadas piques de traspaso. | 50 |
| Tabla 9. Estadísticas básicas de eventos mecánicos piques de traspaso. | 51 |
| Tabla 10. Tabla resumen análisis piques de traspaso. | 53 |
| Tabla 11. Ejemplo de agrupación de datos previo a la construcción Curvas U. | 55 |
| Tabla 12. Ejemplo co de madurez. | 56 |
| Tabla 13. Ejemplo producción total y diferencial intervalo de madurez. | 56 |
| Tabla 14. Ejemplo número de eventos total y diferencial intervalo de madurez. | 57 |
| Tabla 15. Ejemplo tabla final para construcción de la curva U. | 57 |
| Tabla 16. Ejemplo para construcción PCC. | 58 |
| Tabla 17. Resumen Parámetros fijos modelo de simulación | 83 |
| Tabla 18. Escenarios de simulaciones. | 83 |
| Tabla 19. Parámetros variables en la simulación. | 87 |
| Tabla 20. PCC y estadísticas básicas no eventos. | 87 |
| Tabla 21. PCC y estadísticas básicas eventos cada 7 Kt. | 87 |
| Tabla 22. PCC y estadísticas básicas eventos cada 15 Kt. | 87 |
| Tabla 23. PCC y estadísticas básicas eventos cada 21 Kt. | 88 |
| Tabla 24. PCC y estadísticas básicas eventos cada 50 Kt. | 88 |
| Tabla 25. Tonelaje inicial piques de traspaso año 2006. | 96 |
| Tabla 26. Tonelajes filtrado piques de traspaso año 2006. | 97 |
| Tabla 27. Tonelajes acumulados piques de traspaso año 2006. | 98 |
| Tabla 28. Eventos piques de traspaso año 2006. | 99 |
| Tabla 29. Colgadas piques de traspaso año 2006. | 99 |
| Tabla 30. Eventos mecánicos piques año 2006. | 100 |
| Tabla 31. Curva U mina. | 101 |
| Tabla 32. Curva U HC1. | 102 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 33. Curva U HC2..... | 102 |
| Tabla 34. Curva U colgaduras. | 103 |
| Tabla 35. Curva U colgaduras HC1. | 103 |
| Tabla 36. Curva U colgaduras HC2. | 104 |
| Tabla 37. Curva U eventos mecánicos. | 104 |
| Tabla 38. Curva U eventos mecánicos HC2. | 105 |
| Tabla 39. Curva U eventos mecánicos HC1. | 106 |
| Tabla 40. Madurez y distancias puntos de extracción (validación). | 107 |
| Tabla 41. Codificación estado de piques..... | 110 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Cálculo de número de eventos esperados..... | 19 |
| Figura 2. Cálculo de confiabilidad desde PCC. | 19 |
| Figura 3. Distribución de tonelaje de la PCC, para calcular la confiabilidad de una componente..... | 20 |
| Figura 4. Configuración pique de traspaso..... | 22 |
| Figura 5. Configuraciones de parrillas..... | 23 |
| Figura 6. Ejemplo sistema continuo. | 27 |
| Figura 7. Evolución de una variable de un sistema continuo..... | 27 |
| Figura 8. Evolución de una variable de un sistema discreto..... | 28 |
| Figura 9. Evolución de una variable de un sistema orientado a eventos discretos..... | 28 |
| Figura 10. Plano nivel de producción DOZ..... | 34 |
| Figura 11. Zoom plano nivel de producción mina DOZ. | 34 |
| Figura 12. Plano nivel de transporte DOZ..... | 35 |
| Figura 13. Configuración tipo modelo de simulación..... | 69 |

1 Introducción

Planificación de la Producción es la actividad de ingeniería de minas que transforma el inventario de recursos naturales en el mejor negocio productivo del dueño, para ofrecer una promesa de negocio a los accionistas. Tradicionalmente se utiliza para tomar decisiones, tales como la vida de las minas, reporte de los volúmenes de reservas, la capacidad de producción y perfiles de inversión, entre otros. Los componentes usados en el ejercicio de la planificación de la producción para tomar tales decisiones, son el generar un perfil de leyes para delinear lo que son los recursos económicos a extraer, los métodos mineros para definir la forma en cómo los recursos van a ser extraídos a través del tiempo y la secuencia de extracción para identificar espacial y geoméricamente cómo los recursos varían.

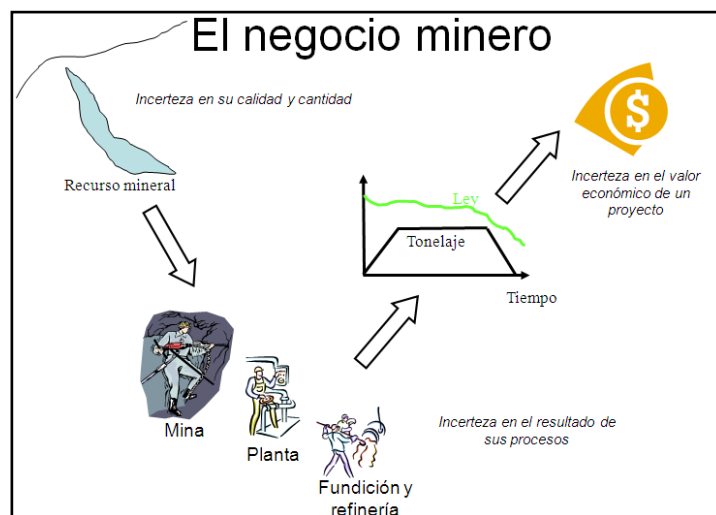


Ilustración 1. Negocio Minero¹.

Todos los elementos anteriormente mencionados, se deciden dinámicamente en el tiempo, ya que un plan de producción debe dar una respuesta a cuál es la parte de los yacimientos que debe ser minada, qué métodos de tratamiento se aplican, cuándo las diferentes secciones del yacimiento deben ser minadas y cuánto de los recursos económicos tienen que ser extraídos.

¹ MI75A – Tópicos avanzados de Planificación Minera.

El ejercicio de planificación debe entregar un programa de producción cumplible o confiable, esto implica que las tasas de producción deben incorporar variables estocásticas en su definición.

En los últimos años, mucha atención se ha concentrado en la definición y, también, en la integración de la incertidumbre relacionada con los componentes del modelo de planificación de minas. En este contexto, tres fuentes de incertidumbre son a menudo definidas para los proyectos mineros: la variabilidad de las leyes, las características de la roca y el método de explotación. Sin embargo, no muchas investigaciones se han realizado con el fin de integrar la variabilidad del sistema para lograr una cierta meta de producción, en particular, el sistema Block Caving, que a menudo carece de un modelo geotécnico, debido al limitado acceso al macizo rocoso. Otro aspecto del sistema que induce la incertidumbre es la mecánica del macizo, que define la funcionalidad de éste, la fragmentación, el estrés y el flujo de minerales por gravedad², los que no son totalmente comprendidos por la comunidad minera aún. Esta fuente de incertidumbre induce a interferencias operacionales, las que son causadas por eventos geotécnicos que afectan los compromisos productivos de una determinada arquitectura minera. En particular, en la memoria doctoral de Rubio (2006), se analizaron los eventos ocurridos en los puntos de extracción y su influencia en la capacidad productiva de una mina, la que opera con el método de explotación de Block Caving (Gráfico 1). Los eventos geotécnicos estudiados fueron colgaduras sobre tamaños y colapsos. En términos generales, se muestra a continuación una relación empírica encontrada en una de las minas estudiadas en la investigación, que relaciona la frecuencia de eventos de coladura y sobre tamaño con la productividad de la mina.

² Brown, E T, 2003. Block Caving Geomechanics. JKMRRC Monograph Series on Mining and Mineral Processing. Vol 3, 515 p. Julius Kruttschnitt Mineral Centre, University of Queensland: Brisbane.

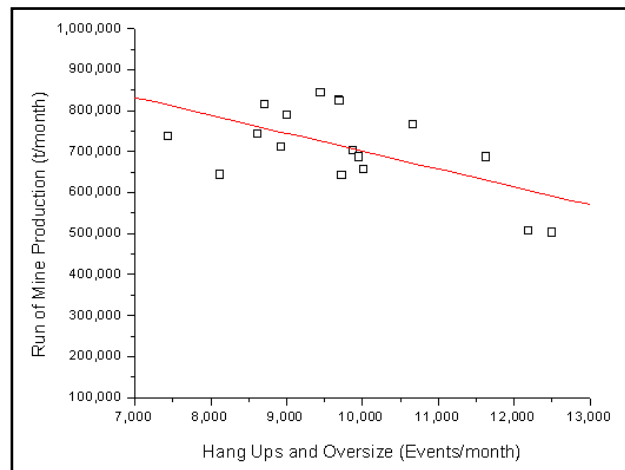


Gráfico 1. Efecto de eventos geotécnicos de sobre tamaño y colgadura en la productividad del método. (Rubio y Dunbar, 2007)

El mismo efecto se ha observado en cada uno de los componentes del sistema Block/Panel Caving, cruzados de producción, piques de traspaso, cruzados de transporte, equipos y otros. Por lo tanto, es evidente que cuando las minas son planificadas, se debe delinear una estrategia de producción que integre esta conducta constitutiva, con el propósito de que los objetivos de producción sean viables y confiables. La curva presentada en el gráfico anterior se denomina Curva de Producción Característica la cual define la conducta constitutiva de producción de una componente minera.

Las investigaciones realizadas por Kazakidis y Scoble³ muestran que un sistema minero subterráneo se podría modelar utilizando la Teoría de Confiabilidad, la cual usa diagramas de bloques para estimar la probabilidad de falla geomecánica de una determinada componente para un determinado sistema minero. A continuación, se muestra un diagrama de un sistema productivo minero subterráneo:

³Kazakidis, V.N. and M. Scoble, 2002. Accounting for Ground-Related Problems in Planning Mine Production Systems, Mineral Resources Engineering, Imperial College Press, London, Vol. 11, N 1, pp. 35-57.

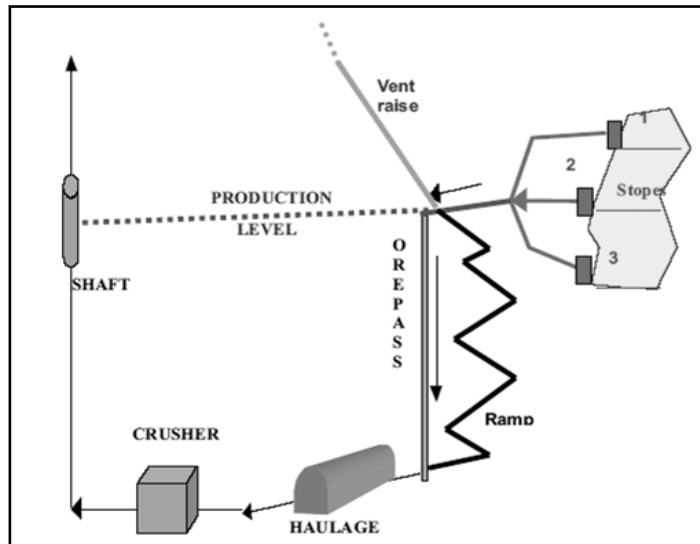


Ilustración 2. Componentes de un sistema minero tradicional (Kazakidis and Scoble, 2002)

En el caso de aplicar la teoría de confiabilidad a la modelación de una mina de Block Caving, se deben considerar los siguientes componentes: puntos de extracción, cruzados de producción, piques de traspaso y cruzados de transporte.

Puntualmente en la minería de Block Caving, suelen considerarse como cuellos de botellas a la velocidad máxima de extracción de un punto en un período de tiempo dado (geomecánica), es decir, la productividad total del sistema se obtiene como la suma de las productividades de cada punto, olvidándose que el sistema de traspaso asociado también puede limitar la producción. Es más, este es afectado por numerosos eventos dependientes de la operación o del macizo rocoso propiamente tal, los que interfieren en su funcionamiento, por lo que, la productividad de la mina está asociada a todas las componentes del sistema de manejo de materiales, lo que puede reflejar o no la posible existencia de un cuello de botella a nivel de puntos de extracción.

La siguiente gráfica muestra de manera cuantitativa las diferencias entre la producción planificada (turno) y la realmente obtenida (turno) en los piques de traspaso de la mina PT Freeport DOZ, (Indonesia) para marzo 2006.

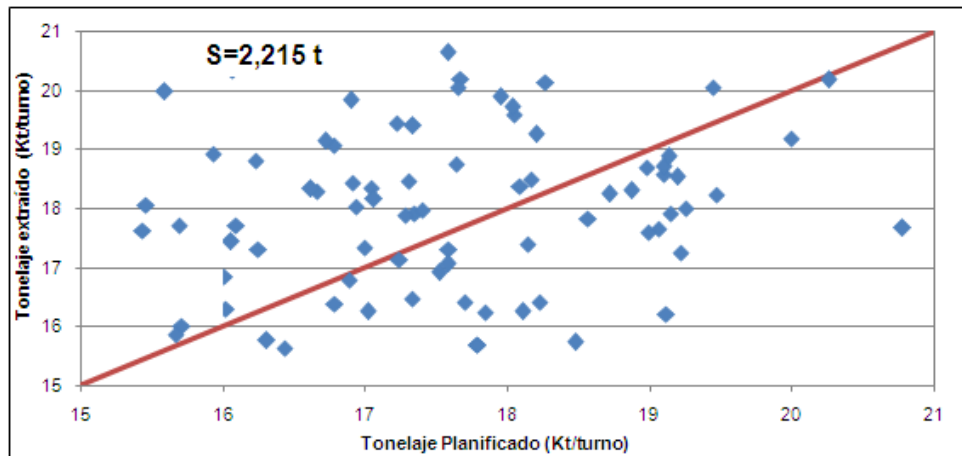


Gráfico 2. Dispersión producción mina DOZ.

Debido a esto, nace el concepto de confiabilidad aplicado a la planificación minera, el cual cuantifica la probabilidad de al menos lograr el tonelaje planificado para un cierto período dado, siendo las interferencias operacionales que suceden en cada una de las componentes en estudio, junto con el tonelaje que pasa o se extrae de cada una de éstas parámetros fundamentales para la construcción de curvas que representan el comportamiento de cada componente en estudio.

Para un óptimo cálculo de la confiabilidad del sistema, resulta fundamental el conocer el comportamiento de todas las componentes de éste, en especial, de los que aún no han sido estudiados detalladamente. Actualmente, se conoce de manera clara y precisa el comportamiento de los puntos de extracción, no existiendo publicaciones de las demás componentes que forman parte del sistema minero Block/Panel Caving.

Es por esto, que el presente trabajo se enmarca en el describir cualitativamente y cuantitativamente el comportamiento de los piques de traspaso, realizando un detallado estudio del comportamiento de éstos en cuanto a la producción e interferencias operacionales. Este se visualiza en la Curva U la que muestra la relación entre la frecuencia de ocurrencia de eventos, que se define como el número de eventos por tonelada y el tonelaje acumulado que se ha extraído y la Curva de Producción Característica (PCC) la cual describe la productividad (toneladas / período) de un componente de la infraestructura minera, en función del número de eventos experimentados. Ambas curvas son parámetros de entrada para el cálculo de la confiabilidad de un plan de producción, por lo que resulta fundamental el conocer de manera clara y certera la tasa de falla de los piques de traspaso,

con el objetivo de reproducir de manera real el cálculo de confiabilidad de todo el sistema minero.

Una vez conocidas las tasas de falla de los piques de traspaso y para estudiar el impacto de las interferencias operacionales en la productividad, se implementará en el programa de simulación Arena de Rockwell software, una unidad productiva básica (calle), la cual se verá afectada a través del tiempo por diferentes frecuencias de ocurrencias de eventos, obtenidas y definidas por las Curva U y PCC.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Generales

- Cuantificar el efecto del sistema de traspaso en la confiabilidad de un programa de producción.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar eventos de interferencia operacional que afectan sistemas de traspasos.
- Análisis de la frecuencia de ocurrencia de eventos de interferencia, en base a información histórica de un sistema de traspaso.
- Definición de Curvas U y PCC para piques de traspaso.
- Incorporar la frecuencia de ocurrencia de eventos en el modelo matemático de cálculo de confiabilidad de programas de producción.
- Sensibilizar la confiabilidad de un programa de producción con diferentes frecuencias de ocurrencia de eventos.
- Analizar el impacto en la productividad para el nivel de producción, para diversas frecuencias de ocurrencias de eventos en los piques de traspasos.

1.2 Alcances

- Minería de hundimiento por bloques o paneles.
- Sistemas mineros con niveles de producción y transporte (con sistemas de traspaso).

- Planificación de mediano plazo (programa de producción anual con escala mensual).
- Caso de estudio mina DOZ, Freeport Indonesia. Estado de piques de traspaso año 2006.
- Simulación de sistemas mineros complejos.

1.3 Metodología

La metodología a desarrollar en el presente trabajo se detalla a continuación:

- Inicialmente, se cuenta con la base de datos de la mina PT Freeport DOZ, la cual es analizada y descrita de manera detallada.
- Luego se procede a realizar un filtraje y reordenamiento de la información disponible.
- Se presenta un análisis de estas bases de datos históricas en cuanto a la producción e interferencia operacionales.
- Identificar cualitativamente (tipo) y cuantitativamente (cantidad) los eventos operacionales que suceden en los piques de traspaso.
- Análisis de la frecuencia de ocurrencia de eventos en los piques de traspaso.
- Análisis productividades de piques de traspaso.
- Agrupación y sectorización de los piques de traspaso en base a:
 - Las diferentes frecuencias de ocurrencia de eventos observadas.
 - La relación con la infraestructura minera.
 - Tipo de evento.
- Construcción curvas U y curva de producción característica (PCC) de los diversos grupos fenomenológicos anteriormente mencionados.
- Incorporación en el modelo matemático de confiabilidad de las diversas frecuencias de ocurrencias de eventos obtenidas.
- Construcción y validación del modelo de simulación capaz de reproducir el sistema minero en estudio.
- Incorporación de las diversas frecuencias de ocurrencias de eventos en el modelo de simulación.
- Análisis de resultados:
 - Confiabilidad
 - Producción

- Conclusiones y recomendaciones.

2 Antecedentes Bibliográficos

2.1 Planificación de la Producción

La planificación minera⁴ puede definirse como el proceso mediante el cual el recurso mineral se transforma en el mejor negocio productivo para el dueño, alineándose con los objetivos estratégicos de la compañía. Este negocio está sujeto a restricciones derivadas del recurso mineral, del mercado, disponibilidad de recursos humanos y capital, tecnología, entorno social y medio ambiental en el cual se desenvuelve, entre muchos otros.

La planificación se puede clasificar de la siguiente manera:

- Planificación Estratégica: el principal objetivo es sincronizar el mercado con los recursos disponibles y la misión del dueño.
- Planificación Conceptual: es el proceso que delinea los recursos existentes para conducir a la meta productiva definida como parte de la planificación estratégica y, que generalmente, se enmarca dentro de un ámbito del proyecto. En esta etapa es donde se definen la capacidad y vida de la mina, además de las reservas.
- Planificación Operativa: Cuando la mina es puesta en operación, se realizan diversas actividades de optimización de equipos y procesos que conducen a la consecución del plan minero, definido en la planificación conceptual. En esta etapa se produce retroalimentación hacia la planificación conceptual, de modo de redefinir algunos conceptos y generar los proyectos que permitan alinearse con el plan minero. El aporte de la planificación operativa al proceso de planificación es fundamental, desde el punto de vista de la definición de indicadores operacionales.

Los horizontes temporales de planificación se definen como una herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero, de esta manera pueden definirse los siguientes horizontes:

- Planificación de Largo Plazo: define la envolvente económica, el método de explotación, secuencias de explotación y leyes de corte.

⁴ Enrique Rubio, Sebastián Troncoso. Rudy Prasetyo. Reliability Center Mine Planning Model for Caving Operations (Massmin 2008).

- Planificación de Mediano Plazo: se encarga de adaptar a los modelos que sustentan la planificación de largo plazo. Produce planes de producción que permiten conducir a la operación a las metas de producción definidas.
- Planificación de Corto Plazo: su rol más importante es la recopilación y utilización de la información operacional de modo de retroalimentar al largo plazo. Por otro lado, se preocupa de definir indicadores que se encargan de corregir los modelos que sustentan la planificación.

Orientándose hacia la planificación de la producción en la minería de block o panel caving, normalmente al momento de realizar los planes de mediano plazo que sustentan los presupuestos de operaciones para el año siguiente, se suele aproximar la capacidad productiva del sistema minero como la suma de las capacidades productivas individuales de cada punto de extracción, que se encuentran restringidas por la denominada velocidad de extracción, la que corresponde al tonelaje máximo que puede extraerse en un periodo de tiempo (normalmente días) por un determinado punto sin considerar la variabilidad en la disposición de infraestructura.

Por otro lado, suele dejarse a la operación minera la planificación de las actividades de reparación de interferencias operacionales, no existiendo una relación clara y objetiva entre éstas y la planificación de la producción de mediano plazo. Sumado al hecho que cualquier interferencia en cualquier componente productivo del sistema minero impacta en la productividad (en mayor o menor grado), se deduce que dado que la planificación de mediano plazo no incorpora de manera efectiva la ocurrencia y reparación de eventos interferentes con la producción, difícilmente pueden generarse planes mineros anuales que la operación pueda alcanzar.

2.2 Estado del Problema

Según Rubio⁵, actualmente los objetivos de producción son el resultado de programas de producción, calculados con parámetros de planificación que no se desarrollan en función del comportamiento operacional y no están unidos a modelos fundamentales que describen la conducta geotécnica del macizo rocoso. Esto se debe, principalmente, a que en las actuales

⁵ Mine Infrastructure Reliability Applied to Production Planning. PhD Thesis, University of British Columbia (Rubio E., 2005.).

planificaciones los contratiempos relacionados con procesos geotécnicos y procesos de hundimiento en el macizo rocoso no son contemplados, provocando a menudo una sobreestimación de la capacidad de la mina.

Además Diering⁶, afirma que aunque existen programas relacionados con la aplicación al diseño y la evaluación de operaciones en Block Caving, éstos asumen, por ejemplo, que los puntos de extracción estarán activos más o menos constantemente, desarrollando la planificación de los puntos de extracción con los mínimos necesarios, lo que no deja holguras frente a eventos y manifiesta una falta de afinamiento para planificación de corto plazo.

Según Hadjigeorgiou⁷, el flujo de mineral que pasa por los piques de traspaso es fundamental en el rendimiento económico de las operaciones mineras, sin embargo, no parece recibir el mismo interés que otros componentes de la mina, ya que sólo cuando éste no cumple su objetivo, el diseño y operación pasa a ser fundamental en la operación de la mina. Es por esto, que se hace esencial el estudiar la influencia de la geometría, disposición de parrillas, distribución granulométrica del flujo de materiales a pasar, factor de forma, etc. Todo lo anteriormente mencionado, contribuye a una mejor comprensión y proporciona una serie de directrices para ayudar a limitar la ocurrencia de eventos de interferencia operacional. Estas interrupciones afectan la disponibilidad de la infraestructura minera que está directamente relacionada con la capacidad de producción de la mina y, al no ser consideradas en la planificación, se generan objetivos de producción muy optimistas que posteriormente, provocarán que se usen más recursos de los planificados, arriesgando el original valor de la mina e incluso no alcanzando las promesas productivas, destruyendo el valor del proyecto.

Además, Rubio, Scott, Dunbar, Hall⁸ proponen que, aún cuando los actuales métodos de programación de la producción puedan predecir el tonelaje global a ser extraído por un

⁶ T. Diering. PC-BC A Block Cave design and Draw Control System (Massmin 2000).

⁷ J Hadjigeorgiou, J.F. Lessard. Numerical investigations of ore pass hang-up phenomena. En: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44 (2007) 820–834.

⁸ E. Rubio, W. Scott, M. Dunbar, R. Hall. Reliability theory applied to block cave production scheduling (Massmin 2004).

periodo acertadamente, hay a menudo una varianza de tonelaje significativo entre lo estimado y lo realmente producido por un punto de extracción. Por lo anterior, es posible afirmar que el éxito en la consecución de un plan de producción, dependerá de la habilidad del sistema de planificación minera para incorporar incertidumbres encontradas en la conducta del macizo rocoso y en el sistema minero, por lo que existe la necesidad de introducir algoritmos que sean capaces de adaptarse a las condiciones dinámicas de una mina subterránea. Es decir, se necesita un sistema de planificación que reduzca la incertidumbre del programa de producción debido a la conducta geotécnica, que incorpore la conducta actual de la mina y use sus datos de producción como registros de producción, disponibilidad de la infraestructura, indicadores de stress, mapeos de fragmentación y características geotécnicas de la roca.

2.3 Origen de la Teoría de la Confiabilidad

El sistema de confiabilidad es definido por Ramakumar⁹ como la probabilidad de que el sistema funcionará por un rango específico de tiempo bajo determinadas condiciones. Además, afirma que para determinarlo existen 3 pasos fundamentales que son:

- Construir el modelo de confiabilidad (representativo y simple, está basado en suposiciones que deben ser válidas, descomponible y operativo).
- Analizar el modelo y calcular un índice de falla (uno para cada componente).
- Evaluar e interpretar los resultados (precisión de los resultados, comparar con otros períodos ya conocidos).

Por otro lado Basovsky¹⁰, define la confiabilidad como un sistema que expresa en números la oportunidad de un equipo de operar sin falla por un período de tiempo, en un ambiente para el cual fue diseñado, y afirma que la confiabilidad de un equipo complejo dependerá de la confiabilidad de sus componentes y éstos de su tasa de falla.

En ambos casos, la tasa de falla es incorporada como un indicador que nos permite estimar cuántas fallas ocurrirán por período de tiempo y su inversa nos mostrará el tiempo promedio entre cada falla.

⁹ R. Ramakumar. Engineering Reliability. Fundamentals and Applications.

¹⁰ Igor Basovsky. Reliability: Theory and Practice.

La confiabilidad se define como la probabilidad que un sistema de ingeniería funcione de acuerdo a su diseño incorporando el comportamiento intrínseco a la falla.

Además según Basovsky, la tasa de falla se puede descomponer en 3 etapas que han sido observadas en componentes o equipos mecánicos. Éstas conforman la llamada curva tipo “tina de baño” (Ilustración 3) y se describen a continuación:

- Fallas tempranas. Son producto de una mala producción y se solucionan con procesos llamados “burn-in” o “debugging” que es probar el equipo y reemplazar lo que falla antes de ponerlo en operación.
- Fallas operacionales. Ocurren cuando el equipo ya está en operación, no se pueden eliminar ni predecir, pero siguen ciertas reglas de comportamiento en que la frecuencia por largos períodos de tiempo es aproximadamente constante.
- Fallas de desgaste. Ocurren al final de la vida útil del equipo producto de desgaste y cuando los componentes tienen poca mantención. La ventaja de éstas es que se pueden predecir.

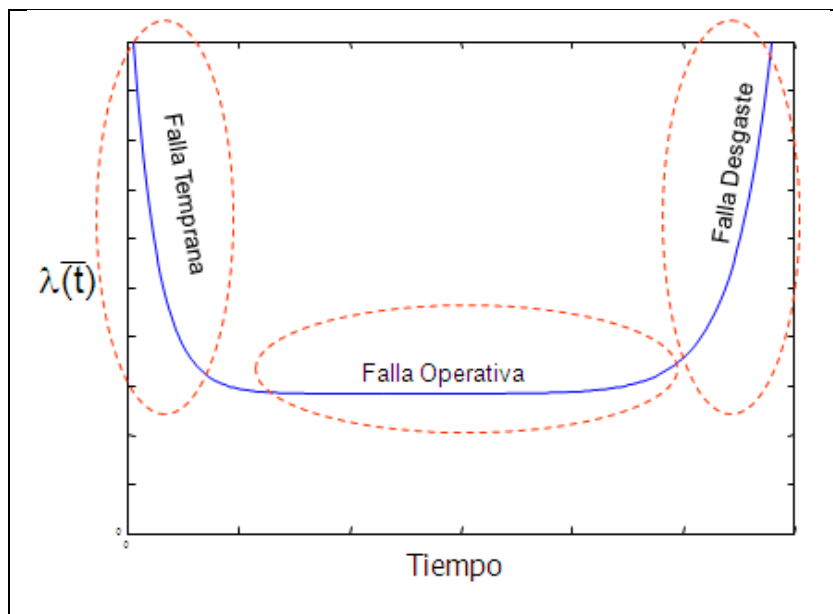


Ilustración 3. Representación “curva de la bañera”.

Cada una de estas etapas sigue una distribución específica que para su determinación deben ser usados diferentes modelos matemáticos.

2.3.1 Confiabilidad de Múltiples Componentes

Calabro¹¹, afirma que múltiples componentes relacionados pueden estar unidos de 4 formas:

- En serie.
- En Paralelo.
- Series paralelas.
- Paralelos en Series.

Si cada componente tiene una confiabilidad $R(T)_i$ entonces la confiabilidad del sistema será: (con $R(T)_i + Q(T)_i = 1$)

a. Sistema en Serie.

$$R(T)_{SIST} = \prod_i R(T)_i$$

En este sistema si falla un componente falla todo el sistema.

b.- Sistema en Paralelo.

$$1 - R(T)_{SIST} = \prod_i (1 - R(T)_i)$$

En este sistema tienen que fallar todos los componentes para que falle todo el sistema.

c.- Sistema de Series Paralelas.

$$1 - R(T)_{SIST} = \prod_i (1 - R_{SERIES}(T)_i)$$

Este sistema está compuesto de series en paralelo, si falla un componente de una serie la serie completa falla, pero el sistema sigue trabajando con las otras series que están en paralelo a la que falló. Para que falle totalmente el sistema, debe fallar al menos un componente de cada serie.

d.- Sistema de Series de Paralelos.

$$R(T)_{SIST} = \prod_i R_{PARALELO}(T)_i$$

Este sistema está compuesto por subsistemas en paralelo y cada uno de estos subsistemas está en serie. Para que falle todo el sistema se necesita que fallen todos los componentes de un subsistema.

¹¹ S. R. Calabro. Reliability principles and practices.

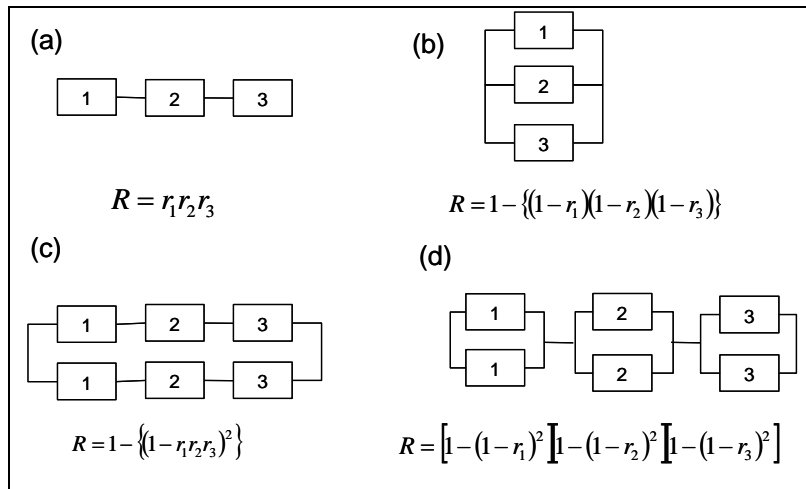


Ilustración 4. Configuraciones de los distintos sistemas.

2.4 Confiabilidad aplicada a la Planificación Minera

Con respecto a la aplicación de la confiabilidad en planificación minera (tema desarrollado por Rubio¹², Kazakidis and Scoble), inicialmente se presentó un modelo de confiabilidad basado en la infraestructura productiva, capaz de calcular la confiabilidad de un plan de producción en una mina que contaba únicamente con un nivel de producción.

Sin embargo, actualmente las minas de block y panel caving presentan un diseño minero productivo complejo, con varios niveles de infraestructura que deben ser considerados en el cálculo de la confiabilidad de un programa de producción.

El modelo original de Rubio ha sido modificado en trabajos ya terminados, pero aún no publicados. En los próximos capítulos, se describe este nuevo modelo.

2.4.1 Antecedentes (Modelo de Confiabilidad)

Para introducir el concepto de confiabilidad, hay algunas definiciones que tienen que ser descritas con el fin de formular los modelos matemáticos que apoyen los cálculos de confiabilidad.

- Confiabilidad (del plan de producción): es la probabilidad de al menos alcanzar el tonelaje meta del programa de producción, en el período establecido.

¹² Rubio E. Mine Infrastructure Reliability Applied to Production Planning. PhD Thesis, University of British Columbia (2005).

- Falla: cuando el sistema minero no cumple los tonelajes establecidos en el intervalo temporal pertinente.
- Evento: interrupción que detiene el flujo de mineral a través de una componente minera, pero que no necesariamente hace fallar al sistema.

2.4.2 Parámetros del Modelo

Curvas U

Muestra la relación entre la frecuencia de ocurrencia de eventos, que se define como el número de eventos por tonelada y el tonelaje acumulado que se ha extraído (madurez de la componente). En particular para un punto de extracción, la curva U es similar a la siguiente:

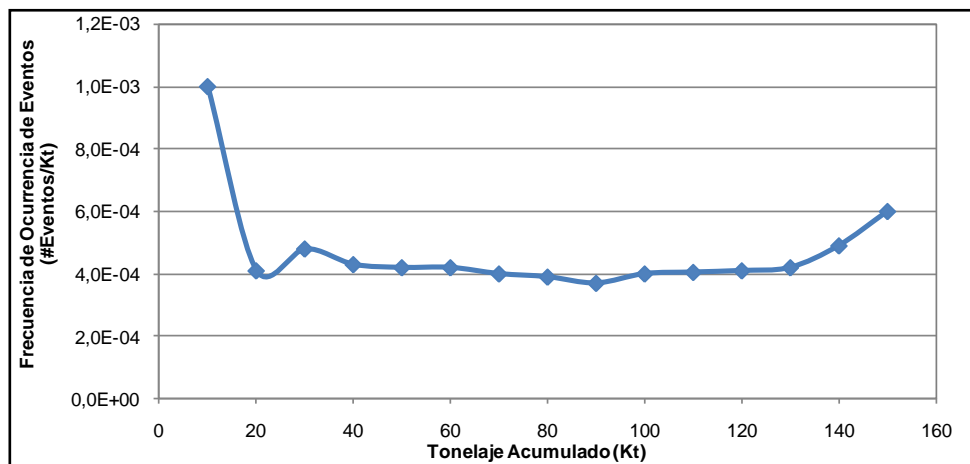


Gráfico 3. Curvas U para puntos de extracción Mina PT Freeport DOZ (Indonesia).

La frecuencia de ocurrencia de eventos se representará como $\lambda(t)$.

La curva U se utiliza para obtener el número esperado de eventos en un determinado intervalo de tonelaje $[t_i, t_i + t_i^p]$, donde t_i^p es el tonelaje planificado para la $i^{\text{ésima}}$ componente en un periodo de tiempo dado y t_i es la madurez actual de la componente. El número esperado de eventos puede ser estimado como:

$$\#Eventos_{numero} = \int_{t_i}^{t_i+t_i^p} \lambda(t) dt$$

Curva de Producción Característica (PCC)

La Curva de Producción Característica (PCC)¹³ describe la productividad (toneladas / período) de un componente de la infraestructura minera, en función del número de eventos experimentados. Por ejemplo, el Gráfico 2 muestra los resultados de una simulación para estimar la PCC de un punto de extracción, que se interrumpe con diferentes frecuencias de eventos. Se puede observar, que el número esperado de eventos afecta a la productividad del punto de extracción. El mismo ejercicio puede realizarse con la información de extracción histórica de la mina, con el fin de obtener la PCC de cualquier componente.

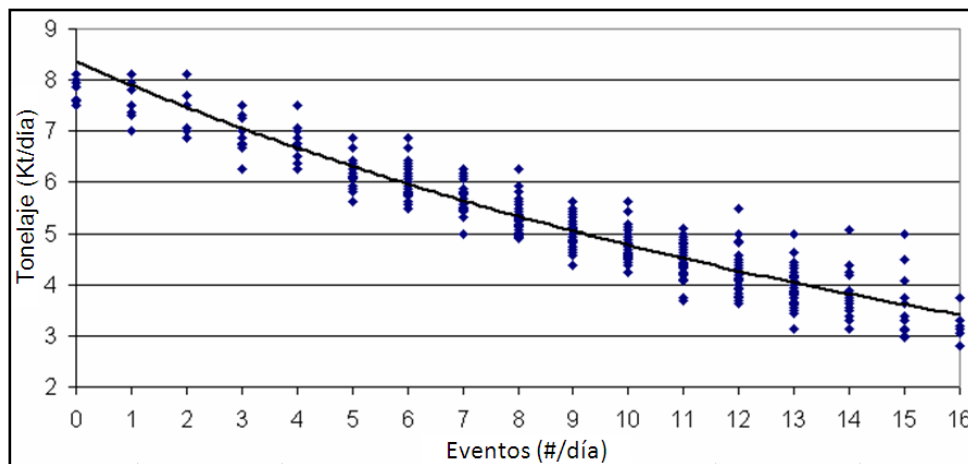


Gráfico 4. Curva de producción característica.

La construcción de una PCC se basa en la información histórica de funcionamiento, tales como la condición de la componente, el tonelaje extraído por turno, entre otros.

¹³ Salamanca Candía, Felipe Alonso. Aplicación de la Redundancia Activa en la Programación de Producción de mina Subterránea. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.

Hay algunos cuestionamientos importantes relacionados con la construcción de la curva anterior:

- La productividad máxima de una componente está limitada por el programa de producción, debido a que no necesariamente se planifica un tonelaje igual a la capacidad productiva máxima en un período determinado.
- En la práctica, el número de puntos obtenidos por cada número de eventos puede ser pobre y no permitir el ajuste adecuado de un modelo de distribución de probabilidad y, en consecuencia, no reportar valores de confiabilidad apropiados.

Para evitar el problema expresado en el primer punto, se puede construir un modelo de simulación que imite el comportamiento de la componente analizada en términos de productividad. Sin embargo, este modelo debe ser capaz de incorporar la ocurrencia de eventos de interferencia y su reparación acorde a las estrategias utilizadas en el sistema minero analizado.

Cálculo de Confiabilidad de las Componentes del Sistema

Cada componente del sistema tiene su propia PCC. La curva se usa para obtener la confiabilidad de un componente específico, en relación a su tonelaje planificado. A continuación, se explica la metodología para llegar a la confiabilidad de una componente dada su PCC, el tonelaje planificado t_i^p y su curva $U \lambda(t)$:

1. Con el tonelaje y la madurez de los componentes, calcular el número esperado de eventos N de la curva U (
2. Figura 1).

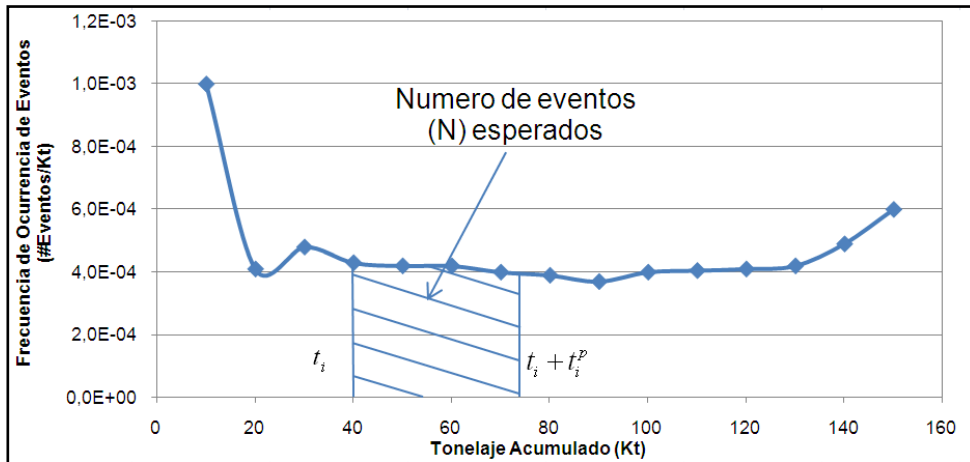


Figura 1. Cálculo de número de eventos esperados.

3. Rescatar desde la PCC, entrando por el eje de las abscisas con el valor de N, y recoger todos los puntos de productividad asociados (media y desviación estándar).

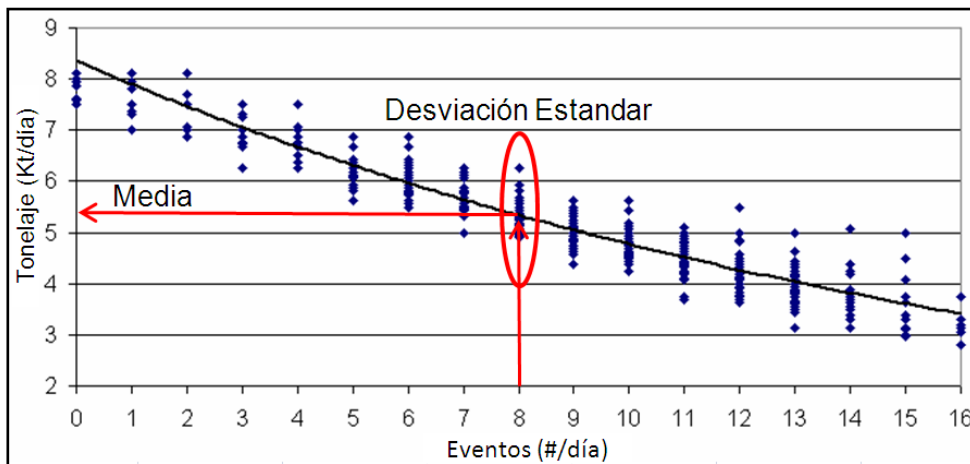


Figura 2. Cálculo de confiabilidad desde PCC.

4. Graficar el siguiente histograma (Figura 3) con los valores de la media y desviación estándar obtenida (el modelo de distribución de probabilidad viene de la productividad de los puntos rescatados de la PCC, la cual no necesariamente es Gaussiana):

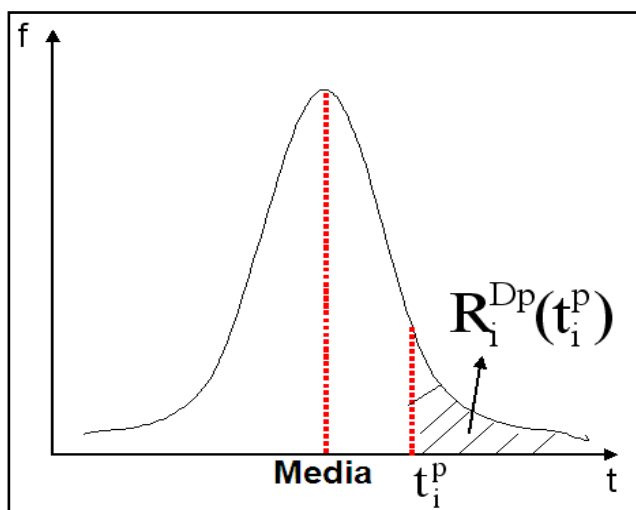


Figura 3. Distribución de tonelaje de la PCC, para calcular la confiabilidad de una componente.

5. El área bajo la curva, desde t_i^p a ∞ representa la probabilidad de alcanzar un tonelaje superior o igual a t_i^p para la componente especificada. Por lo tanto, es la confiabilidad de la componente i para el tonelaje t_i^p , denotado como $R_i^{DP}(t_i^p)$. Debe notarse que cuanto mayor sea el tonelaje planificado, inferior será la confiabilidad.

2.4.3 Resultados de la Metodología

Según Rubio¹⁴, el modelo de confiabilidad aplicado a la planificación minera produce 2 resultados:

- Confiabilidad del sistema.
- Tonelaje esperado por período, corresponde al tonelaje más probable que sería producido en un período dado el programa de producción.

Rietcher y Diering¹⁵, afirman que se han hecho planificaciones con predicciones de colgadura según una tasa de falla y, que junto con otras restricciones geomecánicas sobre equipos,

¹⁴ Rubio E. Mine Infrastructure Reliability Applied to Production Planning. PhD Thesis, University of British Columbia (2005.)

¹⁵ O. Rietcher, T. Diering. Production Scheduling at Finsch diamond Mine South Africa (Massmin 2004)

ventilación y otros, se puede lograr una mejorada confiabilidad en la capacidad de lograr la requerida tasa de producción con una reducción del riesgo.

Además, Rubio plantea que la confiabilidad del plan de producción está integrada por componentes como la secuencia de desarrollo del punto de extracción, tasa de extracción y la tasa de desarrollo, por lo que, todos estos parámetros combinados con el sistema de confiabilidad redefinen la capacidad de producción de una mina, con un método de extracción como el Block Caving.

Rubio, Scott, Dunbar y Hall¹⁶ proponen que una de las ventajas de esta metodología es que puede integrar todos los componentes operacionales de un sistema de producción, incluyendo las tasas de falla de los componentes como parte de la pronosticada disponibilidad del sistema de producción.

Por todo esto, es que Rubio afirma que el programa de producción con alta confiabilidad tiende a minimizar la varianza, entre la actual producción del punto de extracción y la pronosticada.

2.5 Piques de Traspaso

La rentabilidad de una explotación minera está fuertemente influenciada por el desempeño de su sistema de manejo de materiales. En las minas subterráneas, para el paso de mineral se deben proporcionar métodos de bajo costo para el transporte de material, siendo los más comunes los métodos gravitacionales a través de largas distancias verticales (piques de traspaso).

Según Lessard y Hadjigeorgiou¹⁷, los problemas relacionados con los piques de traspaso, pueden dar lugar a la interrupción de la producción con importantes consecuencias económicas.

Actualmente, existen diversos estudios relacionados con la geometría, disposición y flujo al interior de los piques de traspaso, sin embargo, existe casi nula información (data) de

¹⁶ E. Rubio, W. Scott, M. Dunbar, R. Hall. Reliability theory applied to block cave production scheduling (Massmin 2004).

¹⁷ J Hadjigeorgiou, J.F. Lessard. Numerical investigations of ore pass hang-up phenomena. En: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44 (2007) 820–834.

productividades e interferencias operaciones, lo que hace casi desconocida la influencia que éstos pueden tener en la productividad y confiabilidad de un sistema minero.

Diseño

Un pique de traspaso puede ser representado de acuerdo a la siguiente figura:

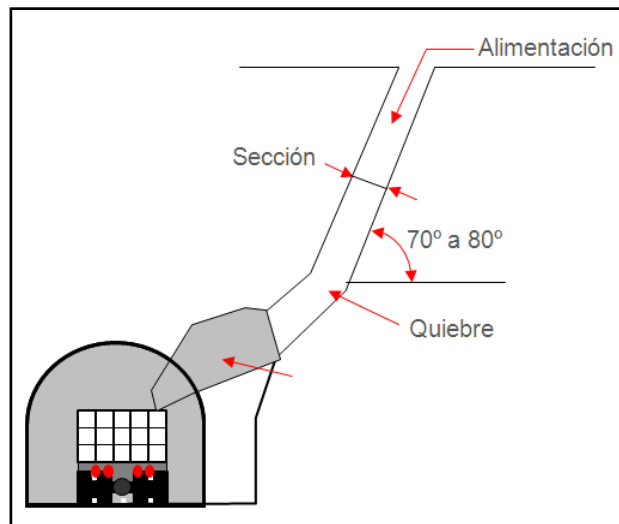


Figura 4. Configuración pique de traspaso.

Donde los principales parámetros a definir para su diseño son:

- *Diseño de parrillas:* Existen diversas configuraciones de parrillas (Figura 5), siendo el objetivo principal de éstas controlar el tamaño máximo de mineral que es vaciado a los piques de traspaso, sin embargo el disponer de parrillas, lleva consigo la utilización de un mayor recurso, debido a que se necesitará el uso de un martillo picador para fragmentar la roca que es mayor a la abertura de la parrilla.

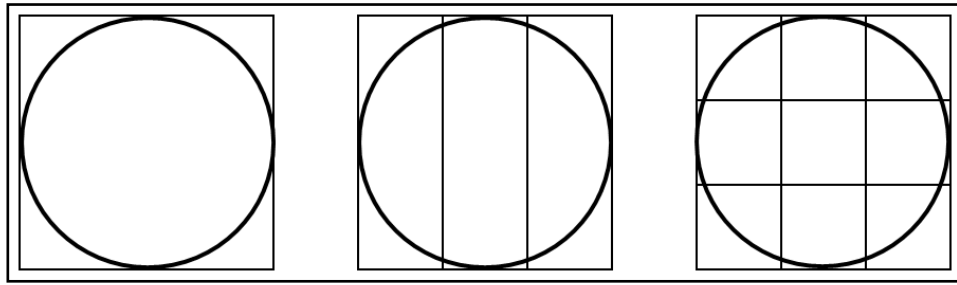


Figura 5. Configuraciones de parrillas.

- *Diámetro del pique de traspaso (D)*: está relacionado con el tamaño máximo del mineral que va a pasar por éste (d). Diversos autores han definido una relación D/d de acuerdo a la presentado en el Gráfico 5.

| Referencia | Flujo Libre |
|--------------------------|-------------|
| Peele (D/d) > | 3 |
| Aytaman (D/d) > | 4.21 |
| Kvapil (D/d) > | 4.74 |
| Hambley (D/d) > | 5 |
| Goodwill (D/d) > | 10 |
| Joughin & Stacey (D/d) > | 6 |

Tabla 1. Tabla de autores para relación D/d.

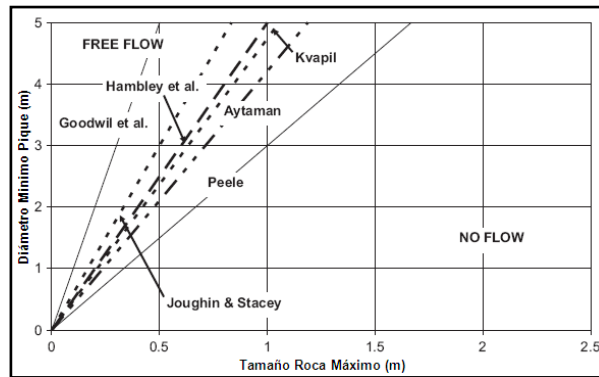


Gráfico 5. Cálculo del diámetro del pique de traspaso.

Por ejemplo, para colpas de tamaños máximos de 1 metro el diámetro del pique varía entre 3 (Peele) y 9 (Goodwil) metros.

- La movilidad del medio particulado depende de su composición.

- Material fino tiende a producir cohesión y, por lo tanto, a disminuir la movilidad de conjunto de partículas.
- Presencia de agua tiende a aumentar dicha cohesión.
- El ángulo, al cual el material fluye, es característico de cada material, ésto se aprecia en la Ilustración 5.

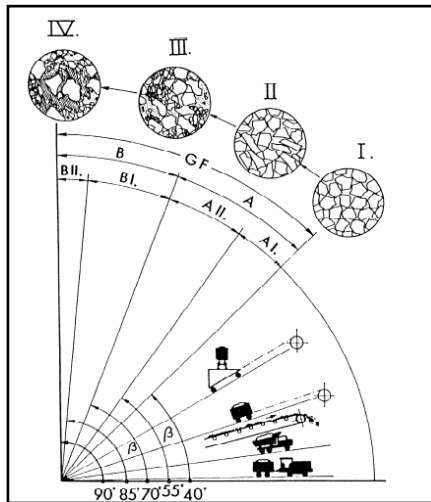


Ilustración 5. Ángulos para el que mineral fluya.

Interferencias Operacionales

Las Interferencias Operacionales más comunes en los piques de traspaso son las colgaduras¹⁸, las cuales pueden influir directamente en la productividad, donde su reparación es complicada y peligrosa. Las colgaduras se producen debido a la compactación de mineral en el pique, el que deja de fluir libremente.

¹⁸ Ugur Ozbay, Graham Mustoe, William Hustrulid. Quantification and Analysis of Ore Pass/Draw Point Flow Problems. Department of Mining Engineering Colorado School of Mines

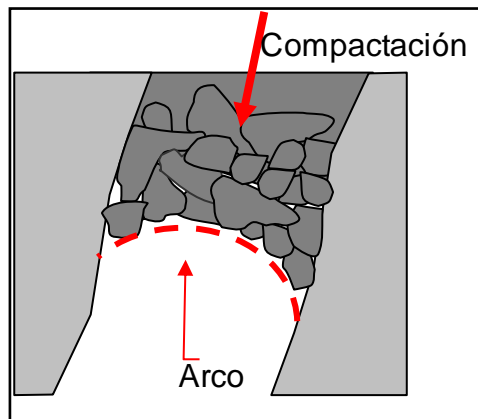


Ilustración 6. Colgadura.

La probabilidad de colgadura en un pique puede ser obtenida de la experiencia, existiendo casi nulos estudios y análisis de los casos. Para que exista una colgadura en el caso de materiales no cohesivos, se debe al entramamiento de granos. En este caso, puede disminuir mediante el aumento del diámetro del pique, ya que el arco se hace inestable. Este aumento de diámetros debe mantener la relación D/d anteriormente mencionada.

Los factores que influyen en la formación del arco son:

- Distribución de tamaños de los fragmentos de roca.
- Tamaño máximo de los fragmentos.
- Forma de los fragmentos.
- Viscosidad de la roca.
- Material fino entre las colpas.
- Contenido de humedad.
- Efectos de trituración que sufre la roca al pasar por el pique.

2.6 Simulación

La Simulación es una técnica de muestreo estadístico controlada para calcular el desempeño de sistemas determinísticos y probabilísticas complejos. Se aplica cuando los modelos analíticos no son suficientes para explicar un fenómeno o éste es muy complejo para traducirlo en expresiones matemáticas. Los experimentos de muestreo se efectúan sobre el modelo y no en el sistema real, porque sería muy costoso y muchas veces imposible de efectuarlo.

Para poder comprender la realidad y toda la complejidad que un sistema puede conllevar, ha sido necesario construir artificialmente objetos y experimentar con ellos dinámicamente antes de interactuar con el sistema real. Éstos pueden ser representados por diversos modelos los cuales se mencionan a continuación¹⁹:

- Modelos Físicos: Son los que más se asemejan a la realidad, se encargan de modelar procesos tales como:
 - Modelos analógicos: Se encargan de representar una propiedad determinada de un objeto o sistema.
 - Modelos denominados juegos administrativos: empieza a involucrarse el comportamiento del ser humano. Ej: modelos de planeación, estrategias militares.
- Modelos Matemáticos: consisten en una serie de aproximaciones y suposiciones (ambas siempre cuantitativas) acerca de cómo funciona el sistema. Normalmente, pueden expresarse mediante ecuaciones de varias variables. Su principal limitación es que resultan de difícil aplicación en sistemas complejos de numerosas variables, en que no se conocen exactamente las interrelaciones entre éstas.
- Modelos Computacionales: Este método, de carácter complementario y muchas veces alternativo a los modos convencionales de hacer ciencia, el experimental y el teórico, ha ejercido un fuerte impacto en, prácticamente, todos los campos de la ciencia. El objetivo de la simulación computacional es resolver los modelos teóricos en su total complejidad, mediante la resolución numérica de las ecuaciones involucradas, haciendo uso intensivo (y extensivo) de computadores.

Un sistema puede definirse como una colección de objetos o entidades que interactúan entre sí para alcanzar un cierto objetivo.

Se define como Estado de un Sistema al conjunto mínimo de variables necesarias para caracterizar o describir todos aquellos aspectos de interés del sistema en un cierto instante de tiempo. A estas variables las denominaremos Variables de Estado.

¹⁹ Troncoco Sebastián. Simulación del impacto de interferencias operacionales para la planificación de la producción. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2006.

Atendiendo a la relación entre la evolución de las propiedades de interés y la variable independiente tiempo, los sistemas se clasifican en ²⁰:

- *Sistemas Continuos*: Las variables de Estado del sistema evolucionan de modo continuo a lo largo del tiempo.

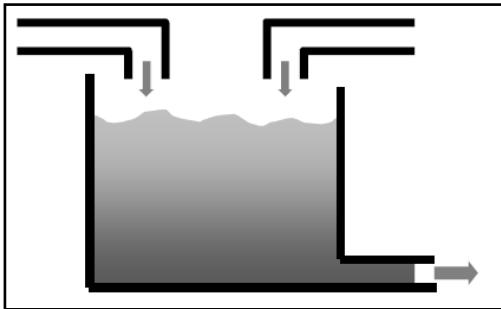


Figura 6. Ejemplo sistema continuo.

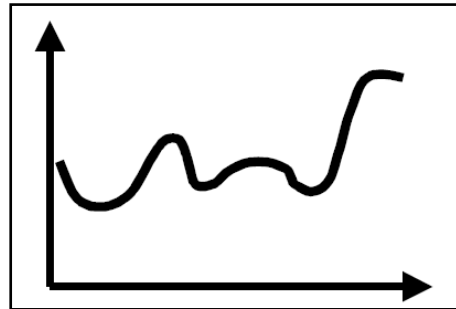


Figura 7. Evolución de una variable de un sistema continuo.

- *Sistemas Discretos*: Se caracterizan porque las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en un cierto instante o en una secuencia de instantes, y permanecen constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en las cuales el estado del sistema puede presentar un cambio, obedece normalmente a un patrón periódico.

²⁰ Oswaldo Ortiz S., Godelia Canchari S., Silvia Iglesias L., Mario Gonzales T.* Simulación determinística y estocástica para dimensionar, y seleccionar equipo y elegir alternativas de minado en la explotación minera superficial (2006).

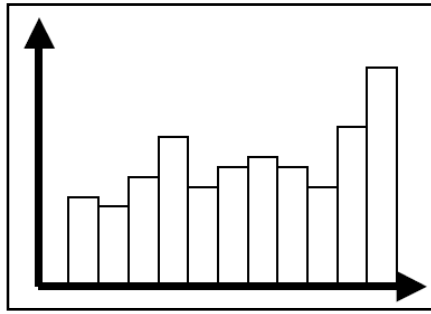


Figura 8. Evolución de una variable de un sistema discreto.

- *Sistemas orientados a eventos discretos.* Al igual que los sistemas discretos, se caracterizan porque las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en una secuencia de instantes de tiempo, permaneciendo constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en las cuales el estado del sistema puede presentar un cambio, obedece a un patrón aleatorio.

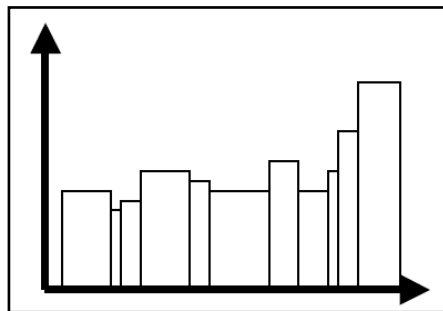


Figura 9. Evolución de una variable de un sistema orientado a eventos discretos.

- *Sistemas combinados:* Aquellos que combinan subsistemas que siguen filosofías continuas o discretas, respectivamente. Es el caso de los sistemas que poseen componentes que deben ser necesariamente modelados, según alguno de dichos enfoques específicos.

2.6.1 Clasificación de modelos

La descripción de las características de interés de un sistema se conoce como Modelo del Sistema, y el proceso de abstracción para obtener esta descripción se conoce como Modelado.

Existen muchos tipos de modelos (físicos, mentales, simbólicos). Para representar los sistemas en estudio utilizaremos Modelos Simbólicos Matemáticos como herramienta para describir las dinámicas de interés de cualquier sistema en un entorno de simulación digital.

Los Modelos Simbólicos Matemáticos mapean las relaciones existentes entre las propiedades físicas del sistema, las que se pretenden modelar en las correspondientes estructuras matemáticas. El tipo de formalización matemática que se utilice, dependerá de las características intrínsecas de las dinámicas de interés que se quieran representar.

La descripción en términos matemáticos de un sistema real no es una metodología de trabajo propia de la simulación digital, sino que es inherente a la mayoría de las técnicas que se utilizan para solventar cualquier tipo de problema. Los modelos que pueden surgir son los siguientes²¹:

- Modelos Estáticos frente a Modelos Dinámicos:
 - Los Modelos Estáticos suelen utilizarse para representar el sistema en un cierto instante de tiempo; por lo tanto, en su formulación no se considera el avance del tiempo.
$$\text{STOCK} = \text{Stock inicial} + \text{Material entrada} - \text{Material consumido}$$
 - Los Modelos Dinámicos permiten deducir cómo las variables de interés del sistema en estudio evolucionan con el tiempo.
$$\text{Evolución del STOCK} = \text{Flujo de entrada} - \text{Flujo de salida}$$
- Modelos Deterministas respecto a Modelos Estocásticos.
 - Un modelo se denomina Determinista, si su nuevo estado puede ser completamente definido a partir del estado previo y de sus entradas. En otras palabras, ofrece un único conjunto de valores de salida para un conjunto de entradas conocidas.

²¹ <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/simulacion-digital/simulacion-digital.pdf>

- Los Modelos Estocásticos requieren de una o más variables aleatorias para formalizar las dinámicas de interés. En consecuencia, el modelo no genera un único conjunto de salidas cuando es utilizado para realizar un experimento, sino que los resultados sirven para estimar el comportamiento real del sistema.
- Modelos Continuos frente a Modelos Discretos.
 - Los Modelos Continuos se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma continua. En general, suelen utilizarse ecuaciones diferenciales ordinarias si se considera simplemente la evolución de una propiedad respecto al tiempo o bien, ecuaciones en derivadas parciales si se considera también la evolución respecto a otras variables adicionales.
 - De modo análogo a la definición de los modelos continuos, los Modelos Discretos se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma discreta.

Orientándose hacia la minería, los procesos de manufactura son constituídos por un proceso industrial repetitivo, que puede dividirse en etapas fáciles de optimizar y administrar. Estos procesos han desarrollado herramientas de administración de operaciones (*Operations Management Tools*), como la Teoría de Restricciones (TOC, *Theory of constraints*)²² y la Simulación, que se han traducido en importantes mejoras en la productividad. La minería de hundimiento por bloques o paneles, por su parte, posee en su ciclo productivo condiciones que pueden compararse de buena manera con los procesos de producción industrial mencionados: ambos son de naturaleza repetitiva y se desarrollan en un espacio de trabajo determinado. Resulta importante entonces comprender, de qué manera pueden utilizarse estas herramientas de administración de operaciones en la minería, para así mejorar su productividad y comprender de mejor forma cómo se relacionan las distintas variables que entran en este proceso.

²² DESSUREAULT, S., SCOBLE, M., RUBIO, E. Simulation Block Cave Secondary Breakage – An Application of Information and Operations Management Tools in Mass Mining Systems. En: Massmin 2000. 29 Octubre - 2 Noviembre, 2000. Brisbane. 4p.

Se ha estudiado mediante Simulación²³ los modelos que representen la excavación y el acarreo en minería superficial, para seleccionar el equipo de perforación y la mejor combinación cargador – transportador tanto en tamaño como en modelos y marcas. Las medidas de efectividad elegidas son el menor costo por tonelada de material extraído de mina y la máxima producción en la unidad de tiempo.

Actualmente, son pocos los estudios de simulación que han considerado el aspecto geotécnico del macizo rocoso de manera detallada para extraer consideraciones de control, además de la capacidad, la disponibilidad y las limitaciones de los equipos.

²³ Oswaldo Ortiz S., Godelia Canchari S., Silvia Iglesias L. Simulación determinística y estocástica para dimensionar, y seleccionar equipo y elegir alternativas de minado en la explotación minera superficial. En Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG 2007. Vol 10.

3 Análisis de Información Mina PT Freeport DOZ

3.1 Antecedentes de la Mina

El presente análisis y estudio se realizará con la información histórica recopilada de la mina DOZ PT Freeport Indonesia, la cual se encuentra en la mitad occidental de la isla de Nueva Guinea (Ilustración 7).



Ilustración 7. Ubicación PT Freeport Indonesia.

El distrito minero de Grasberg es uno de los complejos mineros más grandes del mundo en cobre y oro, la que contiene la mayor reserva recuperable de cobre y la mayor reserva de oro.

Dos minas se encuentran actualmente en operación en el distrito: la mina Grasberg a cielo abierto y la mina *Deep Ore Zone* (DOZ), la cual se explota por método panel caving mecanizado. En la Ilustración 8, se aprecia el cuerpo mineralizado DOZ, adyacente al cuerpo *Ertsberg Stockwork Zone* (ESZ), que están siendo explotados juntos después de la reciente expansión, con la que se planifica extraer 80.000 tpd (marzo 2009).

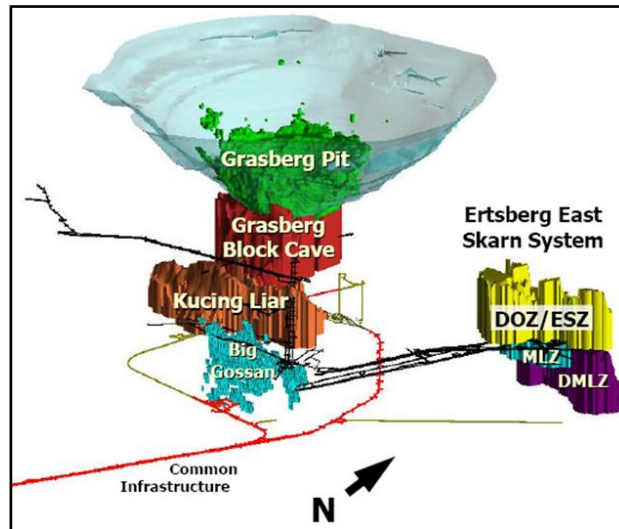


Ilustración 8. Cuerpos mineralizados distrito minero de Grasberg.

La infraestructura de la mina DOZ está definida por tres niveles principales:

- Nivel de Hundimiento.
- Nivel de Producción.
- Nivel de Transporte (carguío y acarreo).

Estos se aprecian de manera clara en la Ilustración 9 y en los capítulos posteriores, donde se realizará un análisis más profundo de los niveles de producción y transporte.

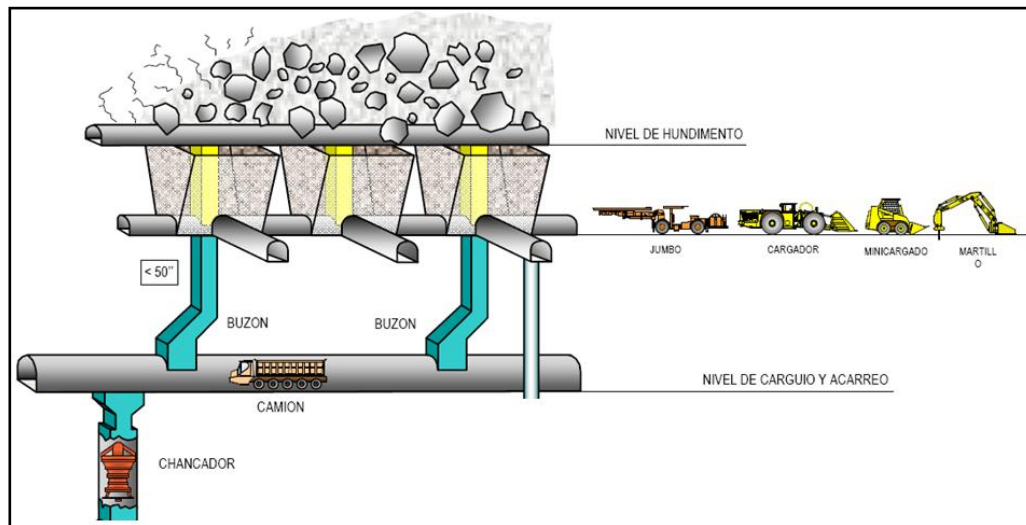


Ilustración 9. Esquema manejo de minerales DOZ.

3.2 Infraestructura Mina

3.2.1 Nivel de Producción

Se aprecia en la Figura 10 el nivel de producción de la mina DOZ, además del programa de apertura de puntos (leyenda) para cada período hasta el año 2011.

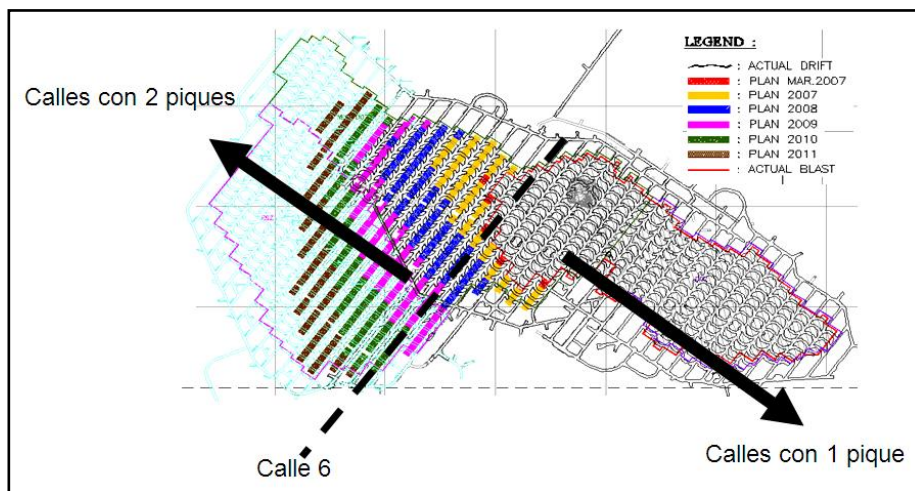


Figura 10. Plano nivel de producción DOZ.

Al realizar un zoom a la Figura 10, se puede visualizar la relación existente entre los puntos de extracción – panel de producción – pique de traspaso, la cual es fundamental a la hora de la modelación de la mina, la que posteriormente será utilizado en la construcción del modelo de confiabilidad. Lo anteriormente mencionado se aprecia claramente en la Figura 11.

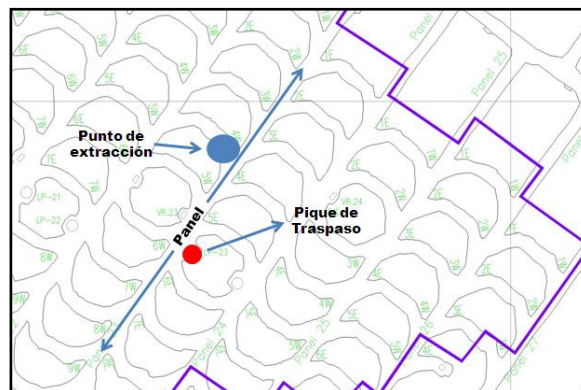


Figura 11. Zoom plano nivel de producción mina DOZ.

3.2.2 Nivel de Transporte

El nivel de producción está conectado por los piques de traspaso con el nivel de transporte, en éste el mineral contenido en los piques, cuyo flujo es regulado por buzones, es cargado a camiones, los que transportan el mineral al chancador. Se aprecia en la Figura 12, la configuración del nivel de transporte.

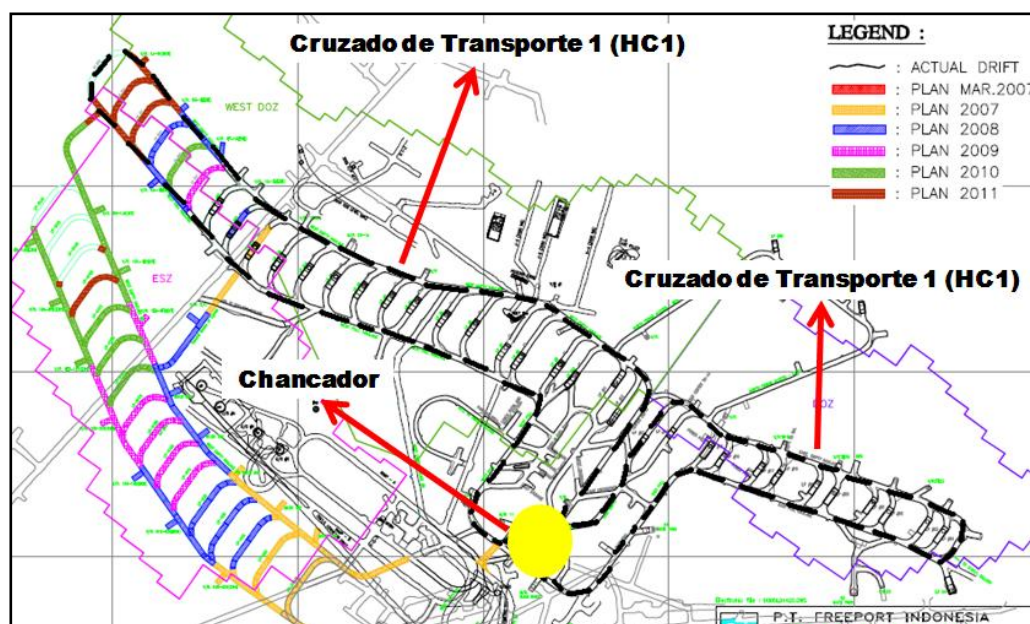


Figura 12. Plano nivel de transporte DOZ.

La Figura 12 presenta dos cruces de transporte (HC) que están conectados con un cierto número de piques de traspaso (activos e inactivos). Cabe destacar que esta configuración da una independencia a cada cruzado, ya que las rutas de ida y regreso están claramente definidas, con el objetivo de no interrumpir la producción, en caso que se produzcan interferencias operacionales en el cruzado o en los piques.

3.3 Análisis Históricos de Producción

La importancia que entrega la información histórica es fundamental para conocer el estado de madurez que presentan los componentes del sistema minero (puntos de extracción, calles, piques de traspaso). A continuación, se presenta la información recopilada para cada componente en los períodos 2000 – 2005.

| Componente | Número |
|-----------------------|--------|
| Punto de Extracción | 1333 |
| Cruzado de Transporte | 25 |
| Pique de Traspaso | 25 |
| Cruzado de Producción | 2 |

Tabla 2. Número de Componentes Activos Periodo 2000 – 2006.

3.3.1 Producción Mina

La información histórica disponible contiene los tonelajes y el número de eventos de cada punto de extracción, la que está agrupada de manera mensual desde el año 2000 hasta el año 2005, de acuerdo a como se presenta en la Tabla 3.

| Punto Extracción | Tonelaje (t) | Mes | Año | Evento (#) |
|------------------|--------------|-----|------|------------|
| P15-05E | 44,160 | 5 | 2004 | 0 |
| P15-05E | 27,002 | 4 | 2004 | 0 |
| P16-01W | 26,632 | 11 | 2001 | 0 |
| P14-06W | 22,389 | 5 | 2001 | 0 |
| P14-11E | 21,506 | 5 | 2002 | 0 |
| P15-05W | 18,900 | 7 | 2001 | 2 |

Tabla 3. Formato información histórica puntos de extracción.

Luego con la información disponible, se obtiene el tonelaje acumulado que ha sido vaciado a los piques de traspaso, hasta el año 2005 (Gráfico 6), siendo estos resultados sumamente relevantes para los análisis posteriores.

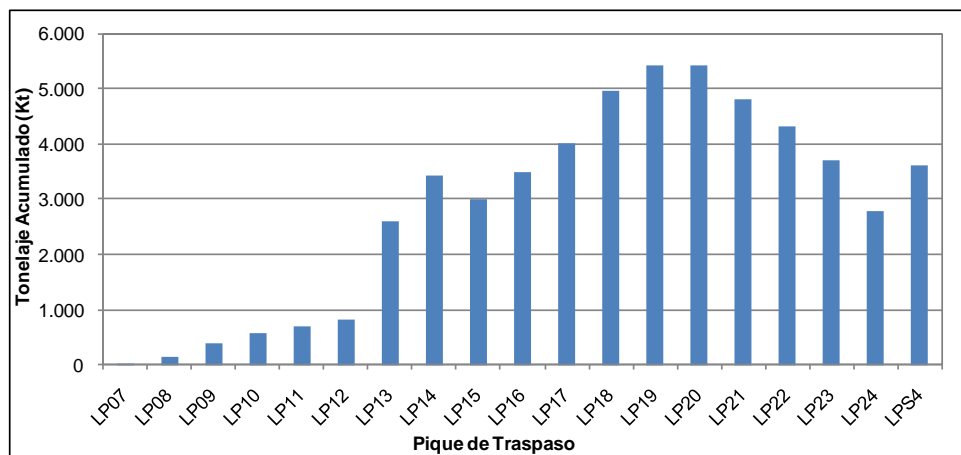


Gráfico 6. Tonelaje acumulado.

Se aprecia en el gráfico anterior que existen dos tendencias claramente marcadas:

- Un primer grupo (LP07 – LP12), que presenta tonelajes acumulados menores a 1.000 Kt.
- Un segundo grupo (LP13 – LPS4) presenta tonelajes acumulados mucho mayores que el primer grupo, los cuales fluctúan entre 3.000 – 5.000 Kt.

El desafío actual para DOZ es lograr una producción de 80 Ktpd, el cual se pretende lograr con la integración de nuevos puntos de extracción y por sobre todo con un nuevo cruzado de transporte.

4 Análisis Información Piques de Traspaso

La base de datos del estado de piques de traspaso analizada contiene información relativa al estado operacional en el periodo que va desde el 1 de enero de 2006 hasta el 31 de diciembre del 2006. Esta información se encuentra en numerosas planillas (una por turno) las cuales se describen de manera detallada en el capítulo 9.4 de los anexos. El resultado de la recopilación de la información de interferencias operacionales se almacena en una sola tabla, la que se presenta a continuación:

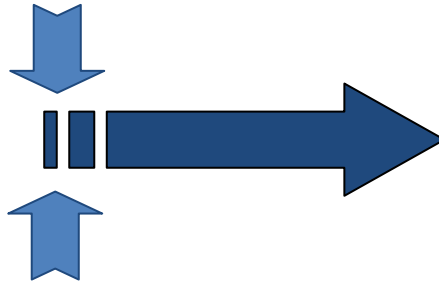
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA |
|----|------|-----|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Hour | Day | Month | Shift | DMT | V/MT | LHD | Truck | LP#5 | LP#6 | LP#7 | LP#8 | LP#9 | LP#10 | LP#11 | LP#12 | LP #13 | LP#16 | LP#17 | LP#18 | LP#19 | LP#20 | LP#21 | LP#22 | LP#23 | LP#24 | LP#25 |
| 20 | 19 | 1 | 1 | Swing | 2750 | 3521 | 3040 | 2900 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 21 | 20 | 1 | 1 | Swing | 2300 | 2464 | 1198 | 2350 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 22 | 21 | 1 | 1 | Swing | 550 | 362 | 678 | 550 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 23 | 22 | 1 | 1 | Swing | 2950 | 2423 | 2595 | 2900 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 24 | 23 | 1 | 1 | Swing | 2850 | 2610 | 437 | 2850 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 25 | 24 | 1 | 1 | Swing | 200 | 650 | 0 | 200 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 26 | 1 | 2 | 1 | Night | 1400 | 1500 | 938 | 1450 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 27 | 2 | 2 | 1 | Night | 2250 | 2390 | 3639 | 2300 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 28 | 3 | 2 | 1 | Night | 2000 | 2000 | 2147 | 2050 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 29 | 4 | 2 | 1 | Night | 1850 | 1820 | 1672 | 1950 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 30 | 5 | 2 | 1 | Night | 300 | 110 | 384 | 300 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 31 | 6 | 2 | 1 | Night | 2450 | 2280 | 2395 | 2450 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 32 | 7 | 2 | 1 | Night | 2750 | 2400 | 1774 | 2900 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 33 | 8 | 2 | 1 | Night | 1950 | 1990 | 554 | 2000 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 34 | 9 | 2 | 1 | Day | 229 | 240 | 870 | 500 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 35 | 10 | 2 | 1 | Day | 2188 | 2220 | 2656 | 2250 | | | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Ilustración 10. Formato Final de la Información de Piques de Traspaso

La tabla anterior nos entrega el estado por hora de cada pique operativo durante el año 2006. Además se cuenta con la información de todos los ciclos pique – chancador realizados por la flota de camiones en el nivel de transporte durante el año 2006, obteniéndose la producción década pique para el año 2006.

Finalmente, pueden cruzarse las tablas con el fin de obtener los registros de tonelaje, acumulado, número y tipo de interferencia operacional, agrupados de manera mensual para cada pique de traspaso. La siguiente imagen es representativa de lo especificado anteriormente:

| Hour | Day | Month | Shift | DMT | WMT | DDO | Truck | LP#5 | LP#6 | LP#7 | LP#8 | LP#9 | LP#10 | LP#11 | LP#12 | LP #13 |
|------|-----|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| 10 | 1 | 1 | Day | 1394 | 1460 | 2025 | 2050 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 11 | 1 | 1 | Day | 2808 | 2940 | 2844 | 3400 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 12 | 1 | 1 | Day | 2836 | 2970 | 1345 | 2550 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 13 | 1 | 1 | Day | 1060 | 1110 | 497 | 550 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 14 | 1 | 1 | Day | 2331 | 2650 | 2644 | 3100 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 15 | 1 | 1 | Day | 2789 | 2920 | 1164 | 3200 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 16 | 1 | 1 | Day | 2559 | 2680 | 170 | 1750 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 17 | 1 | 1 | Swing | 1700 | 1390 | 253 | 1700 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 18 | 1 | 1 | Swing | 2900 | 2129 | 302 | 2900 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 19 | 1 | 1 | Swing | 2750 | 3521 | 300 | 2900 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 20 | 1 | 1 | Swing | 2300 | 2461 | 1198 | 2350 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 21 | 1 | 1 | Swing | 550 | 302 | 678 | 550 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |



| LP | HC | Ton Acum | 1 | 2 | 3 |
|------|-----|-----------|---------|---------|---------|
| LP05 | HC2 | | | | |
| LP06 | HC2 | | | | |
| LP07 | HC2 | 19,629 | 17,820 | 3,410 | 24,385 |
| LP08 | HC2 | 110,824 | 37,730 | 31,955 | 53,515 |
| LP09 | HC2 | 333,948 | 41,195 | 41,745 | 61,160 |
| LP10 | HC2 | 500,395 | 101,695 | 81,510 | 136,620 |
| LP11 | HC2 | 625,376 | 25,355 | 103,015 | 137,555 |
| LP12 | HC2 | 782,019 | 94,380 | 68,145 | 88,880 |
| LP18 | HC1 | 4,917,745 | 108,900 | 107,195 | 107,360 |
| LP19 | HC1 | 5,347,340 | 132,385 | 112,585 | 106,645 |

| TRUCK | LOADS | LP | Travel Loaded | Dumping | Travel Empty | Loading | Total Time | Date Code | Tonnage |
|-------|-------|------|---------------|---------|--------------|---------|------------|-----------|---------|
| 62 | 2 | LP05 | 3.7 | 0.1 | 3.7 | 0.4 | 7.9 | 8 | 110 |
| 62 | 4 | LP05 | 4.3 | 0.4 | 6.1 | 0.1 | 10.9 | 8 | 220 |
| 63 | 1 | LP05 | 3.9 | 1.1 | 2.8 | 0.1 | 7.9 | 8 | 55 |
| 63 | 2 | LP05 | 7.1 | 0.2 | 3 | 0.2 | 10.5 | 8 | 110 |
| 63 | 1 | LP05 | 5.2 | 0 | 1.2 | 0 | 6.4 | 8 | 55 |
| 66 | 1 | LP05 | 8.1 | 0 | 0.2 | 0.1 | 8.4 | 8 | 55 |
| 66 | 5 | LP05 | 9 | 0.4 | 7.6 | 0.7 | 17.7 | 8 | 275 |
| 66 | 1 | LP05 | 2.8 | 0.3 | 3.3 | 0.1 | 6.5 | 8 | 55 |
| 67 | 4 | LP05 | 3.2 | 0.1 | 2.7 | 0.1 | 6.1 | 8 | 220 |
| 68 | 5 | LP05 | 4.5 | 0.2 | 6 | 0.6 | 11.3 | 8 | 275 |
| 68 | 2 | LP05 | 2.4 | 0.3 | 5.4 | 1 | 9.1 | 8 | 110 |
| 68 | 2 | LP05 | 4.3 | 0.5 | 1.8 | 0.2 | 6.8 | 8 | 110 |
| 69 | 2 | LP05 | 2.6 | 0.2 | 5.8 | 0.1 | 8.7 | 8 | 110 |
| 69 | 3 | LP05 | 4.7 | 0.5 | 2.8 | 0.6 | 8.6 | 8 | 165 |
| 69 | 17 | LP05 | 4.2 | 0.8 | 3.6 | 0.4 | 9 | 8 | 935 |
| 69 | 1 | LP05 | 2.3 | 0.1 | 6.5 | 0.1 | 9 | 8 | 55 |

Ilustración 11. Diagrama Conceptual de la Obtención de Tonelaje y Eventos

4.1 Análisis Información. Piques de Traspaso Año 2006.

Realizada la descripción y análisis detallado de las bases de datos disponibles para este estudio, la información contenida en estas se presenta a continuación:

4.1.1 Mina

Análisis Productividad

Para un primer análisis de los datos contenidos en la planilla “*Historical truck by LP 2006.xls*”, la cual entrega los tonelajes extraídos de cada pique, se presenta el siguiente gráfico:

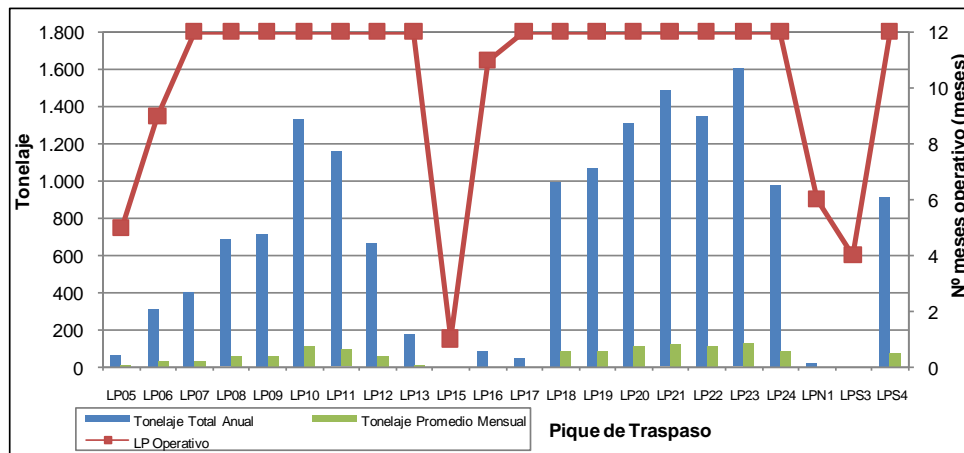


Gráfico 7. Producción piques de traspaso año 2006.

Se aprecia en el gráfico:

- Número de meses en que estuvo operativo el pique de traspaso: se aprecia que para los LP05 – LP06 – LP15 – LP16 – LPN1 – LPS3, no están activos durante todos los meses del año 2006.
- Tonelaje anual y promedio mensual extraído para cada pique: se aprecian productividades mayores a 600 Kt/año, salvo en los LP05 – LP06 – LP13 – LP15 – LP16 – LP17 – LPN1 – LPS3, y promedios mensuales muy bajos (menores a 7 Kt) para LP15 – LP16 – LP17 – LPN1 – LPS3.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado y según se muestra en la Tabla 25 (anexos), se determina lo siguiente para el posterior análisis:

- Los piques LP05 – LP06 comienzan a producir durante el año 2006. Por lo que el comportamiento presentado en el Gráfico 7, es normal para un pique nuevo.
- Los piques LP13 – LP15 – LP16 – LP17 – LPN1 – LPS3, presentan un comportamiento productivo durante el año y el mes que no permite análisis, además dista de lo observado en el resto de los piques en cuanto a la variabilidad que presentan en el tiempo (no operan todos los meses, ni meses seguidos).

Debido a lo anteriormente mencionado, se opta por dejar fuera del posterior análisis en que está enmarcado este trabajo a los piques de traspaso LP13 – LP15 – LP16 – LP17 – LPN1 – LPS3, puesto que no son piques que comenzaron su producción en el año 2006, como es el caso de LP05 – LP06 (según lo presentado en el Gráfico 6).

Por lo tanto el Gráfico 7 queda representado de la siguiente manera:

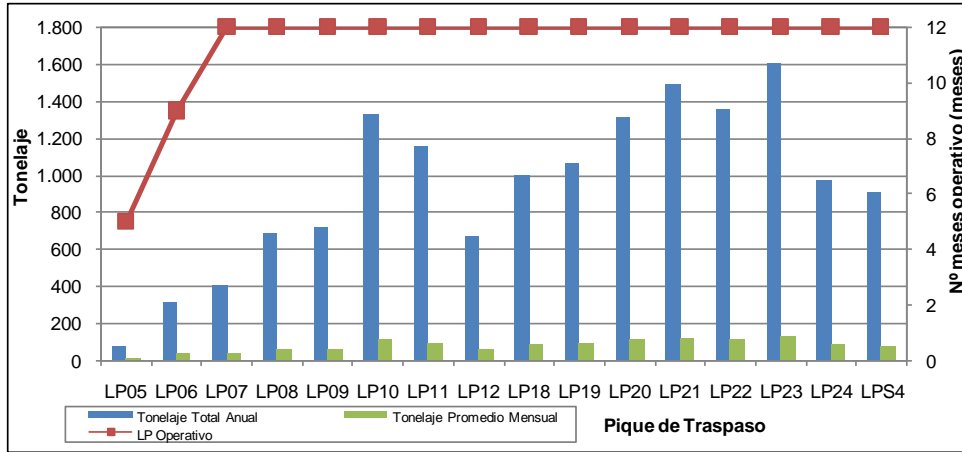


Gráfico 8. Producción (total y promedio) piques de traspaso (sin datos aberrantes).

Este gráfico nos presenta piques de traspaso en régimen y piques que recién están produciendo.

Otro resultado que entregan los datos (Tabla 26, anexos) es la productividad mensual de la mina DOZ y el número de piques de activos que hay durante cada período (mes). Lo anteriormente mencionado, se presenta en el siguiente gráfico:

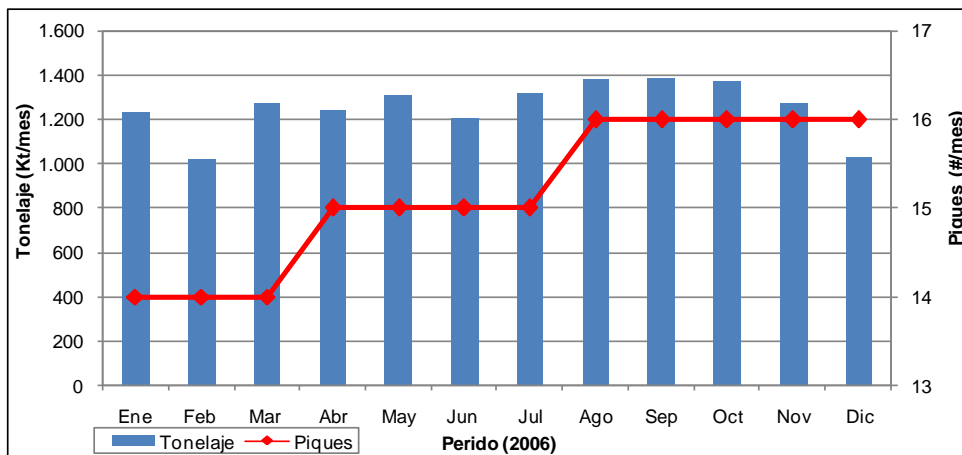


Gráfico 9. Productividad mensual y número de piques activos por periodo.

Se aprecia en el gráfico anterior, que a medida que el número de piques de traspaso aumenta la producción aumenta. Sin embargo cuando el número de piques se mantiene estable, la productividad tiende a mantenerse o a disminuir, tal como se aprecia desde los meses de Agosto a Diciembre.

Análisis Eventos

De acuerdo a lo presentado en el capítulo referente a la descripción de las bases de datos, las interferencias operacionales (evento) sucedidas en la mina se obtienen de la hoja de trabajo *Production* (tabla I).

Se entenderá como evento en los piques de traspaso, toda interferencia en el flujo de mineral, sin importar la duración que éste tenga. Con lo anterior se obtienen los siguientes gráficos:

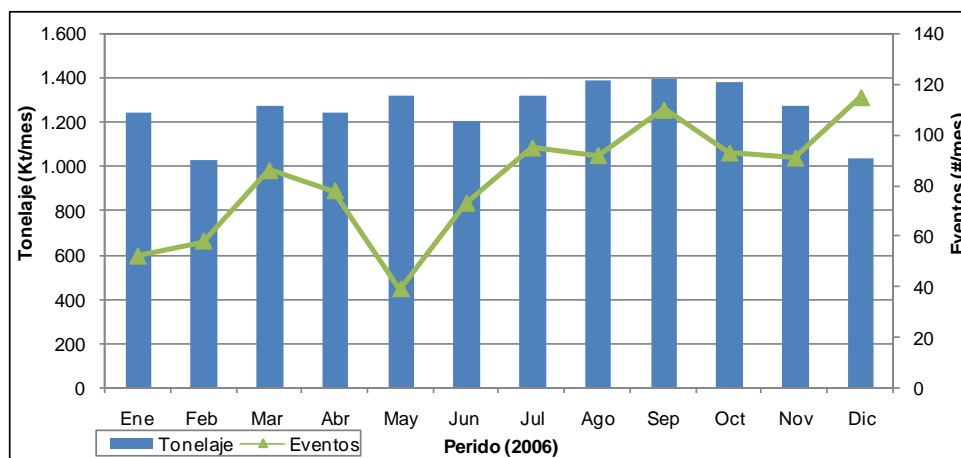


Gráfico 10. Número de eventos por mes y tonelaje extraído por mes año 2006.

En el Gráfico 10 se puede apreciar, que el número de eventos ocurridos en todos los piques de traspaso es relativamente variable, teniendo mínimos del orden de los 40 eventos (Mayo) y máximos del orden de los 120 eventos (Diciembre). Además, no se aprecia claramente alguna relación entre el número de eventos y la productividad de la mina, este requiere un mayor análisis a nivel de pique.

En el siguiente gráfico que está alimentado por la Tabla 28 (anexos) se aprecia de manera más clara la influencia del número de eventos en la productividad del pique de traspaso.

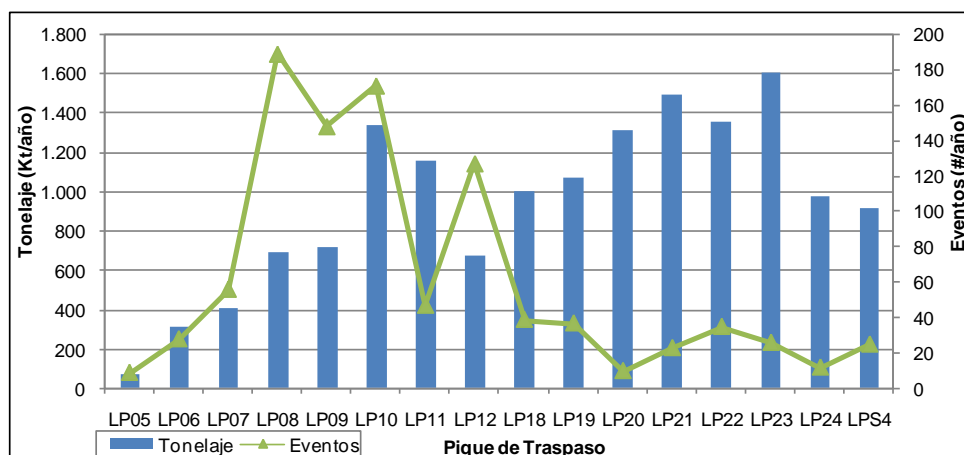


Gráfico 11. Número de eventos y tonelajes anuales por pique.

Claramente existe una relación entre los eventos ocurridos durante el año y la producción que el pique de traspaso tiene, siendo los piques que presentan una mayor madurez los que menos falla, al contrario de piques más jóvenes que presentan un número de fallas mucho mayor y mucho más variable.

Como resumen de la producción y de los eventos ocurridos durante el año 2006, se obtiene la siguiente tabla:

| LP | Tonelaje Promedio [t/mes] | Tonelaje Total [t/año] | Tonelaje Acumulado [t] | Eventos Prom. [#mes] | Eventos Total [#año] |
|------|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| LP05 | 14,076 | 70,380 | 70,380 | 2 | 9 |
| LP06 | 34,541 | 310,868 | 310,868 | 3 | 28 |
| LP07 | 33,473 | 401,672 | 421,301 | 5 | 56 |
| LP08 | 57,542 | 690,506 | 801,330 | 16 | 189 |
| LP09 | 59,769 | 717,232 | 1,051,180 | 12 | 148 |
| LP10 | 111,136 | 1,333,632 | 1,834,027 | 14 | 171 |
| LP11 | 96,477 | 1,157,728 | 1,783,104 | 4 | 47 |
| LP12 | 55,813 | 669,760 | 1,451,779 | 11 | 127 |
| LP18 | 83,375 | 1,000,500 | 5,918,245 | 3 | 39 |
| LP19 | 88,930 | 1,067,154 | 6,414,494 | 3 | 37 |
| LP20 | 109,196 | 1,310,356 | 6,598,531 | 1 | 10 |
| LP21 | 124,204 | 1,490,446 | 6,213,098 | 2 | 23 |
| LP22 | 112,919 | 1,355,022 | 5,573,125 | 3 | 35 |
| LP23 | 133,603 | 1,603,238 | 5,226,024 | 2 | 26 |
| LP24 | 81,328 | 975,936 | 3,703,158 | 1 | 12 |
| LPS4 | 76,030 | 912,364 | 4,394,165 | 2 | 25 |

Tabla 4. Tabla resumen. Piques de Traspaso año 2006.

4.2 Sectorización Piques de Traspasos

Una mina de panel caving puede entenderse como un sistema compuesto de n componentes (puntos de extracción, piques de traspaso, buzones, etc.), sujeto a la eventual ocurrencia de eventos de interferencia debido al desgaste por el funcionamiento del mismo y al tipo de material que se moviliza dentro de él, que se traducen en la detención de ciertos sectores que agrupan una o varias componentes del sistema, por sus relaciones de conectividad. Sin embargo, una característica fundamental de este sistema es que sus componentes son reparables y que la probabilidad de ocurrencia de dichos eventos de interrupción, depende de la utilización de sus componentes y su grado de madurez, tanto como de sus características propias (por ejemplo: calidad de la roca donde están emplazadas las excavaciones, calidad de la fortificación utilizada, etc.). La idea de sectorizar el nivel de transporte nace al comprender que, si bien su funcionalidad global es única, su extensión en planta es importante. Sumado al hecho que el macizo rocoso es de naturaleza variable, y que las operaciones mineras influyen en su estabilidad, resulta natural pensar que cada componente del nivel de transporte, tiene una probabilidad de ocurrencia de eventos de interferencia puntual y distinta de sus pares, sin embargo, presumiblemente pueden encontrarse sectores con un comportamiento similar, cuyo funcionamiento en conjunto a otras componentes del sistema minero tienen una productividad intrínseca asociada, que dependerá, entre otros factores, de la frecuencia de ocurrencia de interferencias.

4.2.1 Sectorización por Cruzado de Transporte

Cada pique de traspaso está relacionado con un cruzado de transporte (HC) específico. Para el año 2006, se encuentran 2 cruzados en operación, los cuales tienen relacionados cierto número de piques de traspaso. En la siguiente tabla se muestra esta relación:

| Nivel de Transporte | |
|---------------------|------|
| HC1 | HC2 |
| LP18 | LP05 |
| LP19 | LP06 |
| LP20 | LP07 |
| LP21 | LP08 |
| LP22 | LP09 |
| LP23 | LP10 |
| LP24 | LP11 |
| LPS4 | LP12 |

Tabla 5. Relación pique de traspaso - cruzado de transporte.

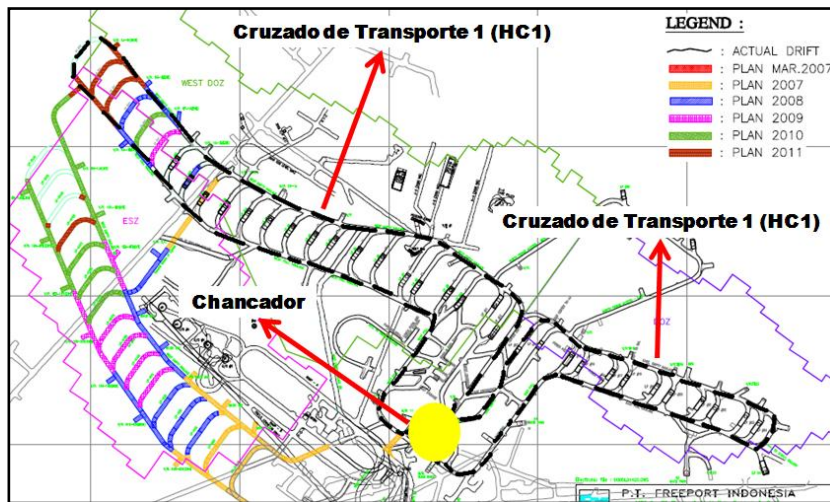


Ilustración 12. Cruzados de Transporte.

Según lo definido en la Tabla 5 se realizan los siguientes análisis:

Producción

El primer análisis es identificar los tonelajes acumulados para cada pique, pero relacionados con su respectivo HC.

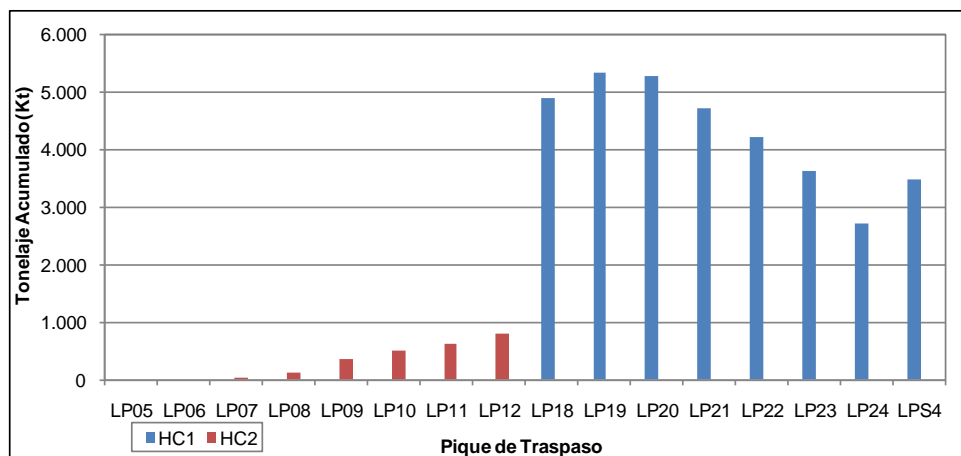


Gráfico 12. Tonelaje acumulado por pique y según relación HC.

Lo observado en el gráfico anterior, evidencia que los piques que se encuentran conectados por el HC2, presentan una madurez mucho mayor que los del HC1. Siendo éstos, los que sustentan la producción de la mina.

Luego de conocer la madurez de cada pique, se presentan en el siguiente gráfico y tabla de estadísticas básicas la producción de cada cruzado de transporte y de la mina (Tabla 25, anexos).

| Tonelaje Mina | | Tonelaje HC1 | | Tonelaje HC2 | |
|-------------------|------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Media (t/mes) | 82,785 | Media (t/mes) | 101,198 | Media (t/mes) | 62,230 |
| Dev. Est. (t/mes) | 37,135 | Dev. Est. (t/mes) | 28,167 | Dev. Est. (t/mes) | 35,206 |
| Mínimo (t/mes) | 2,852 | Mínimo (t/mes) | 13,386 | Mínimo (t/mes) | 2,852 |
| Máximo (t/mes) | 172,500 | Máximo (t/mes) | 172,500 | Máximo (t/mes) | 151,248 |
| Suma (t/mes) | 15,066,794 | Suma (t/año) | 9,715,016 | Suma (t/año) | 5,351,778 |
| Nº Registros | 182 | Nº Registros | 96 | Nº Registros | 86 |

Tabla 6. Estadísticas básicas de tonelajes por piques de traspaso.

Las diferencias de tonelajes promedios para cada cruzado de transporte se deben al número de piques activos durante el periodo y la madurez que estos presentan.

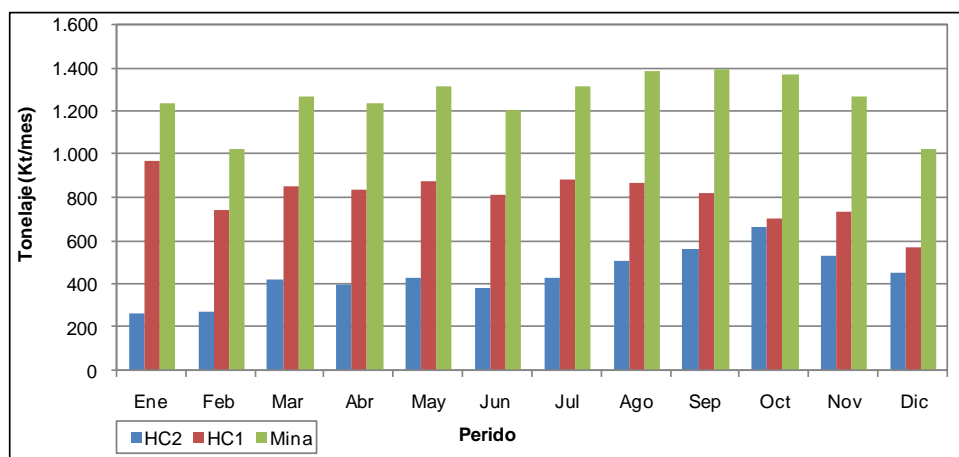


Gráfico 13. Producción para cada HC y mina.

Se aprecia que la producción del HC1 es mayor que la del HC2, esto se debe a que el HC2 presenta un menor número de piques en los primeros 6 meses. Por otro lado se observa,

que para el HC1 la producción comienza a descender y la del HC2 a aumentar en el tiempo, esto hace que la producción de la mina se mantenga estable durante el período, ya que la disminución de una y el aumento de la otra, hace que ésta se compense.

Eventos

Al igual que los tonelajes, los eventos (Tabla 28, anexos) se pueden agrupar dependiendo de donde se encuentre el pique. El resultado de esta sectorización, se presenta en el siguiente gráfico y tabla:

| Eventos Mina | | Eventos HC1 | | Eventos HC2 | |
|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
| Media (#/mes) | 5 | Media (#/mes) | 2 | Media (#/mes) | 9 |
| Dev. Est. (#/mes) | 7 | Dev. Est. (#/mes) | 3 | Dev. Est. (#/mes) | 8 |
| Mínimo (#/mes) | 0 | Mínimo (#/mes) | 0 | Mínimo (#/mes) | 0 |
| Máximo (#/mes) | 33 | Máximo (#/mes) | 19 | Máximo (#/mes) | 33 |
| Suma (#/año) | 982 | Suma (#/año) | 207 | Suma (#/año) | 775 |
| Nº Registros | 182 | Nº Registros | 96 | Nº Registros | 86 |

Tabla 7. Estadísticas básicas de número de eventos porpiques de traspaso.

Igual que para los tonelajes las diferencias presentes en los promedios para cada cruzado de transporte se deben a la madurez que los piques presentan, ya que a piques mas nuevos el número de interferencias operacionales es mayor.

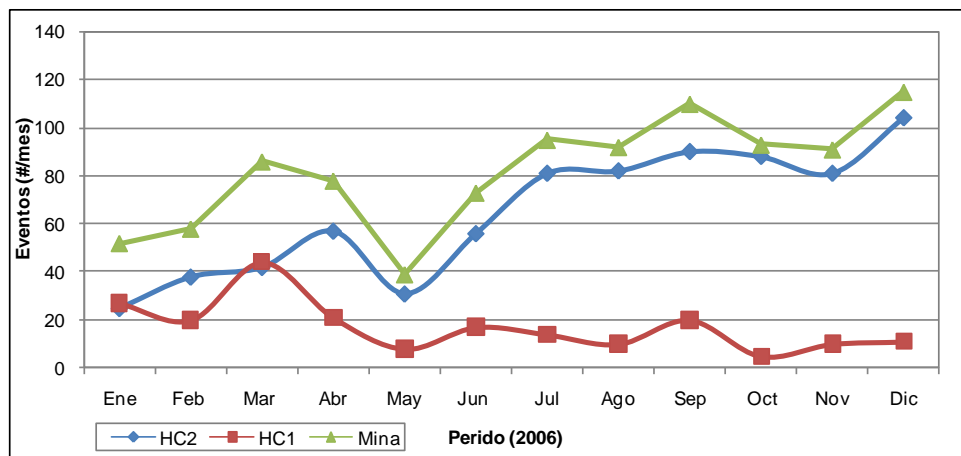


Gráfico 14. Número de eventos por HC.

Se observa que la mayoría de los eventos, sucede en los piques que presentan una menor madurez (HC2). En cambio para los piques más antiguos (HC1), el número de eventos es estable durante casi todos los períodos (aproximadamente 20 por mes).

A continuación se presenta el gráfico que muestra la relación número de eventos ocurridos en el mes y tonelaje extraído durante el mismo periodo.

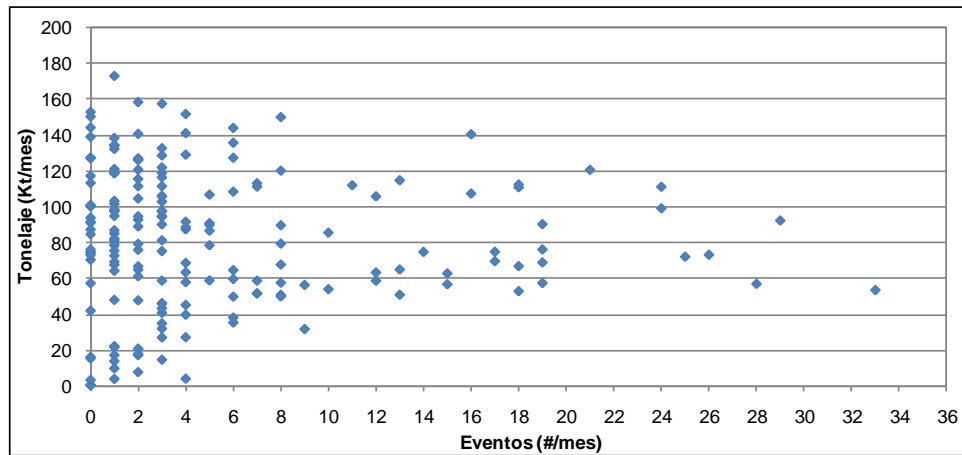


Gráfico 15. Producción mensual versus número de eventos mensuales por pique de traspaso.

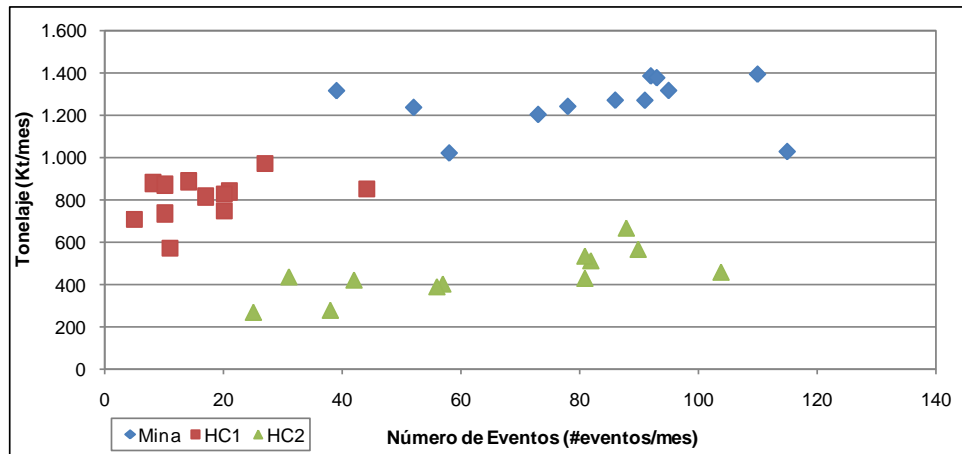


Gráfico 16. Producción mensual versus número de eventos según sectorización.

En resumen, se aprecia que la productividad de los piques no está condicionada al número de eventos.

4.2.2 Por Tipo de Eventos

Según se presenta en la Tabla 41 (capítulo Análisis Bases de Datos), los tipos de eventos que suceden en los piques de traspaso son:

1. Colgaduras: cuando se forman arcos de mineral que impiden el libre flujo de mineral por el pique de traspaso.
2. Parrillas (BO): regulan el tamaño máximo del mineral que es vaciado al pique de traspaso; éstas al ser reparadas o cambiadas, el pique deja de producir.
3. Reparación Buzones (N/U): estructura que regula el flujo de mineral que es vaciado al camión; al ser una componente mecánica ésta presenta fallas, las que al ser reparadas afectan la producción del pique.
4. Mantenión programada (PM): mantenciones que se realizan al pique.
5. Cerrado (CLOSE): pique cerrado debido a diversos problemas que puedan suceder que están asociados a las componentes mecánicas del pique y que no están especificados en los anteriores tipos de fallas.

Las anteriores pueden considerarse, en su conjunto, como todas las interferencias operacionales que afectan el libre flujo de mineral por los piques de traspaso. Sin embargo, estos se asocian en dos grupos, los cuales son:

- Colgaduras (1): todo tipo de interferencia operacional que tiene relación con el mineral que fluye por pique.
- Mecánicos (2 – 3 – 4 – 5): toda interferencia operacional que esté relacionada con una componente mecánica del sistema.

Entonces quedan definidos dos grupos fenomenológicos de eventos, los cuales serán analizados a continuación.

Colgaduras

De acuerdo a lo observado en la Tabla 29 (anexos) es el evento más común que sucede en los piques de traspaso, el comportamiento de estos se presenta en los siguientes gráficos y tablas:

| Colgaduras Mina | | Colgaduras HC1 | | Colgaduras HC2 | |
|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
| Media (#/mes) | 3 | Media (#/mes) | 0.2 | Media (#/mes) | 7 |
| Dev. Est. (#/mes) | 6 | Dev. Est. (#/mes) | 0.6 | Dev. Est. (#/mes) | 7 |
| Mínimo (#/mes) | 0 | Mínimo (#/mes) | 0 | Mínimo (#/mes) | 0 |
| Máximo (#/mes) | 28 | Máximo (#/mes) | 4 | Máximo (#/mes) | 28 |
| Suma (#/año) | 611 | Suma (#/año) | 20 | Suma (#/año) | 591 |
| Nº Registros | 182 | Nº Registros | 96 | Nº Registros | 86 |

Tabla 8. Estadísticas básicas de colgaduras piques de traspaso.

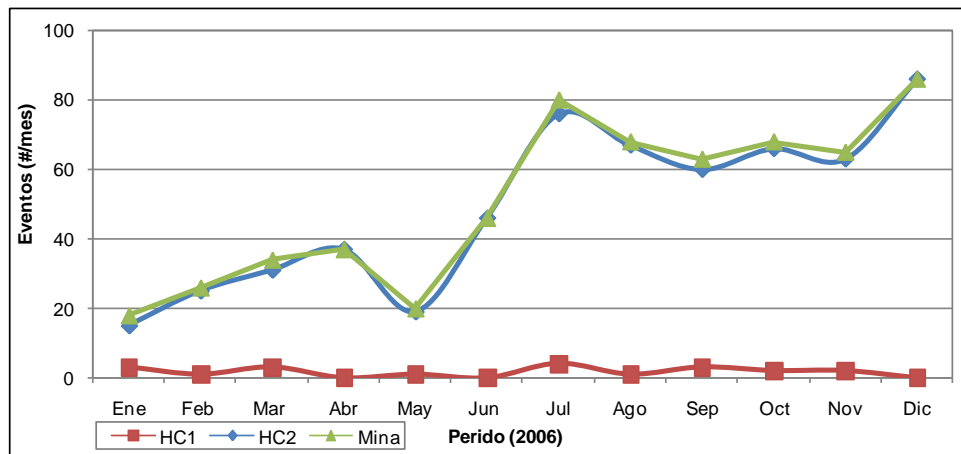


Gráfico 17. Número de colgaduras por HC y mina.

Se observa una tendencia claramente marcada: que los eventos de colgaduras suceden en mayor cantidad, en los piques que presentan una madurez menor (HC2), casi no existiendo en piques asociados al HC1. Estos son el evento mas frecuente en los piques de traspaso.

Además se puede obtener el número de colgaduras por pique durante el año 2006:

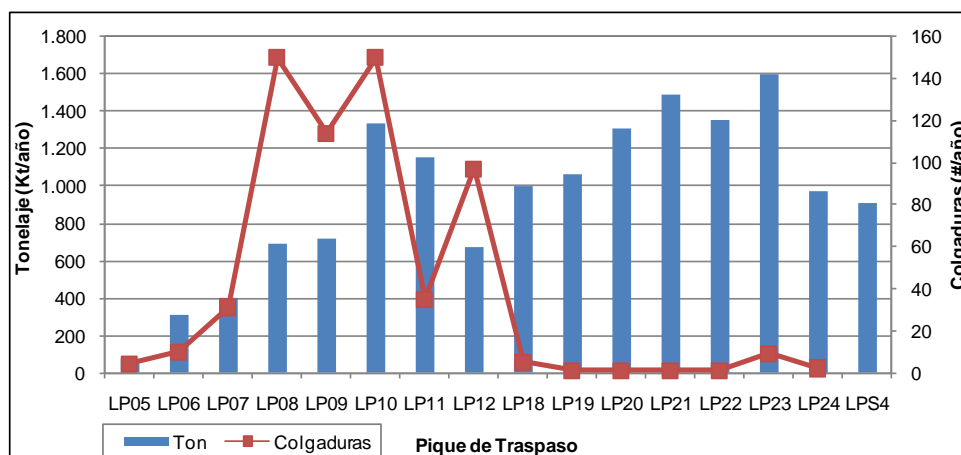


Gráfico 18. Número de colgaduras por pique.

Es evidente que el mayor número de colgaduras suceden en piques por los cuales ha pasado una menor cantidad de mineral. Esto afecta de sobremanera la producción, ya que en el inicio de la vida del pique, el tonelaje planificado a pasar por éste es menor que cuando se encuentra en régimen. Sumado al alto número de colgaduras que suceden en los piques nuevos, la producción se resiente creando una mayor incertidumbre en los planes de producción.

Mecánicos

De acuerdo a lo observado en la Tabla 30 (anexos) se observa el siguiente comportamiento de los eventos mecánicos:

| Mecánicos Mina | | Mecánicos HC1 | | Mecánicos HC2 | |
|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
| Media (#/mes) | 2 | Media (#/mes) | 2 | Media (#/mes) | 2 |
| Dev. Est. (#/mes) | 2 | Dev. Est. (#/mes) | 3 | Dev. Est. (#/mes) | 2 |
| Mínimo (#/mes) | 0 | Mínimo (#/mes) | 0 | Mínimo (#/mes) | 0 |
| Máximo (#/mes) | 19 | Máximo (#/mes) | 19 | Máximo (#/mes) | 9 |
| Suma (#/año) | 371 | Suma (#/año) | 187 | Suma (#/año) | 184 |
| Nº Registros | 182 | Nº Registros | 96 | Nº Registros | 86 |

Tabla 9. Estadísticas básicas de eventos mecánicos piques de traspaso

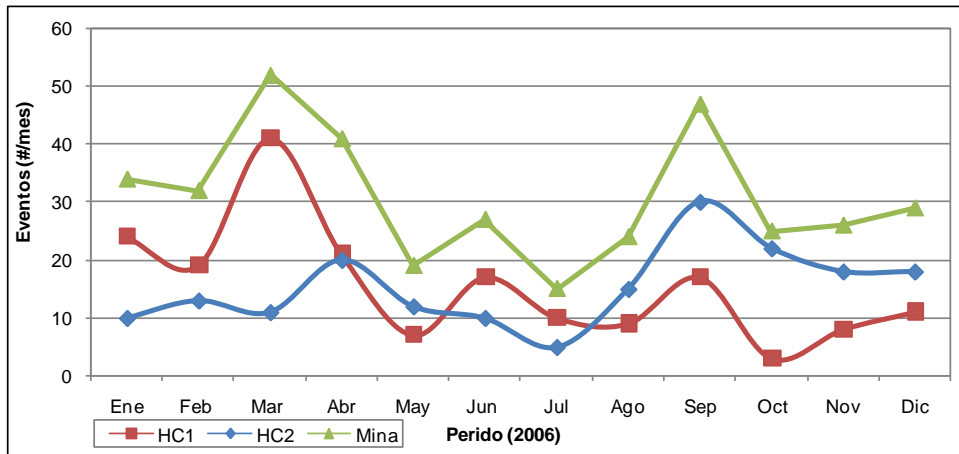


Gráfico 19. Número de eventos mecánicos por HC y mina.

Existe una tendencia levemente marcada, en que el HC2 presenta un mayor número de interferencias operacionales del tipo mecánicos, sin embargo estos se mantienen casi constantes en el tiempo, para ambos cruzados de transporte.

Además tiene el número de eventos mecánicos que suceden durante el año 2006, en cada pique de traspaso:

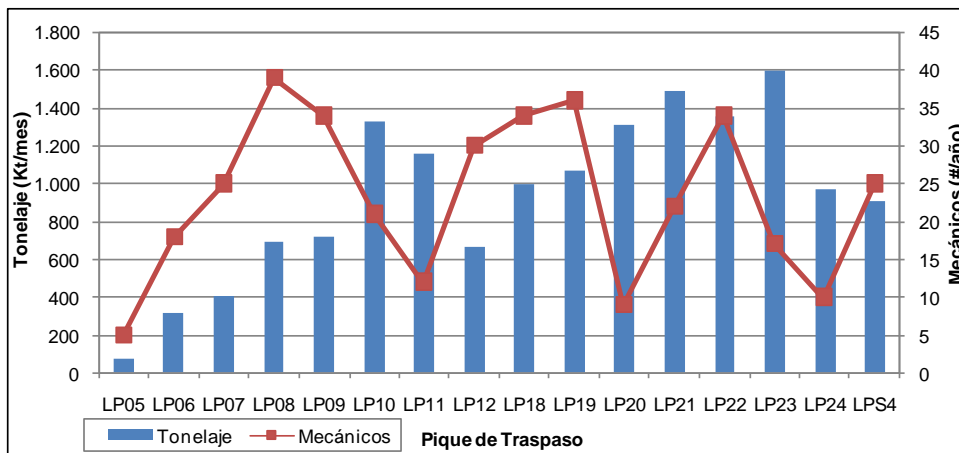


Gráfico 20. Número de eventos mecánicos año 2006 por pique.

Se aprecia que no existe una tendencia clara en cuanto al número de eventos, pero se infiere desde el gráfico que para componentes mecánicas nuevas y viejas (LP05 – LP06 – LP07 – LP09 – LP18 – LP19 – LP22), el número de eventos es mayor que las que se encuentran en régimen (LP10 – LP11 – LP12 – LP20 – LP21), o sea su comportamiento se

asemeja a la “curva tipo bañera” (Ilustración 3). Cabe destacar que esta categorización se hace considerando el número de toneladas que han pasado por estas componentes (parrillas, buzón).

En resumen, se puede obtener de la sectorización de los piques de traspaso, el siguiente gráfico y la siguiente tabla:

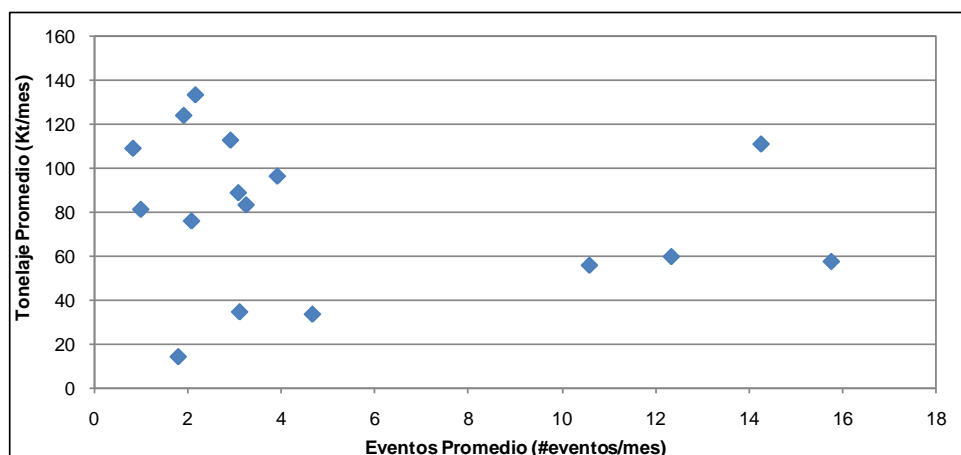


Gráfico 21. Tonelaje promedio mensual versus número de eventos para pique de traspaso.

| LP | HC | Tonelaje Promedio [t/mes] | Tonelaje Total [t/año] | Tonelaje Acumulado [t] | Eventos Prom. [#mes] | Eventos Total [#año] | Colgaduras Prom. [#mes] | Colgaduras Total. [#año] | Mecánicos Prom. [#mes] | Mecánicos Total. [#año] |
|------|-----|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| LP05 | HC2 | 14,076 | 70,380 | 70,380 | 2 | 9 | 1 | 4 | 1 | 5 |
| LP06 | HC2 | 34,541 | 310,868 | 310,868 | 3 | 28 | 1 | 10 | 2 | 18 |
| LP07 | HC2 | 33,473 | 401,672 | 421,301 | 5 | 56 | 3 | 31 | 2 | 25 |
| LP08 | HC2 | 57,542 | 690,506 | 801,330 | 16 | 189 | 13 | 150 | 3 | 39 |
| LP09 | HC2 | 59,769 | 717,232 | 1,051,180 | 12 | 148 | 10 | 114 | 3 | 34 |
| LP10 | HC2 | 111,136 | 1,333,632 | 1,834,027 | 14 | 171 | 13 | 150 | 2 | 21 |
| LP11 | HC2 | 96,477 | 1,157,728 | 1,783,104 | 4 | 47 | 3 | 35 | 1 | 12 |
| LP12 | HC2 | 55,813 | 669,760 | 1,451,779 | 11 | 127 | 8 | 97 | 3 | 30 |
| LP18 | HC1 | 83,375 | 1,000,500 | 5,918,245 | 3 | 39 | 0 | 5 | 3 | 34 |
| LP19 | HC1 | 88,930 | 1,067,154 | 6,414,494 | 3 | 37 | 0 | 1 | 3 | 36 |
| LP20 | HC1 | 109,196 | 1,310,356 | 6,598,531 | 1 | 10 | 0 | 1 | 1 | 9 |
| LP21 | HC1 | 124,204 | 1,490,446 | 6,213,098 | 2 | 23 | 0 | 1 | 2 | 22 |
| LP22 | HC1 | 112,919 | 1,355,022 | 5,573,125 | 3 | 35 | 0 | 1 | 3 | 34 |
| LP23 | HC1 | 133,603 | 1,603,238 | 5,226,024 | 2 | 26 | 1 | 9 | 1 | 17 |
| LP24 | HC1 | 81,328 | 975,936 | 3,703,158 | 1 | 12 | 0 | 2 | 1 | 10 |
| LPS4 | HC1 | 76,030 | 912,364 | 4,394,165 | 2 | 25 | 0 | 0 | 2 | 25 |

Tabla 10. Tabla resumen análisis piques de traspaso.

5 Curvas U y Curvas de Producción Característica. Piques de Traspaso

A continuación se describe detalladamente la construcción y análisis de las Curvas U y Curvas de Producción Características (PCC) para los piques de traspaso presentes en la mina DOZ PT Freeport.

5.1 Metodología

5.1.1 Estructuración de la información

Eventos

Como se mencionó en el capítulo referente a las bases de datos del año 2006, es posible extraer los eventos que suceden en cada pique por mes, día, turno y hora. Con esto es posible ordenar y filtrar las interferencias operacionales, con el objetivo de obtener el número y tipo de evento que se produce en cada periodo (mes). Es importante señalar que se considera evento, a cualquier interferencia operacional que dure más de una hora, sin importar la duración final de éste. Por ejemplo:

| LP#06 | LP#07 | LP#8 |
|-------|-------|------|
| OK | OK | BO |
| OK | OK | BO |
| OK | OK | BO |
| H/Up | OK | BO |
| H/Up | OK | BO |
| OK | OK | BO |

Ambos casos son considerados como un evento

Ilustración 13. Ejemplo Duración de Eventos.

La información de los eventos de cada pique se tiene agrupada de manera mensual y por pique; ésta se presenta detalladamente en los anexos (Tabla 28).

Tonelajes

Con respecto a los tonelajes asociados a cada pique, en su respectivo período, se obtuvieron de los ciclos realizados por los camiones en el cruzado de transporte, los cuales se presentan en las planillas “*historical truck by LP 2006*”. Cabe destacar que a cada ciclo, se le asignó un tonelaje fijo, el que es de 46 toneladas. Con esta información se puede obtener el tonelaje mensual extraído de cada pique, estando contenida esta información en los anexos (Tabla 26).

Luego con la información de los tonelajes mensuales (Tabla 26), y con los tonelajes acumulados de cada pique hasta el año 2005 se obtiene la tabla de tonelajes acumulados para el año 2006 (Tabla 27) la cual nos dará la madurez del pique en estudio.

En resumen; las tablas, número de eventos por mes (Tabla 28), tonelaje extraído por mes (Tabla 26) y tonelaje acumulado por mes (Tabla 27) para cada pique, son las entradas para la construcción de las Curvas U y PCC.

5.1.2 Curvas U

Previo a la construcción de la Curva U, los datos de los puntos de extracción se agrupan de la siguiente manera:

| Mes | LP | Madurez Actual (t) | Número de Eventos (eventos/mes) | Productividad Actual (t/mes) |
|-----|------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 12 | LP20 | 6,598,531 | 0 | 56,856 |
| 11 | LP20 | 6,541,675 | 0 | 74,428 |
| 10 | LP20 | 6,467,247 | 0 | 90,620 |
| 12 | LP19 | 6,414,494 | 2 | 66,286 |
| 9 | LP20 | 6,376,627 | 0 | 100,510 |
| 11 | LP19 | 6,348,208 | 2 | 88,550 |
| 8 | LP20 | 6,276,117 | 1 | 102,810 |
| 10 | LP19 | 6,259,658 | 1 | 81,696 |
| 12 | LP21 | 6,213,098 | 0 | 86,848 |
| 9 | LP19 | 6,177,962 | 0 | 73,784 |
| 7 | LP20 | 6,173,307 | 1 | 118,634 |

Tabla 11. Ejemplo de agrupación de datos previo a la construcción Curvas U.

Luego la Curva U se obtiene:

1. Definir en una columna cotas máximas de madurez, las que no necesariamente presentan un intervalo de madurez constante. Un ejemplo se presenta en la siguiente tabla:

| Intervalos de Madurez (t) |
|----------------------------------|
| <200000 |
| <600000 |
| <700000 |
| <1200000 |
| <1500000 |
| <1800000 |
| <2100000 |

Tabla 12. Ejemplo co de madurez.

2. Luego se agrupan todas las filas (Tabla 11) que presenten tonelajes acumulados menores a la cota definida en el punto 1, para posteriormente sumar los tonelajes contenidos en la columna productividad actual, que estén relacionados con un determinado tonelaje acumulado. A continuación se define una nueva columna, que presenta el diferencial de producción entre los intervalos de madurez. El resultado de esta operación nos entrega lo siguiente:

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) |
|----------------------------------|--|--|
| <200000 | 1,233,398 | 1,233,398 |
| <600000 | 1,563,494 | 330,096 |
| <700000 | 1,860,884 | 297,390 |
| <800000 | 2,202,112 | 341,228 |
| <1200000 | 2,628,854 | 426,742 |
| <1500000 | 3,123,124 | 494,270 |
| <2000000 | 3,467,388 | 344,264 |
| <2100000 | 3,683,450 | 216,062 |
| <2200000 | 4,007,198 | 323,748 |
| <2400000 | 4,276,528 | 269,330 |

Tabla 13. Ejemplo producción total y diferencial intervalo de madurez.

3. Al igual que en el punto 2, se agrupan todas las filas (Tabla 11) que presenten tonelajes acumulados menores a la cota definida en el punto 1, para posteriormente sumar los eventos contenidos en la columna número de eventos que estén relacionados con un determinado tonelaje acumulado. A continuación se define una nueva columna, que presenta el diferencial del número de eventos entre los intervalos de madurez. El resultado de esta operación nos entrega lo siguiente:

| Intervalos de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) |
|----------------------------------|---|---|
| <200000 | 177 | 177 |
| <600000 | 238 | 61 |
| <700000 | 286 | 48 |
| <800000 | 346 | 60 |
| <1200000 | 418 | 72 |
| <1500000 | 514 | 96 |
| <2000000 | 560 | 46 |
| <2100000 | 600 | 40 |
| <2200000 | 647 | 47 |
| <2400000 | 679 | 32 |

Tabla 14. Ejemplo número de eventos total y diferencial intervalo de madurez.

4. Por último para cada intervalo, se calcula la frecuencia de ocurrencia de eventos como la división entre el diferencial de eventos y el diferencial de producción. A continuación, se presenta un ejemplo de la tabla completa para obtener la Curva U:

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|----------------------------------|--|--|---|---|--|
| <200000 | 1,233,398 | 1,233,398 | 177 | 177 | 1.44E-04 |
| <600000 | 1,563,494 | 330,096 | 238 | 61 | 1.85E-04 |
| <700000 | 1,860,884 | 297,390 | 286 | 48 | 1.61E-04 |
| <800000 | 2,202,112 | 341,228 | 346 | 60 | 1.76E-04 |
| <1200000 | 2,628,854 | 426,742 | 418 | 72 | 1.69E-04 |
| <1500000 | 3,123,124 | 494,270 | 514 | 96 | 1.94E-04 |
| <2000000 | 3,467,388 | 344,264 | 560 | 46 | 1.34E-04 |
| <2100000 | 3,683,450 | 216,062 | 600 | 40 | 1.85E-04 |
| <2200000 | 4,007,198 | 323,748 | 647 | 47 | 1.45E-04 |
| <2400000 | 4,276,528 | 269,330 | 679 | 32 | 1.19E-04 |

Tabla 15. Ejemplo tabla final para construcción de la curva U.

5. Para graficar la Curva U, se debe plotear en el eje X los intervalos de madurez, y en el eje Y la frecuencia de ocurrencia de eventos. El resultado de la metodología anterior se observa en el siguiente gráfico:

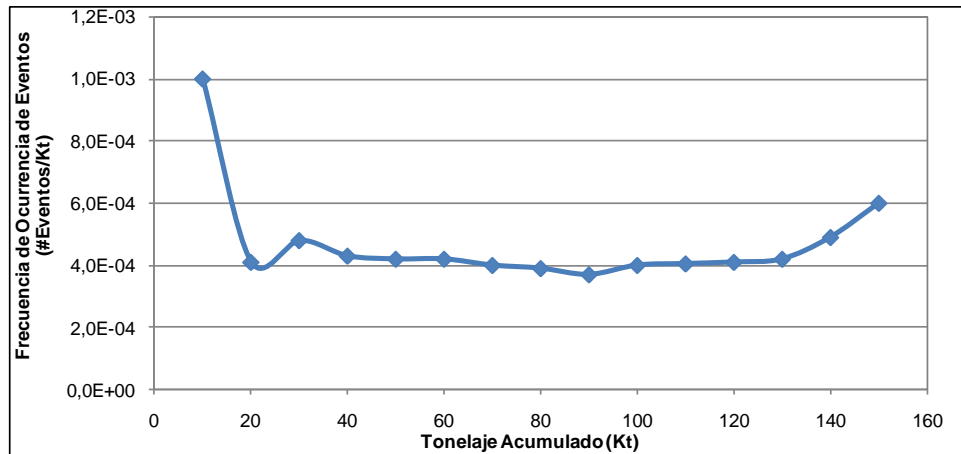


Gráfico 22. Resultado metodología construcción Curva U.

5.1.3 Curvas PCC

Se construye a partir de la Tabla 11, plotando en el eje x la columna correspondiente al número de eventos y en el eje Y la columna de productividad actual. Se presenta a continuación, la tabla necesaria para obtener la Curva de Producción Característica (PCC).

| Mes | LP | Número de Eventos (eventos/mes)) | Productividad Actual (t/mes) |
|-----|------|----------------------------------|------------------------------|
| 12 | LP20 | 0 | 56,856 |
| 11 | LP20 | 0 | 74,428 |
| 12 | LP19 | 2 | 66,286 |
| 9 | LP20 | 0 | 100,510 |
| 11 | LP19 | 2 | 88,550 |
| 8 | LP20 | 1 | 102,810 |
| 10 | LP19 | 1 | 81,696 |
| 12 | LP21 | 0 | 86,848 |
| 9 | LP19 | 0 | 73,784 |
| 7 | LP20 | 1 | 118,634 |

Tabla 16. Ejemplo para construcción PCC.

El resultado de la anterior metodología de traduce en el siguiente gráfico:

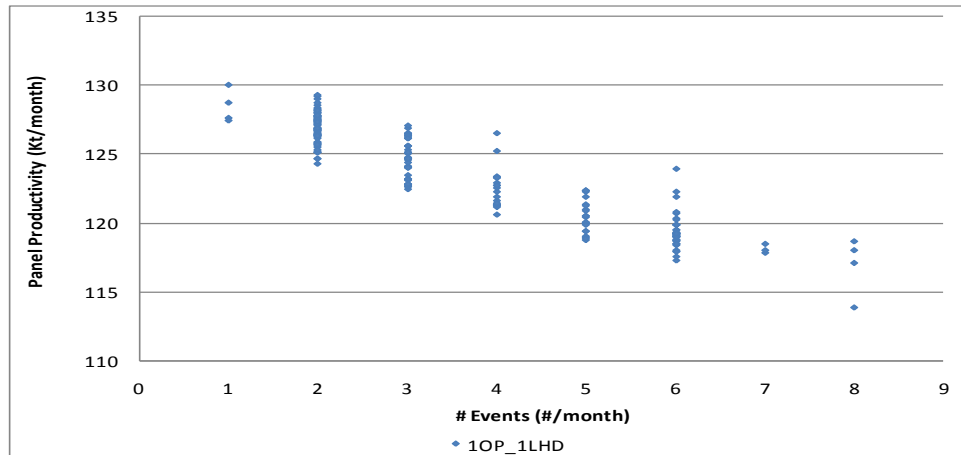


Gráfico 23. Resultado construcción curva PCC.

5.2 Resultados y Análisis

Según lo mencionado en el capítulo de antecedentes, una óptima construcción de la Curva U y PCC es fundamental para el cálculo de la confiabilidad de una componente minera. A continuación, se presentan la Curvas U y PCC de la mina, de los cruzados de transporte y según sea el tipo de evento, además de un análisis del comportamiento de éstas.

5.2.1 Curvas U

A continuación se presentan las curvas U de los piques de traspaso, obtenidas de las bases de datos del año 2006.

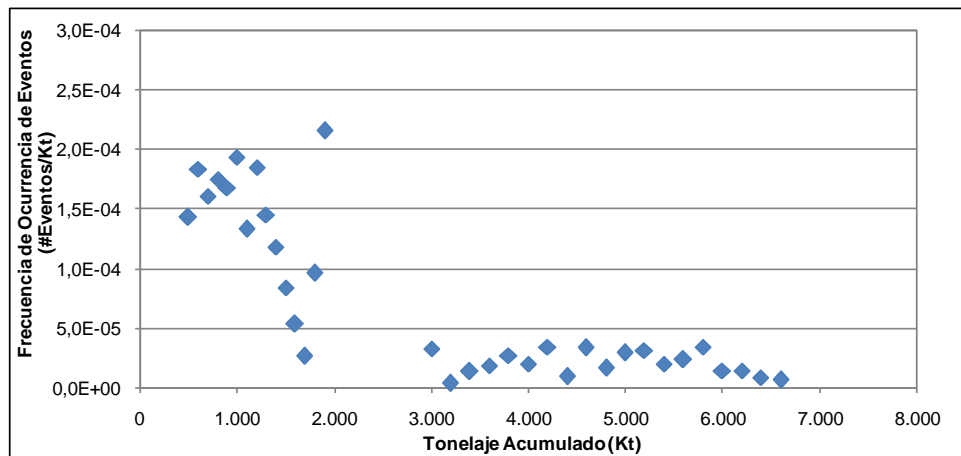


Gráfico 24. Curva U piques de traspaso DOZ.

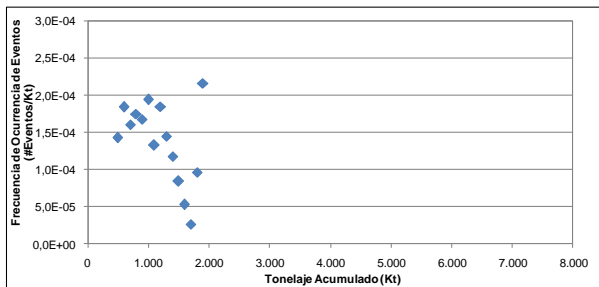


Gráfico 25. Curva U mina HC2

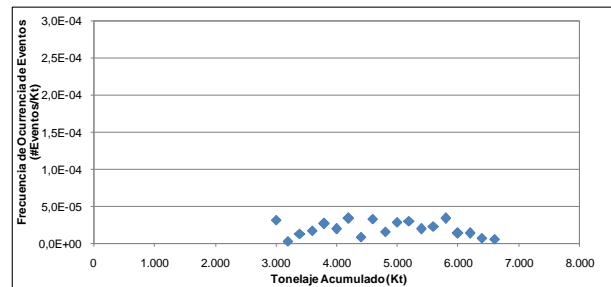


Gráfico 26. Curva U mina HC1

Se presenta en los gráficos anteriores la forma de la Curva U de los piques de traspaso de la mina PT Freeport DOZ, la cual representa la tendencia de una componente de infraestructura minera a ser interrumpida. De los gráficos anteriores, se desprende lo siguiente:

- La forma obtenida, dista de la “curva de la bañera” asociada a los equipos de confiabilidad mecánicos. Sin embargo el Gráfico 24 nos muestra dos tendencias claramente marcadas: la primera se puede asociar a fallas tempranas, cuando el pique recién ha comenzado a ser utilizado y el número de fallas es mayor y la segunda un período de régimen en que las interferencias operacionales son mínimas (aproximadamente cada 50 Kt).
- Se aprecia en las curvas U de los piques asociados al HC1 y HC2, que uno representa a los piques nuevos, los cuales presentan una alta tendencia a fallar, y el otro a los piques más maduros los cuales se encuentran en régimen.

- Existe un vacío de información alrededor de las 2.000 Kt y las 3.000 Kt. esto ocurre debido a que la ventana de datos, con la que se cuenta para este análisis es de 1 año (2006), existiendo así vacíos de información, para los piques más viejos (comportamiento pasado de estos).

Por otra parte se tiene la Curva U, según el tipo de evento que ocurre en los piques. Éstas se presentan a continuación:

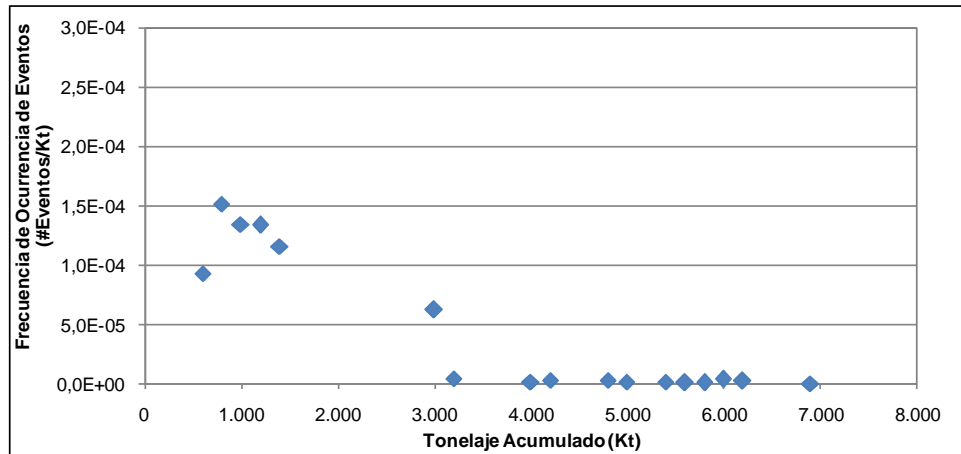


Gráfico 27. Curva U Colgaduras mina DOZ.

Se observa que la mayor frecuencia de ocurrencia de colgaduras, sucede en los piques que están relacionados con el HC2, o sea por lo que ha pasado menos mineral, al contrario del HC1, ya que presentan una frecuencia de ocurrencia de colgaduras casi nula y una madurez del orden de las 7,000 Kt.

Para finalizar se obtiene la Curva U para eventos mecánicos, la que se presenta a continuación:

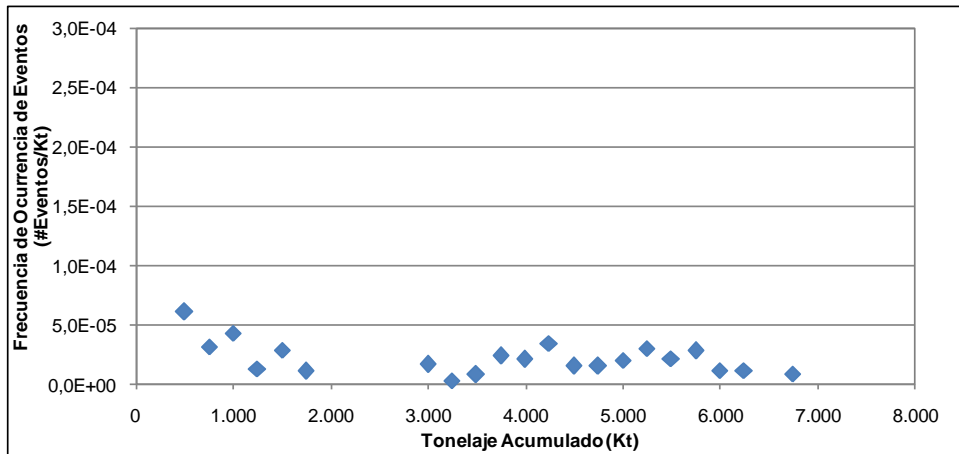


Gráfico 28. Curva U eventos Mecánicos mina DOZ.

Al igual que en los casos anteriores, los piques asociados con el HC2 presentan una mayor frecuencia de ocurrencia de eventos, sin embargo, ésta no es tan mayor como en los casos anteriores. Se infiere de esto, que esta variable se puede controlar y conocer de una mejor manera que las colgaduras, con el objetivo de incorporarla como un parámetro conocido y que se puede predecir en la planificación minera.

En resumen, se tienen tres curvas de frecuencia de ocurrencia de eventos versus el tonelaje acumulado de cada pique; éstas se presentan a continuación:

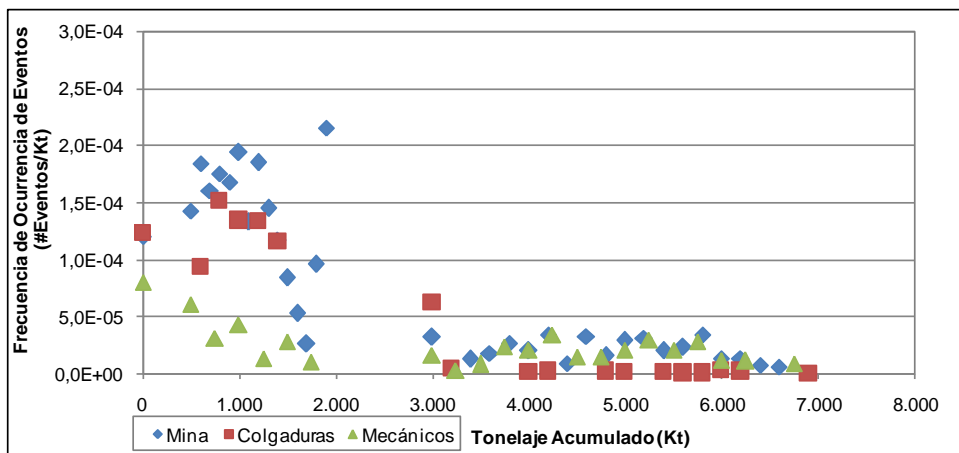


Gráfico 29. Resumen Curvas U.

5.2.2 Curva de Producción Característica (PCC)

A continuación se presentan las PCC de los piques de traspaso, obtenidas de las bases de datos del año 2006.

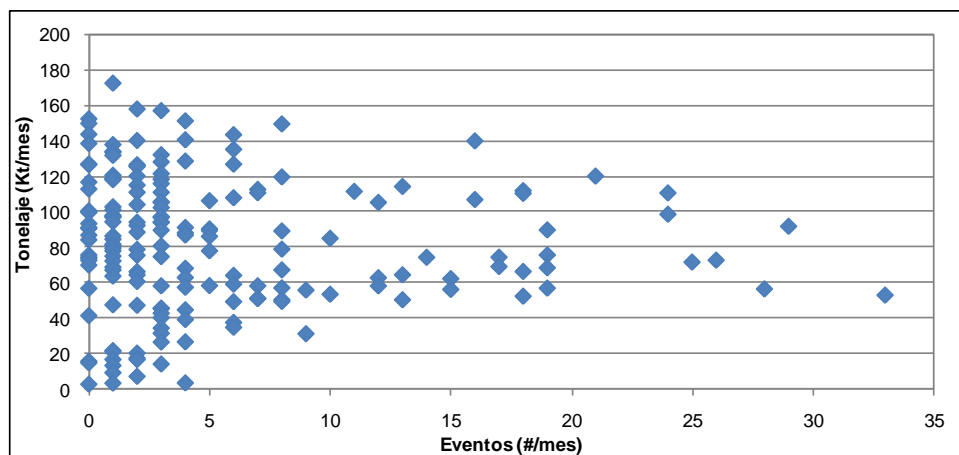


Gráfico 30. PCC versión preliminar mina DOZ

Basándose en los resultados obtenidos en el Gráfico 30 es posible mencionar lo siguiente:

- La máxima productividad del pique de traspaso, está condicionada por el número de eventos que ocurrieron en éste.
- Se aprecia una clara tendencia decreciente en los máximos relacionados a cada evento.
- A medida que aumentan los eventos, la producción tiende a estabilizarse en torno a las 40 Kt/mes – 70 Kt/mes.
- Se puede observar una alta variabilidad en los tonELAJES, relacionados con un menor número de eventos; ésta se explica no solamente por el número de interferencias operacionales, sino también porque la extracción se planificó de esa manera.

Al igual que para las Curvas U, se presenta la PCC para los piques que están relacionados con el cruzado de transporte 1 (HC1), y para los piques que están relacionados con el cruzado de transporte 2 (HC2).

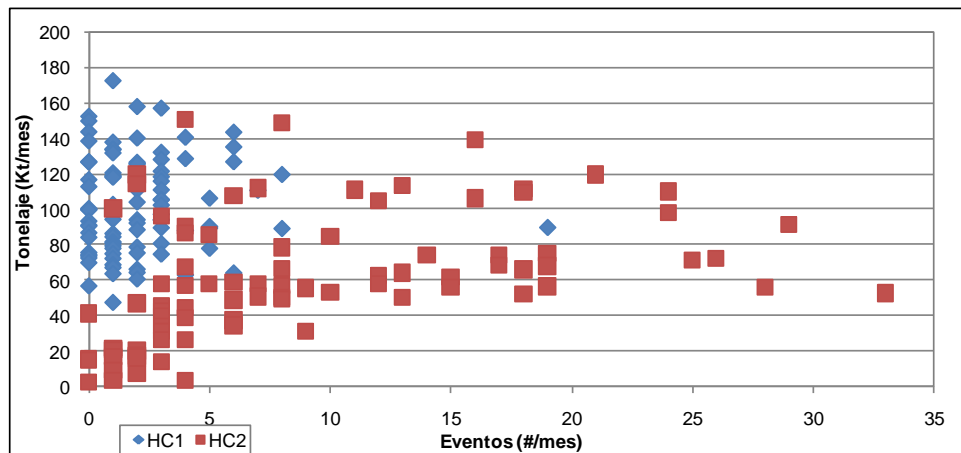


Gráfico 31. PCC versión preliminar sectorizada mina DOZ

Se aprecia en los gráficos anteriores lo siguiente:

- Los piques relacionados con el HC1 presentan un menor número de eventos, comparados con los relacionados con el HC2.
- Los piques relacionados con el HC1 presentan mayores tonelajes que los relacionados con el HC2.
- Se observa que a medida que aumenta el tonelaje en el HC2 el número de eventos también aumenta, con esto se reafirma lo planteado anteriormente, en que la variabilidad de tonelajes no sólo depende del número de interferencias operacionales, sino que también con la planificación de la producción.
- Se aprecia en el gráfico **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** una tendencia a la disminución de los tonelajes, a medida que el número de eventos aumenta. Se evidencia que para los piques que están en régimen, y que presentan una mayor madurez, si afecta el número de eventos que suceden.

5.3 Incorporación Curvas U y PCC en Modelo de Confiabilidad

Según lo presentado en el capítulo referente a la confiabilidad aplicada a la planificación minera, las Curvas U y PCC son parámetros fundamentales a la hora del cálculo de confiabilidad, para cualquier sistema minero.

Actualmente el modelo de confiabilidad de la mina PT Freeport DOZ está implementado en la herramienta computacional PC-BC, del software comercial Gemcom, la cual está siendo utilizada por el área de planificación en el cálculo de planes de producción de mediano y largo plazo con el objetivo de conocer y estimar la eventual probabilidad a que éstos se cumplan, según una determinada estrategia de abertura y disposición de infraestructura minera (puntos de extracción, calles, piques).

Sin embargo, la utilización de esta herramienta requiere una reestructuración de la data obtenida de los análisis de productividad e interferencias operacionales. Para nuestro caso de estudio, dicho reordenamiento se refiere específicamente a las Curvas U y PCC obtenidas de los piques de traspaso. A continuación, se presentan las consideraciones que se deben tener para la integración de éstas al software:

1. Se define para cada intervalo de madurez, una cierta frecuencia de ocurrencia de eventos, sin embargo no se considera cuando el tonelaje es cero.

La solución a este problema es tomar los primeros intervalos de madurez, con su respectiva frecuencia de ocurrencia de eventos asociada y graficar con estos la regresión, donde ésta intercepte al eje Y será la frecuencia asociada a cero tonelaje.

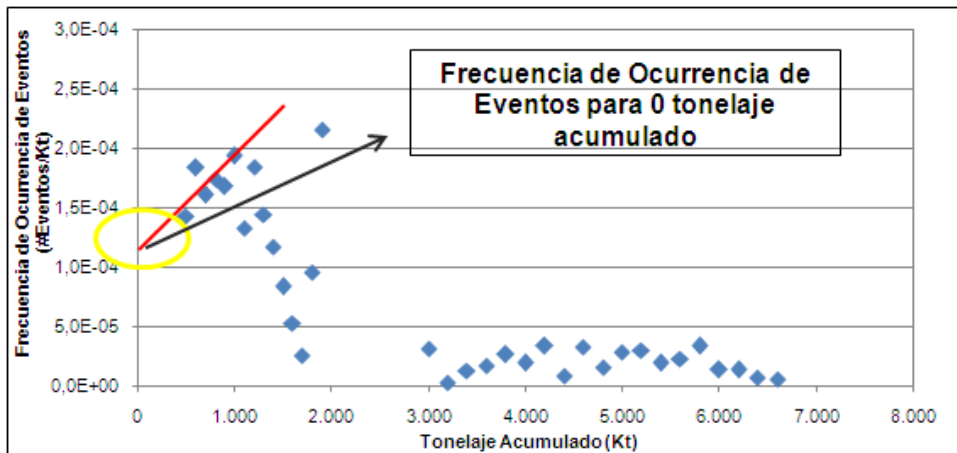


Ilustración 14. Ejemplo calculo frecuencia para 0 Kt acumulado.

- Como la Curva U está basada en el tonelaje histórico de una componente, el tonelaje acumulado está limitado, no representando el máximo a extraer. Por ejemplo si se tiene un pique por el cual han pasado 6,800 Kt (Ilustración 15.), la Curva U para los próximos años de este pique no presenta valores asociados.

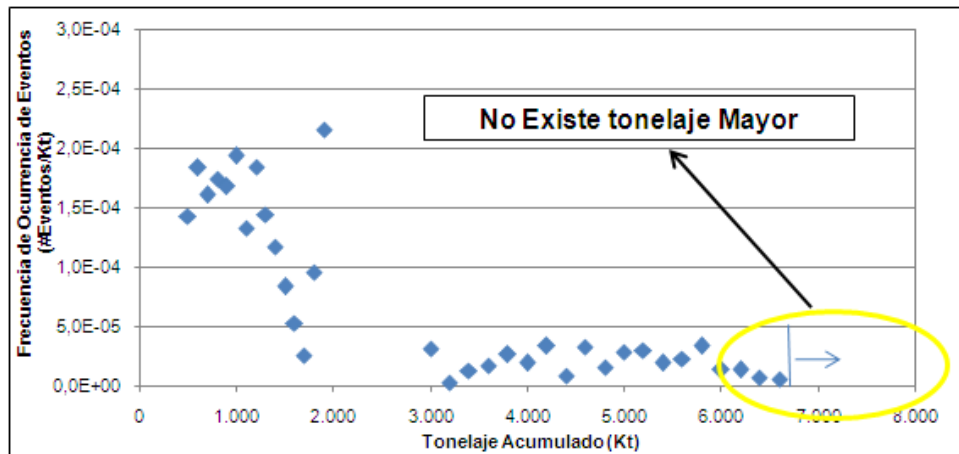


Ilustración 15. Ejemplo extrapolación tonelaje acumulado.

La solución a este problema es el agrupar los puntos que presenten una tendencia similar, e interpolar ésta según la recta que se obtiene de la regresión.

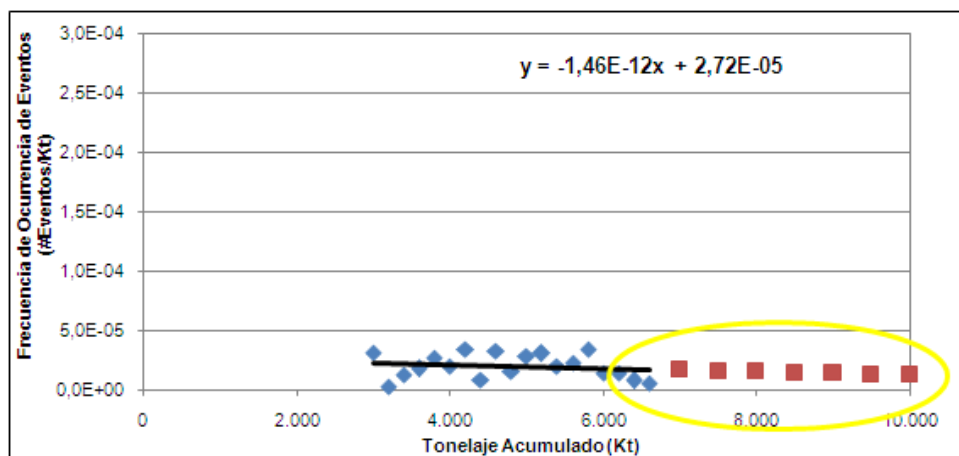


Ilustración 16. Extrapolación Curva U.

- Según se mencionó anteriormente, para las PCC la dispersión de tonelajes que existe asociada a cada evento, se debe al efecto plan y al efecto umbral (máximos de

extracción). De acuerdo a la teoría de la confiabilidad, el cálculo de ésta para una componente se efectúa conociendo la media y la desviación estándar de los tonelajes, asociados al posible número de eventos entregados por la PCC. El objetivo de la PCC es reportar los tonelajes asociados a cierto número de eventos, al ser poco los datos es imposible la construcción de esta según lo planteado en los antecedentes, por esta razón que se plantea la siguiente solución:

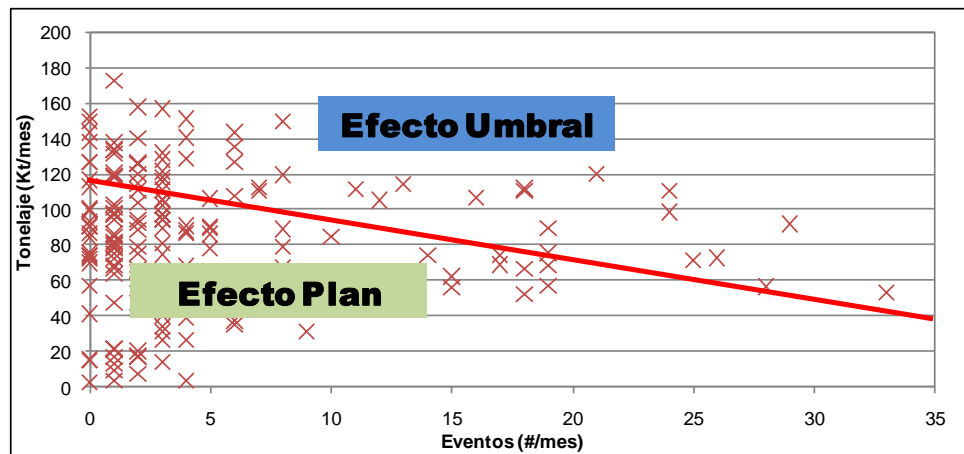


Ilustración 17. Efecto plan y efecto umbral.

La solución a lo presentado en la Ilustración 17, es sólo contar con los datos dados por el efecto umbral, el cual se define como el 20 % mayor de los tonelajes asociados a cada evento. Para el caso en que las mediciones son muy pocas (caso 28 eventos, que tiene sólo un tonelaje asociado), al menos debe reportar una (la mayor) para que represente dicho número de eventos.

Una vez definidos el 20 % mayor para cada evento, se calcula la regresión lineal asociada a todos los puntos ploteados en la PCC (Ilustración 18). Dicha recta, será la que nos dará los tonelajes a incorporar al modelo de confiabilidad. Por último, la desviación estándar será la calculada con respecto a la regresión, siendo fija para cada uno de los eventos y tonelajes asociados.

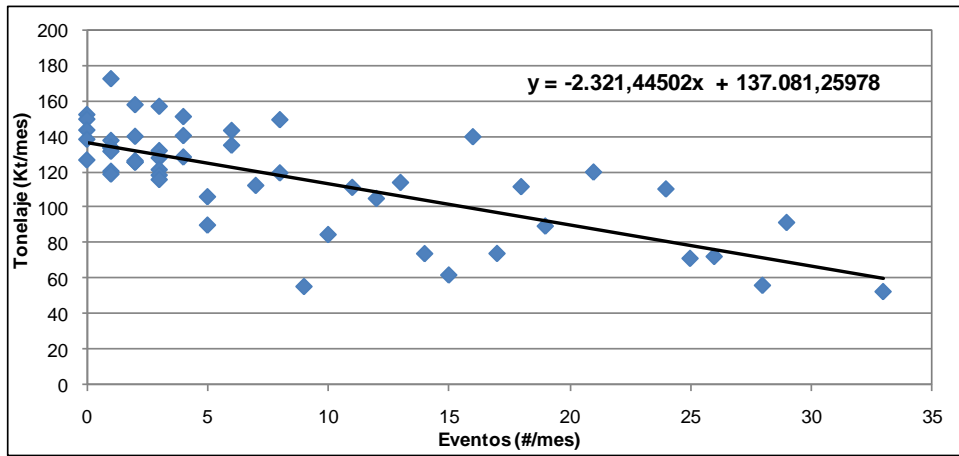


Ilustración 18. Regresión con respecto al 20 % mayor.

6 Simulación

El objetivo principal de la construcción del modelo de simulación es analizar el impacto que tiene en la productividad de una calle de producción, las diferentes frecuencias de ocurrencia de eventos que suceden en los piques de traspaso. Éstas están dadas por la Curva U obtenida para la mina DOZ. La variación en la producción se verá reflejada en la PCC que se obtiene para la calle. El Software comercial a utilizar es Arena (Rockwell).

El modelo de simulación implementado para el estudio del impacto de las interferencias operacionales en la productividad de una calle de producción, se describe de manera general, como una simulación computacional estocástica de eventos discretos. Los detalles de funcionamiento específico e implementación se describen en los siguientes títulos.

6.1 Construcción del Modelo

Las componentes de estructura implementadas en el modelo de simulación son las siguientes:

- Puntos de extracción: 20 puntos de extracción que están ligados al túnel de producción.
- Calles de producción: una por la cual el mineral es transportado hacia el pique de traspaso.
- Piques de traspaso: uno en el cual el mineral extraído y transportado o vaciado.

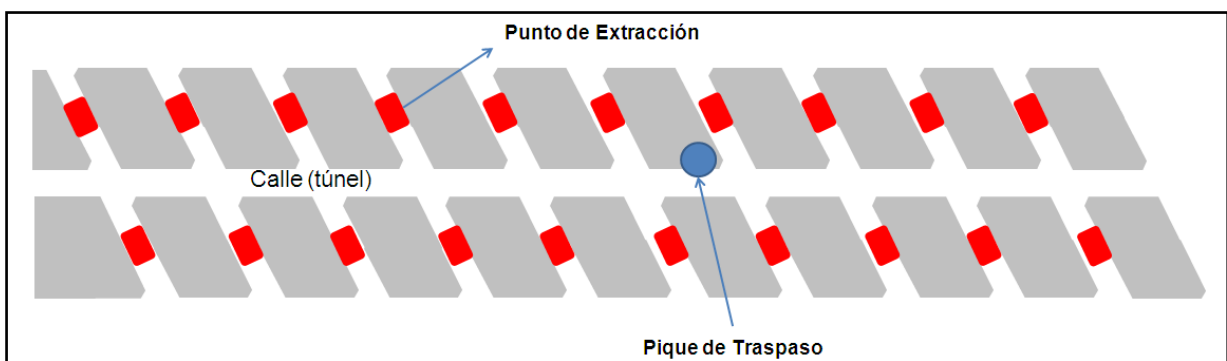


Figura 13. Configuración tipo modelo de simulación.

Las entidades operativas consideradas en el modelo de simulación, que se movilizan dentro de la infraestructura antes mencionada, son las siguientes:

- Mineral.
- Equipos LHD.

Es preciso destacar ciertos aspectos, que dicen relación a las cantidades y capacidades de las entidades operativas disponibles durante el funcionamiento del modelo. Éstos se especifican a continuación²⁴:

- El flujo entrante de mineral al sistema se realiza a través de los puntos de extracción. Éste debe ser tal, que siempre exista material disponible para cargar en el punto, si es que no está detenido por algún evento de interferencia.
- Existe un equipo LHD por cada cruzado de producción. Cada unidad queda especificada por su velocidad, la capacidad de su balde y su cruzado correspondiente.
- El número de cuadrillas de reducción secundaria puede modificarse a voluntad, previo a ejecutarse la simulación, con el objetivo de estudiar su impacto en la productividad del sistema. Cada cuadrilla queda especificada por el tiempo unitario necesario para resolver tipos específicos de interferencias en el sistema, a nivel de puntos de extracción y piques de traspaso.

6.2 Descripción Modelo

Durante la ejecución de la simulación, el estado de las componentes y entidades se mantiene constante, lo único que varía es la frecuencia de ocurrencia de eventos de los piques. Cualquiera sean estas condiciones, son específicas del modelo de simulación utilizado y los resultados obtenidos están íntimamente ligados con éstas, por lo que, en las siguientes secciones se procederá a detallar de qué forma se comportan las diversas variables operativas conforme se ejecuta la simulación.

²⁴ Troncoco Sebastián. Simulación del impacto de interferencias operacionales para la planificación de la producción. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2006.

6.2.1 Puntos de Extracción

Tiempo de Llegadas

Cada punto de extracción contiene unidades de mineral disponibles para ingresar al sistema en lapsos específicos (tiempo entre llegadas, para simulación de eventos discretos), que se detallan previo a la ejecución del experimento. Este período de tiempo puede ser constante o responder a una distribución de probabilidades. Cualquiera sea la opción escogida, es preciso comprender que éste tiene directa relación con la productividad del sistema completo, pues nunca podrán salir del sistema un mayor número de unidades que las que alguna vez ingresaron. Por lo anterior, este tiempo entre llegadas debe ser tal, que en un punto de extracción exista material para cargar cada vez que el equipo LHD acceda al punto, si es que éste no está bloqueado por algún tipo de interferencia operacional. Con lo anterior, puede asegurarse que la productividad total del sistema no se verá afectada por restricciones que dependen únicamente del tipo de simulación utilizada y no del funcionamiento propio del sistema modelado.

Cada vez que desde el punto de extracción se extrae una baldada de mineral, éste automáticamente genera otra, la cual está disponible para ser extraída nuevamente (salvo que suceda una interferencia operacional), existiendo siempre mineral disponible una vez que el LHD ha vaciado al pique.

Al comienzo de la simulación, el LHD se encuentra en el pique de traspaso, con el objetivo de asegurar que para cuando ésta comienza existan entidades (baldadas de mineral) en todos los puntos de extracción.

Interferencias Operacionales

Éstas serán incluidas en el modelo de simulación, discretizando la Curva U de los puntos de extracción. A continuación, se presenta dicho proceso:

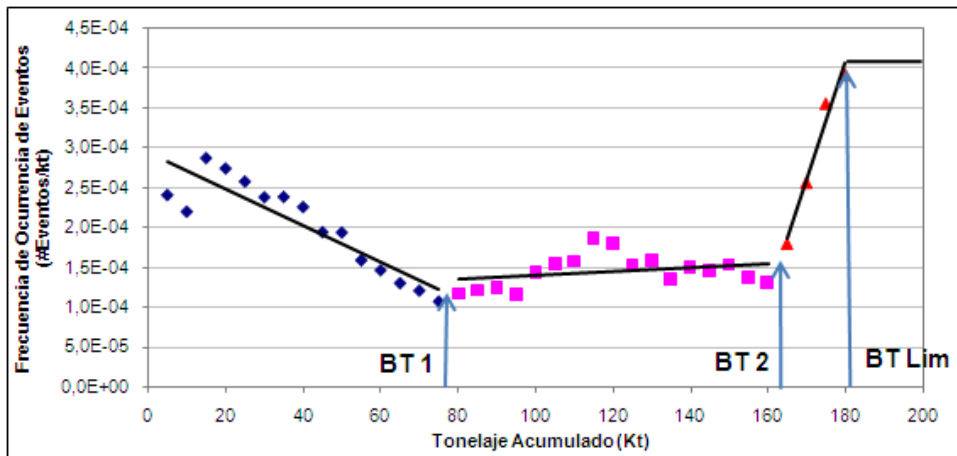


Gráfico 32. Discretización Curva U puntos de extracción²⁵.

Según el Gráfico 32, se presentan cuatro zonas:

- Entre 0 y BT1.
- Entre BT1 y BT2.
- Entre BT2 y BT Lim.
- Entre BT Lim e infinito.

La primera parte de la Curva U (entre 0 y BT1) que se introdujo al modelo de simulación como la siguiente recta:

$$\text{Frecuencia de Ocurrencia de Eventos} = a1 * \text{Ton. Acum.} + b1$$

Donde:

- BT1 = 70128.4525.
- a1 = -2.3099e-9.
- b1 = 0.0002948.

La segunda parte de la Curva U (entre BT1 y BT2) se introdujo al modelo de simulación como la siguiente recta:

$$\text{Frecuencia de Ocurrencia de Eventos} = a2 * \text{Ton. Acum.} + b2$$

Donde:

- BT2 = 162919.5718.

²⁵ Informe técnico mina PT Freeport DOZ.

- $a_2 = 2.3569e-10$.
- $b_2 = 0.0001163$.

La tercera parte de la Curva U (entre BT2 y BT Lim) se introdujo al modelo de simulación como la siguiente recta:

$$\text{Frecuencia de Ocurrencia de Eventos} = a_2 * \text{Ton. Acum.} + b_2$$

Donde:

- $BT \text{ Lim} = 179603.1327$.
- $a_3 = 1.4704e-8$.
- $b_3 = -0.0022409$.

La cuarta parte de la Curva U (entre BT Lim e infinito) se introduce como:

$$\text{Frecuencia de Ocurrencia de Eventos} = 0.0004$$

Cada vez que el equipo LHD retira una baldada de mineral desde un punto de extracción, puede cuantificarse su tonelaje asociado y dejar registro de cuántas toneladas se han extraído desde dicho punto de manera acumulativa, desde la última vez que se registró un evento de interferencia en el mismo o desde el inicio del experimento de simulación, para el caso del primer incidente. Si el tonelaje acumulado extraído por el punto de extracción específico es mayor o igual al tonelaje entregado por el muestreo de la distribución, entonces el punto falla queda inhabilitado para que el equipo LHD pueda cargar material desde éste, hasta que el problema sea solucionado.

Equipo LHD

Los equipos LHD son especificados, mediante la capacidad de su balde en unidades volumétricas y su velocidad. Éstos son los encargados de retirar el mineral, desde los puntos de extracción y vaciarlo en los piques de traspaso. Su funcionamiento se modela con las siguientes restricciones:

- Sólo puede transitar un equipo LHD a la vez por calle de producción.
- No se consideran fallas mecánicas de éstos. Lo anterior se debe a que el impacto generado por este tipo de interferencias queda fuera de los alcances de éste estudio.
- Asignación de puntos de extracción uniforme, es decir, el LHD no debe privilegiar ningún punto de extracción disponible por sobre otro.

Resulta fundamental considerar una estrategia que no privilegie ningún punto sobre otro, al momento de realizar la extracción. Considerando además que el estado de los puntos puede cambiar a lo largo de la simulación entre disponible para cargar y no disponible para cargar (cuando se ve afectado por algún evento operacional). Para solucionar lo expresado anteriormente, se le asigna a cada unidad material, al momento de ser creada por el sistema, un valor de prioridad para el carguío obtenido de una distribución de probabilidades uniforme, una vez ocurrido esto, la entidad material solicita al equipo de carguío para su extracción. Cada vez que el LHD tenga que decidir desde que punto extraer material, tomará en cuenta las prioridades de cada unidad material, debido al modo de asignación de prioridades, ningún punto de extracción tendrá siempre prioridad sobre otro, con lo que se obtiene el resultado deseado.

Debe considerarse además que los puntos de extracción fallados son incapacitados de crear unidades de mineral, por lo que el LHD no accederá a éstos debido a que ninguna entidad de mineral lo ha solicitado.

Ciclo de Carguío

En el modelo de simulación utilizado, el ciclo de carguío fue construido considerando los siguientes aspectos:

- La velocidad del equipo LHD es constante e igual en los casos en que el equipo transite cargado o descargado.
- La distancia de transporte se especifica entre cada punto y el pique de traspaso.
- El equipo demora un tiempo dado por una distribución de probabilidades (o como una constante, si se quiere), especificada por el usuario, en realizar el carguío de mineral.
- El equipo demora un tiempo dado por una distribución de probabilidades (o como una constante, si se quiere), especificada por el usuario, en realizar la descarga de mineral en el pique de traspaso.
- Cualquier tiempo de maniobras extra puede incorporarse como una demora adicional en el tiempo de cargado o descarga, que puede ser una distribución de probabilidades o una constante.

Mineral

La unidad básica de mineral en el sistema es una baldada de LHD, que posee los siguientes atributos:

- Tonelaje: calculado como el producto de la densidad del material a cargar por la capacidad del balde del LHD por el factor de llenado del balde (que puede especificarse como una distribución de probabilidades o como una constante).
- Prioridad para el carguío: asignado aleatoriamente según una distribución de probabilidades uniforme para evitar distorsiones en la asignación del carguío del equipo LHD.
- Origen: especifica el punto de extracción desde donde se extrajo la unidad mineral. Su finalidad es corroborar que ningún punto de extracción esté siendo sistemáticamente preferido para el carguío.

Cuadrillas de reducción secundaria

Las cuadrillas de reducción secundaria son las encargadas de solucionar los eventos de interferencia operacionales consideradas a nivel de puntos de extracción, es decir su misión es modificar el estado de dicha componente desde no disponible a disponible. Su operación está restringida principalmente a que no pueden acceder a puntos detenidos si es que el LHD del cruzado de producción esta operativo, por lo que resulta preciso detallar las estrategias consideradas para el cierre de calles, de modo que la cuadrilla pueda operar adecuadamente.

Reparación de puntos de extracción

Debido a que el sistema minero, a nivel de puntos de extracción es redundante, resulta necesario definir una estrategia que indique el número de puntos detenidos por cruzados de producción para tomar la decisión de su cierre. Cada vez que un punto de extracción es afectado por una interferencia operativa, incrementa en uno una variable acumulativa que especifica el número de puntos fallados del cruzado de producción específico. Los puntos detenidos permanecen en estado stand by hasta que un evento de interferencia de un nuevo punto genera que esta variable acumulativa sobrepase el número crítico de puntos fallados para tomar la decisión del cierre del cruzado completo. En este momento el equipo LHD se detiene y se permite el acceso de la cuadrilla, que tomará un tiempo determinado en resolver

los problemas de cada punto. La cuadrilla no se retira del cruzado de producción hasta que todos los puntos de extracción estén nuevamente disponibles para cargar.

Modelo puntos de extracción

Según lo mencionado anteriormente, el modelo construido en el software se presenta de la siguiente manera:

- Punto de extracción: ejemplo para un punto de extracción, para los demás es análogo.

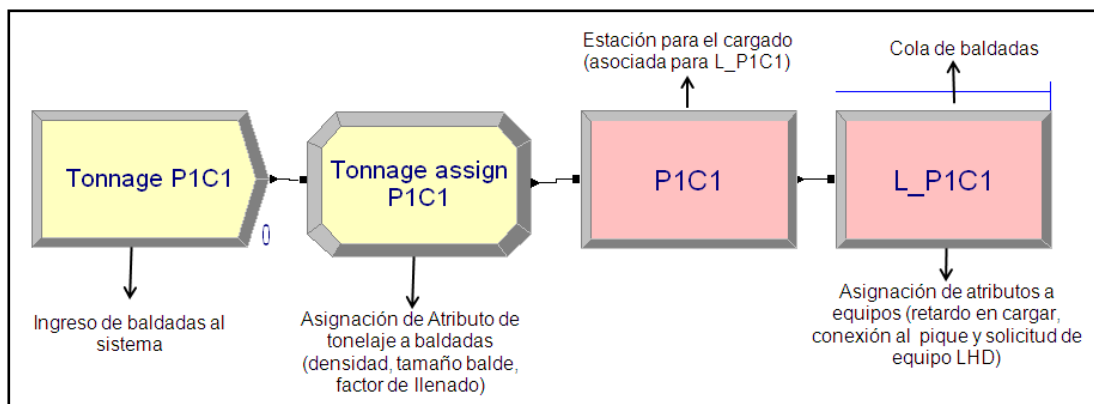


Ilustración 19. Modelo en Arena punto de extracción.

- Interferencias Operacionales Puntos de extracción: se presenta en submodelos, se presenta uno siendo los demás análogos

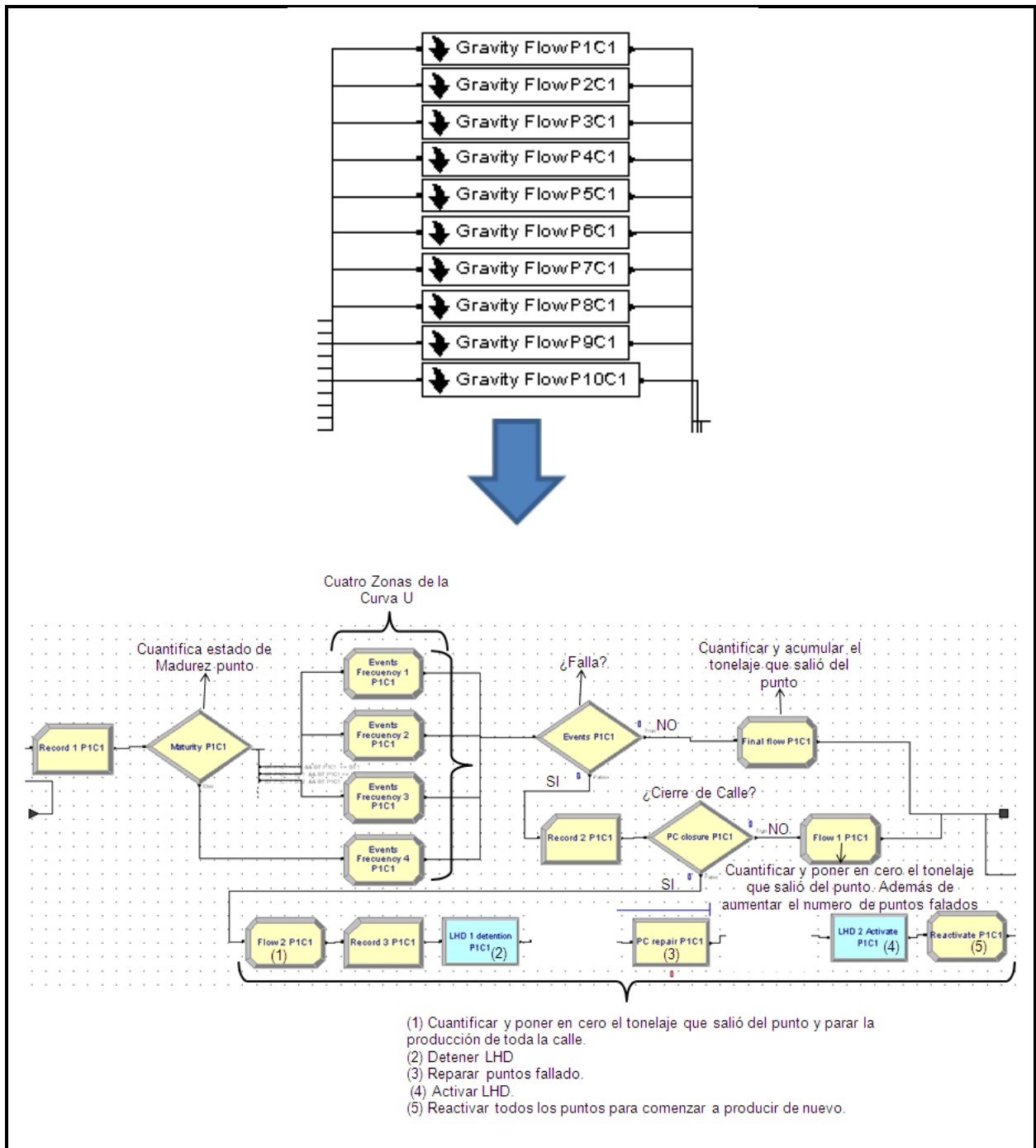


Ilustración 20. Interferencias operacionales puntos de extracción.

6.2.2 Piques de traspaso

La función del pique de traspaso es recibir el material proveniente de los puntos de extracción, que ha sido previamente transportado por el equipo LHD. Se considera éste como un continuo que recibe mineral.

No se considera un nivel de transporte, ya que el objetivo principal de las simulaciones es cuantificar el efecto en la productividad de la calle para diversas frecuencias de ocurrencias de eventos en los piques.

Interferencias operacionales

Cualquier tipo de eventos de interferencia a nivel de piques de traspaso puede entenderse como una Curva U. Nuevamente, al igual que el caso de los puntos de extracción, la frecuencia de ocurrencia de eventos depende del tonelaje movilizado a través del pique y no del tiempo cronológico de operación de éste.

La forma de incorporar los eventos de interferencia del pique de traspaso es similar al de los puntos de extracción: Cada vez que un LHD vacía mineral, puede cuantificarse su tonelaje asociado y dejar registro de cuántas toneladas han pasado por el pique respectivo, de manera acumulativa, desde la última vez que se registró un evento de interferencia en el mismo o desde el inicio del experimento de simulación, para el caso del primer incidente. Luego, si el tonelaje acumulado extraído por el pique específico es mayor o igual al tonelaje entregado por el muestreo de la distribución, entonces el pique falla, es decir, el flujo de material a través de éste se interrumpe, dejando las calles de producción detenidas, debido a que el pique debe repararse.

La Curva U de la mina se discretiza en:

- Entre 0 y BTOP1.
- Entre BT1 y BTOP2.
- Entre BTOP2 e infinito.

El próximo gráfico indica la ubicación de estos valores:

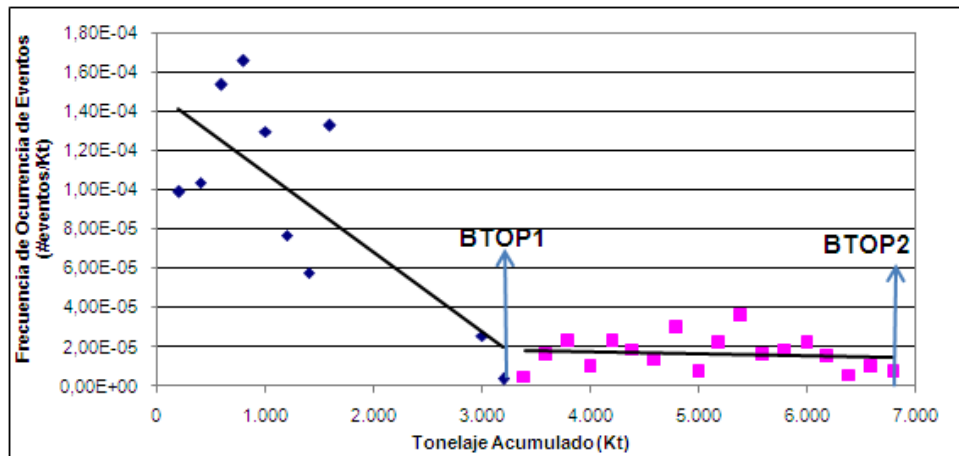


Gráfico 33. Discretización Curva U piques de traspaso.

La primera parte de la Curva U (entre 0 y BTOP1) se introdujo al modelo de simulación como la siguiente recta:

$$\text{Frecuencia de Ocurrencia de Eventos} = \text{opa1} * \text{Ton. Acum.} + \text{opb1}$$

Donde:

- BTOP1 = 3244740.3764.
- opa1 = -4.029e-11.
- opb1 = 0.000149.

La segunda parte de la Curva U (entre BTOP1 y BTOP2) se introdujo al modelo de simulación como la siguiente recta:

- $\text{Frecuencia de Ocurrencia de Eventos} = \text{opa2} * \text{Ton. Acum.} + \text{opb2}$

Donde:

- BTOP2 = 8000000.
- opa2 = -9.44e-13.
- opb2 = 0.00002143.

La tercera parte de la Curva U (entre BTOP2 e infinito) se introduce como:

$$\text{Events Frequency} = 1.3857e-5$$

Modelo Piques de Traspaso

Según lo mencionado anteriormente el modelo construido en el software se presenta de la siguiente manera:

- Pique de traspaso

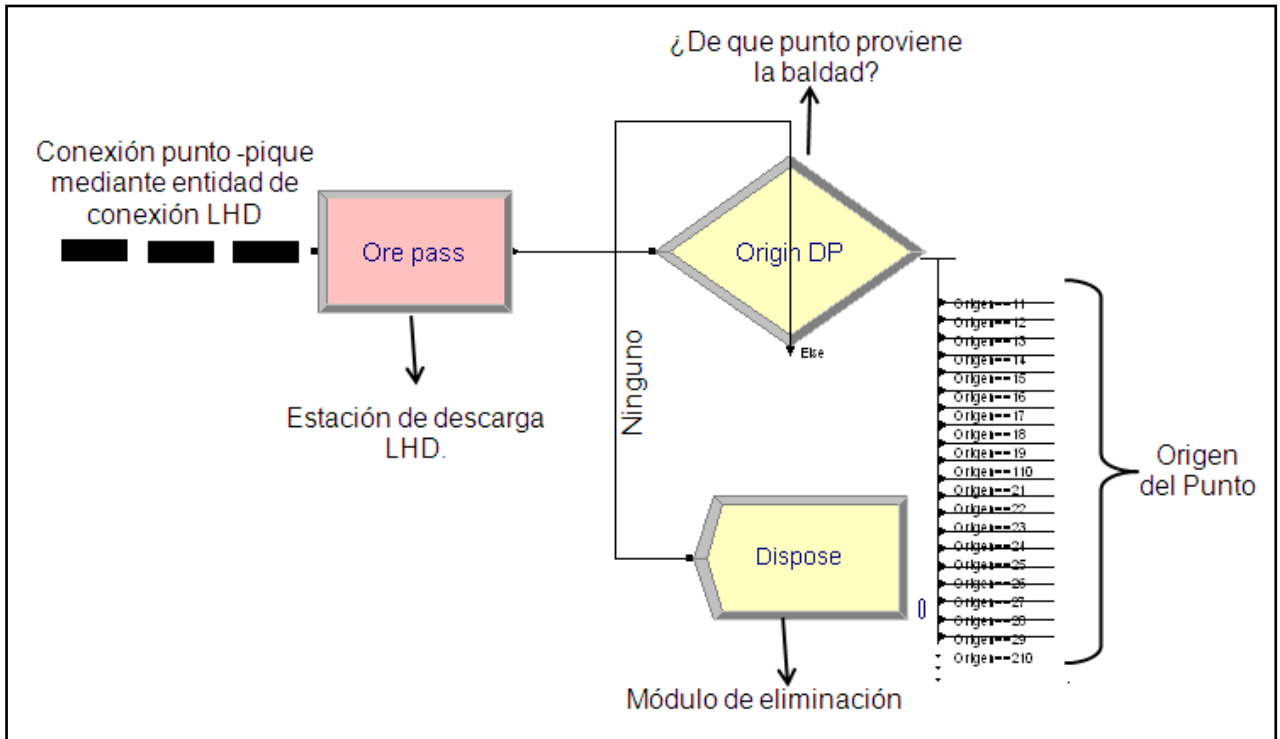
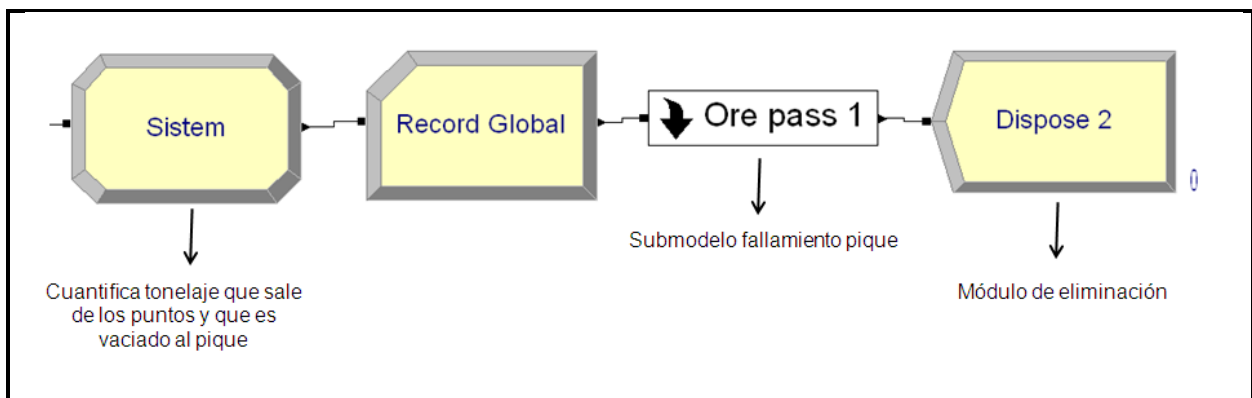


Ilustración 21. Modelo en arena Pique de Traspaso.

- Interferencias Operacionales Piques de Traspaso: se presenta en submodelos, siendo simular la falla de los puntos de extracción.



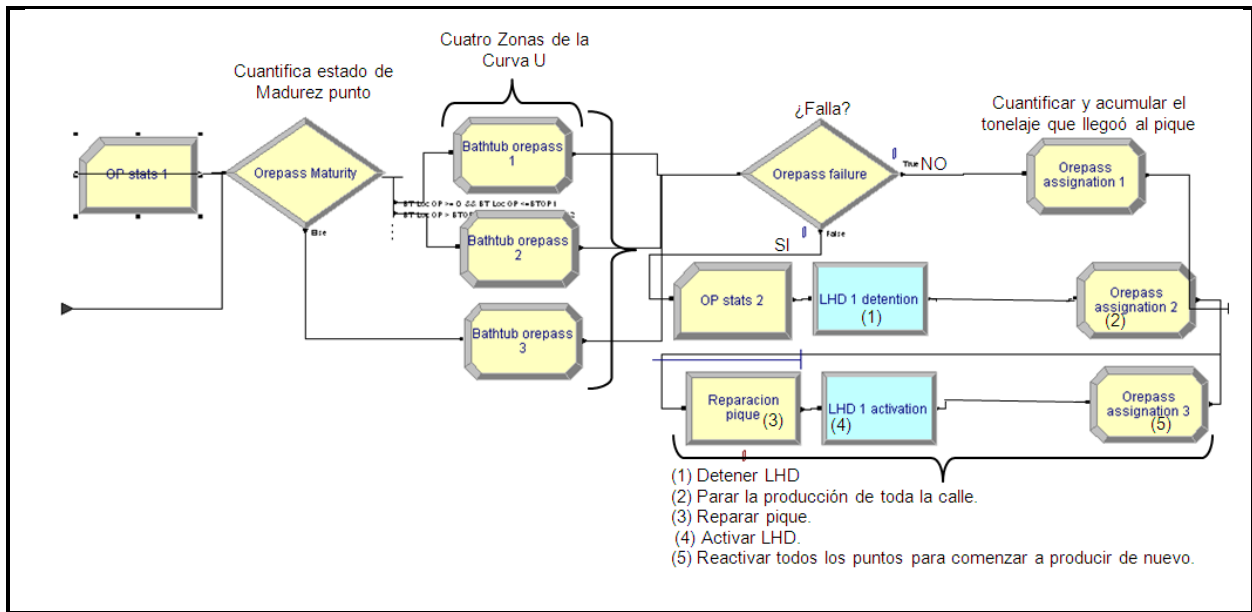


Ilustración 22. Cuantificación tonelaje vaciado al pique y modo de falla.

6.3 Parámetros del Modelo

En el modelo de simulación implementado existen variables relacionadas con el funcionamiento del sistema minero cuyo valor permanece constante durante la ejecución de un experimento dado y que además se consideraron invariantes para todos los experimentos realizados, debido a que no resulta de interés para este estudio analizar su impacto sobre la productividad del sistema minero o bien sus valores son relativamente constantes en cada caso analizado. Estas variables de enuncian y especifican a continuación:

| Infraestructura y Equipos | | |
|------------------------------------|--------|-------|
| Ítem | Unidad | Valor |
| Puntos de Extracción por Panel | # | 20 |
| Cuadrillas de Reducción Secundaria | # | 1 |
| Piques por Panel | # | 1 |
| LHDs por Panel | # | 1 |

| Especificación de Equipos | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|----------|----------------|
| Equipo | Item | Unidad | Valor |
| LHD | Velocidad | m/min | 150 |
| | Tamaño Balde | yd3 | 7 |
| Cuadrillas de Reducción Secundaria | Tiempo de Reparación por Punto | min | TRIA(30,40,50) |
| | Tiempo de Ventilación | min | 50 |
| | Estrategia de Cierre de Calle | # puntos | 10 |

| Distancias | | |
|--------------------|---------------------|-----------|
| Estación de Inicio | Estación de Termino | Distancia |
| P1C1 | LP | 89 |
| P2C1 | LP | 96 |
| P3C1 | LP | 67 |
| P4C1 | LP | 85 |
| P5C1 | LP | 54 |
| P6C1 | LP | 65 |
| P7C1 | LP | 32 |
| P8C1 | LP | 45 |
| P9C1 | LP | 19 |
| P10C1 | LP | 23 |
| P1C2 | LP | 13 |
| P2C2 | LP | 14 |
| P3C2 | LP | 32 |
| P4C2 | LP | 24 |
| P5C2 | LP | 52 |
| P6C2 | LP | 41 |
| P7C2 | LP | 67 |
| P8C2 | LP | 59 |
| P9C2 | LP | 89 |
| P10C2 | LP | 72 |

| Discretización Curva U | | |
|------------------------|---------|------------|
| Puntos de Extracción | BT1 | 70,128.45 |
| | BT2 | 162,919.57 |
| | BTLimit | 179,603.13 |
| | a1 | -2.31E-09 |
| | b1 | 2.95E-04 |
| | a2 | 2.36E-10 |
| | b2 | 1.16E-04 |
| | a3 | 1.47E-08 |
| | b3 | -2.24E-03 |
| Piques de Traspaso | BTOP1 | 3244740.38 |
| | BTOP2 | 8000000.00 |
| | aop1 | -4.03E-11 |
| | bop1 | 1.49E-04 |
| | aop2 | -9.44E-13 |
| | bop2 | 2.14E-05 |

| Parámetros Corridas | | |
|--------------------------|--------|-------|
| Ítem | Unidad | Valor |
| Replicaciones | # | 5 |
| Largo Replicaciones | días | 1260 |
| Horas operativas por día | horas | 15 |

Tabla 17. Resumen Parámetros fijos modelo de simulación

6.3.1 Parámetros variables entre simulaciones

Las variables de entrada al modelo de simulación son las que cambian de un experimento a otro, con el fin de analizar su impacto en la productividad del sistema minero. La única variable que tendrá el modelo es la frecuencia de ocurrencia de eventos en los piques de traspaso, la cual es fija y los valores asociados a estas están dados por la Curva U obtenida de la mina. La discretización se presenta a continuación:

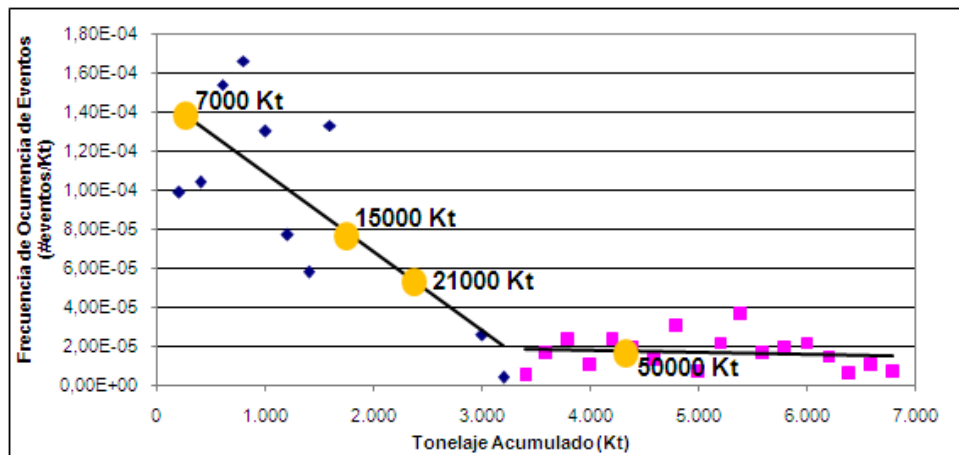


Ilustración 23. Discretización Curva U mina, para obtener tonelajes entre eventos.

Según lo presentado en la Ilustración 23 se determinan los siguientes escenarios de simulación:

| Modelo | TEE (ton) | | | | |
|----------|-----------|-------|--------|--------|--------|
| | 0 | 7,000 | 15,000 | 21,000 | 50,000 |
| 1OP_1LHD | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Tabla 18. Escenarios de simulaciones.

De acuerdo a lo mencionado en la Tabla 18. Escenarios de simulaciones., son 5 las simulaciones a realizar.

6.4 Validación del Modelo de Simulación

Con el objetivo de validar el modelo de simulación, es decir, ajustar las variables del sistema para que sus resultados sean similares a los obtenidos en la realidad se procederá de la siguiente manera:

- Buscar en la base de datos de extracción histórica de la mina un cruzado de producción. Lo anterior se refiere a que exista un número de puntos de extracción adecuado, para no subestimar las capacidades productivas.
- Adaptar consecuentemente el modelo de simulación para que su infraestructura considerada sea similar a aquella desde donde se obtiene la información para la validación.
- Realizar varias corridas en el modelo de simulación ajustando las variables del sistema con el fin de obtener resultados similares a los obtenidos del análisis de la información histórica.

El periodo utilizado para validar el sistema corresponde a la producción extraída desde el 1 de enero de 2006 hasta el 31 de diciembre del mismo año. Se validara con la información de producción que se tiene del Panel 23, los parámetros de entrada son los que se presentan en la Tabla 17, salvo el número de puntos, las distancias punto de extracción – pique de traspaso y la madurez que presenta cada punto, el detalle de estas se presenta en la Tabla 40 (anexos).

Como resultado de la validación del modelo se obtuvieron los siguientes resultados (el detalle de estos se presenta en el capítulo de anexos):

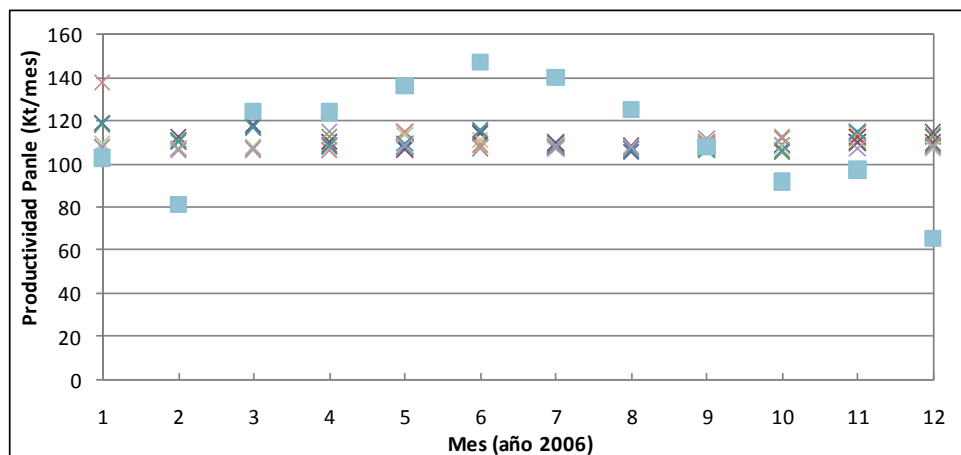


Gráfico 34. Resultados validación.

Para construir la gráfica anterior se realizaron 10 replicaciones de 1 año de duración cada una en el modelo de simulación y luego se identificó la productividad del panel de producción obtenida para cada mes (los primeros 30 días corresponden a enero, los siguientes a febrero y así sucesivamente). Las X corresponden a una replicación específica, los cuadrados celestes corresponden a la productividad observada en el periodo 2006.

Claramente la productividad simulada no es la misma para cada simulación lo que se puede explicar por:

- Distancias pique – punto pueden variar de acuerdo a la medición realizada.
- Velocidad LHD no es fija.
- Disponibilidad LHD no es fija.
- Variación de tonelaje transportado en el balde del LHD.

Sin embargo, puede observarse que para casi todos los meses existe una replicación que logra reproducir la productividad real obtenida o acercarse a ella. El siguiente gráfico muestra la dispersión existente entre la productividad real y mejor caso de las replications el cual se detalle se presenta en los anexos:

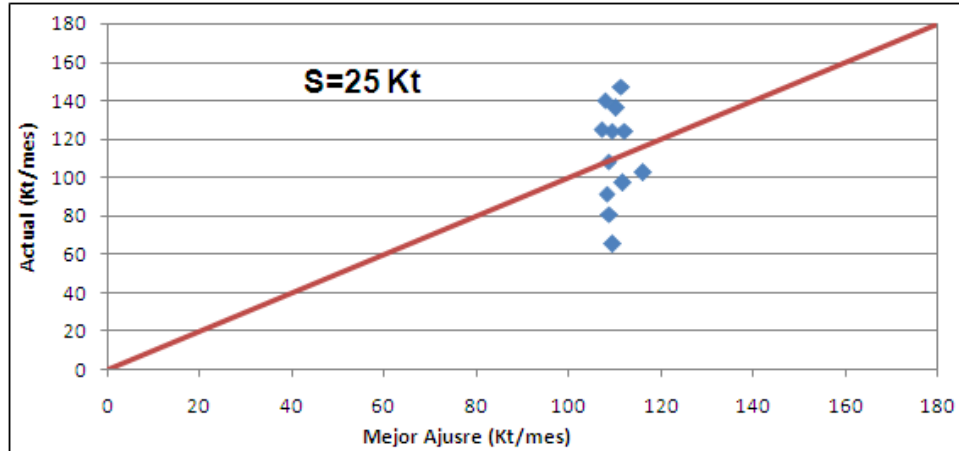


Gráfico 35. Dispersión entre tonelaje actual y mejor ajuste de las replications.

Donde S mide las diferencias entre la identidad y las observaciones, por lo que permite cuantificar de manera acertada la calidad del ajuste:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{n-2}} = 25,985Kt / mes$$

Donde:

n : Número de puntos.

X_i : Tonelaje observado mes i .

\hat{X}_i : Tonelaje simulado mes i .

El valor de s anterior corresponde a un 12 % de la productividad mensual promedio actual obtenida en periodo 2006. Luego el mejor ajuste se representa de la siguiente manera:

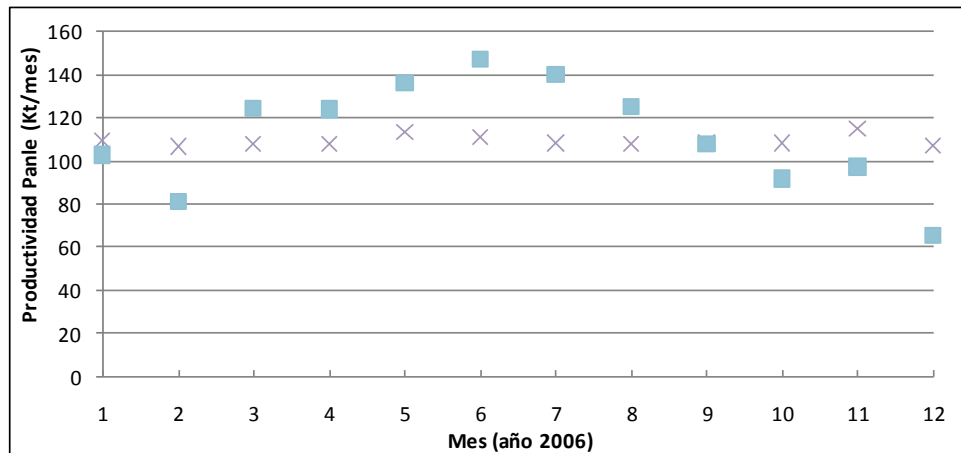


Gráfico 36. Resultado del mejor ajuste.

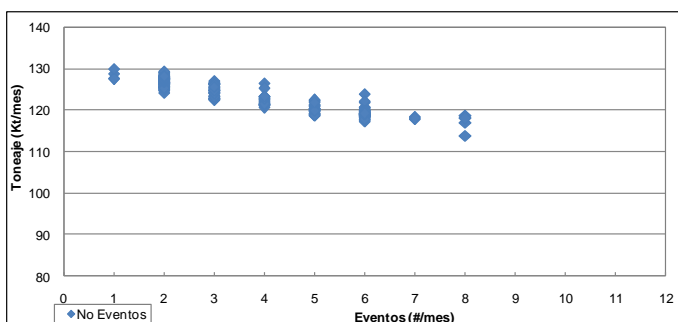
Entonces, se procede a realizar las simulaciones en los distintos escenarios anteriormente planteados.

6.5 Resultados y Análisis

A continuación se presentan los resultados de los diversos escenarios de simulaciones, los parámetros de entrada son los presentados en la Tabla 17, salvo la discretización de la Curva U, ya que el tonelaje entre eventos de los piques de traspaso será fijo, pero el cual variara de simulación en simulación:

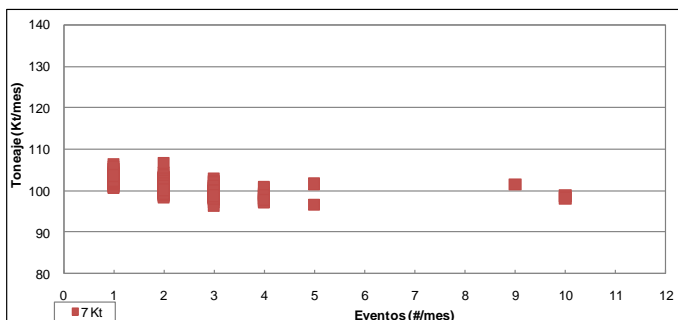
| Infraestructura | Simulación | Kt |
|--------------------|------------------|----|
| Piques de Traspaso | Simulación 1 TEE | 0 |
| | Simulación 2 TEE | 7 |
| | Simulación 3 TEE | 15 |
| | Simulación 4 TEE | 21 |
| | Simulación 5 TEE | 50 |

Tabla 19. Parámetros variables en la simulación.



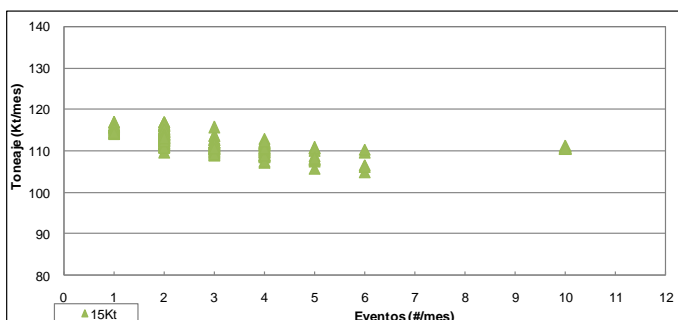
| Tonelaje | | Eventos | |
|--------------|------------|--------------|-----|
| Media (t) | 123,535 | Media (#) | 4 |
| Dev Est. (t) | 3,515 | Dev Est. (#) | 2 |
| Mínimo (t) | 113,870 | Mínimo (#) | 1 |
| Máximo (t) | 130,052 | Máximo (#) | 8 |
| Suma (t) | 25,942,420 | Suma (#) | 774 |
| Nº Reg | 210 | Nº Reg | 210 |

Tabla 20. PCC y estadísticas básicas no eventos.



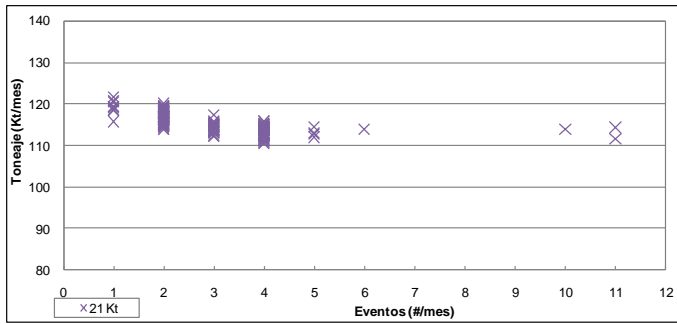
| Tonelaje | | Eventos | |
|--------------|------------|--------------|-----|
| Media (t) | 100,932 | Media (#) | 2 |
| Dev Est. (t) | 1,873 | Dev Est. (#) | 1 |
| Mínimo (t) | 96,395 | Mínimo (#) | 1 |
| Máximo (t) | 106,734 | Máximo (#) | 10 |
| Suma (t) | 21,195,619 | Suma (#) | 485 |
| Nº Reg | 210 | Nº Reg | 210 |

Tabla 21. PCC y estadísticas básicas eventos cada 7 Kt.



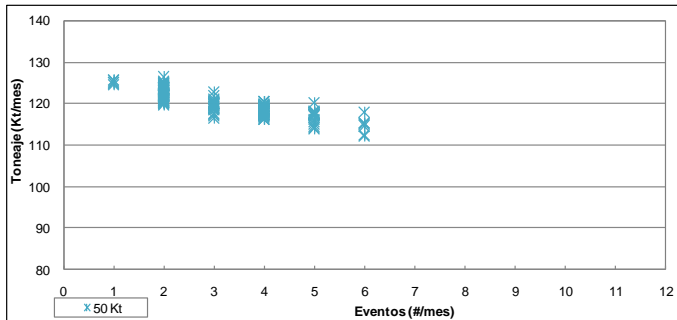
| Tonelaje | | Eventos | |
|--------------|------------|--------------|-----|
| Media (t) | 112,380 | Media (#) | 3 |
| Dev Est. (t) | 2,444 | Dev Est. (#) | 1 |
| Mínimo (t) | 105,032 | Mínimo (#) | 1 |
| Máximo (t) | 117,093 | Máximo (#) | 10 |
| Suma (t) | 23,599,856 | Suma (#) | 595 |
| Nº Reg | 210 | Nº Reg | 210 |

Tabla 22. PCC y estadísticas básicas eventos cada 15 Kt.



| Tonelaje | | Eventos | |
|--------------|------------|--------------|-----|
| Media (t) | 115,511 | Media (#) | 3 |
| Dev Est. (t) | 2,233 | Dev Est. (#) | 1 |
| Mínimo (t) | 110,428 | Mínimo (#) | 1 |
| Máximo (t) | 121,550 | Máximo (#) | 11 |
| Suma (t) | 24,257,380 | Suma (#) | 597 |
| Nº Reg | 210 | Nº Reg | 210 |

Tabla 23. PCC y estadísticas básicas eventos cada 21 Kt.



| Tonelaje | | Eventos | |
|--------------|------------|--------------|-----|
| Media (t) | 120,351 | Media (#) | 3 |
| Dev Est. (t) | 2,813 | Dev Est. (#) | 1 |
| Mínimo (t) | 112,160 | Mínimo (#) | 1 |
| Máximo (t) | 126,397 | Máximo (#) | 6 |
| Suma (t) | 25,273,779 | Suma (#) | 637 |
| Nº Reg | 210 | Nº Reg | 210 |

Tabla 24. PCC y estadísticas básicas eventos cada 50 Kt.

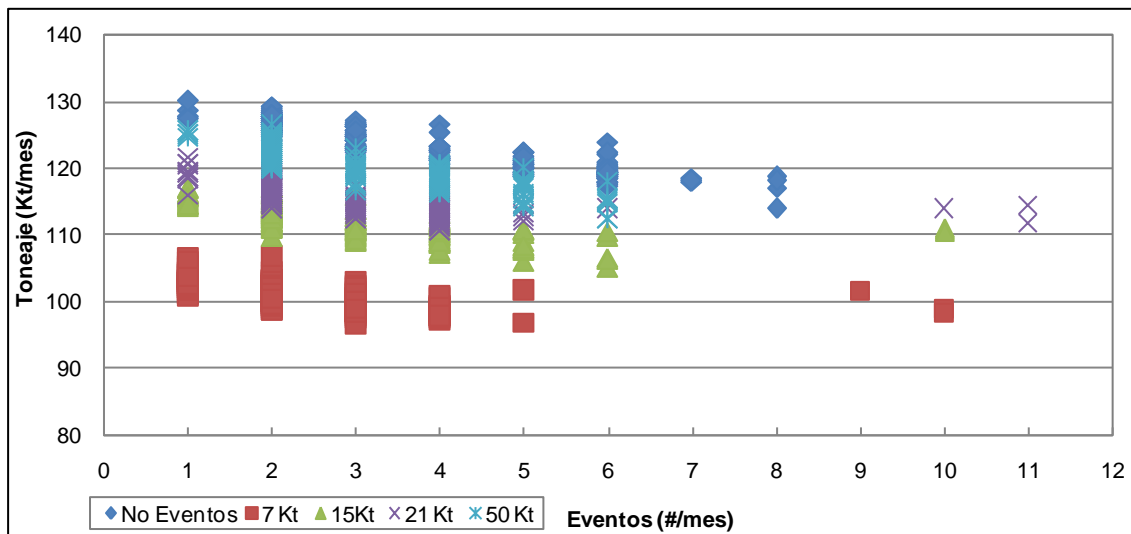


Gráfico 37. Resumen PCC simulaciones.

De los gráficos anteriores se puede mencionar lo siguiente:

- Para los 5 casos la productividad disminuye a medida que el número de eventos que suceden en la calle aumenta, esto se aprecia claramente en el Gráfico 37. Esto indica que la productividad de la calle está fuertemente ligada al número de eventos de los puntos de extracción.
- A medida que el tonelaje entre eventos aumenta, la producción presenta un aumento ya que el número de interrupciones operacionales en la calle disminuye. Este efecto se aprecia claramente para un determinado número de eventos, puesto que además de producirse interferencias operacionales debido a la reparación de la calle por efecto de los puntos de extracción, la calle completa se detiene cuando el pique falla sin importar cuantos puntos están activos o fallados y al estar más tiempo detenido el menos tiempo efectivo para producir tiene el LHD.
- Existen casos de productividad que no han sido reportados. Lo anterior se explica debido a que la estrategia de cierre de los puntos y de los piques es fija, pudiendo solucionar este problema realizando mas replicaciones y simulaciones.
- Al graficar las 5 simulaciones juntar lo que se logra es representar la curva PCC del cruzado de producción para las diversas frecuencias de ocurrencia de eventos que se presentan en los piques la cual viene de la curva U, es decir, pasar de una simulación estacionaria (tonelaje entre eventos fijos en los piques) a una dinámica (variación del tonelaje para que el pique falle según el desplazamiento en la curva U).

Cabe destacar que esta herramienta (simulaciones) es fundamental para situaciones en que la data no se encuentre disponible, por ejemplo cuando no existan Curvas U o PCC de alguna componente o para ponerse en situaciones futuras o que se deseen implementar en la mina, ya que una buena simulación nos puede dar diversos escenarios con el objetivo de tomar decisiones de acuerdo a lo que se necesita, que no necesariamente es el tener una mayor producción.

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo se dividen en diversas áreas, las que se presentan a continuación:

Información Piques de Traspaso

- El conocimiento del comportamiento de los piques de traspaso es un área a la que actualmente se le da muy poco énfasis, sin embargo, esta componente del sistema minero es fundamental a la hora de cumplir con las metas de producción propuesta por los planificadores, pudiendo éste ser el “cuello de botella” de todo el sistema minero.
- El número de eventos ocurridos durante el año en todos los piques de traspaso es muy variable, teniendo mínimos del orden de los 40 eventos (Mayo) y máximos del orden de los 120 eventos (Diciembre).
- La mayoría de los eventos sucede en los piques que presentan una menor madurez (HC1 producción entre 0 – 20 Kt/mes). En cambio, para los piques más antiguos (HC2, producción entre 80 – 120 Kt/mes), el número de eventos es estable durante casi todos los períodos (aproximadamente 20 eventos por mes).
- Los eventos de colgaduras son los eventos más comunes y suceden con una mayor frecuencia en los piques. Por otro lado, los que presentan una madurez menor (HC2) el mayor número de eventos asociados son las colgaduras, casi no existiendo en piques asociados al HC1 (más viejos).
- Los eventos mecánicos se mantienen relativamente constantes en el tiempo, para ambos cruzados de transporte.

Curvas U y PCC

- La forma obtenida dista de la “curva de la bañera” asociada a los equipos de confiabilidad mecánicos. Sin embargo, se aprecian dos tendencias claramente marcadas: la primera se puede asociar a fallas tempranas, cuando el pique recién ha comenzado a ser utilizado y el número de fallas es mayor, y la segunda, un período

de régimen en que las interferencias operacionales son mínimas (aproximadamente cada 50 Kt).

- La Curva U asociada a eventos mecánicos presenta un comportamiento de una componente mecánica, no notándose claramente la “curva de la bañera”, pero al calcular la regresión a la Curva U del HC2, se aprecia que tiene un comportamiento creciente, o sea, a medida que la componente envejece más eventos se suceden en ésta.
- La máxima productividad del pique de traspaso está condicionada por el número de eventos que ocurrieron en éste, presentando una clara tendencia decreciente en los máximos relacionados a cada evento.
- A medida que aumentan los eventos (más de 10), la producción tiende a estabilizarse en torno a las 40 – 60 Kt/mes.
- Se puede observar una alta variabilidad en los tonelajes, relacionados con un menor número de eventos; ésta se explica no solamente por el número de interferencias operacionales, sino también porque la extracción se planificó de esa manera (efecto plan).

Simulación

- La productividad del cruzado de producción se relaciona de manera inversa con la frecuencia de ocurrencia de eventos de interferencia a nivel de puntos de extracción y en piques de traspaso.
- A medida que el tonelaje entre eventos aumenta, la producción presenta un aumento, ya que el número de interrupciones operacionales en la calle disminuye. Este efecto se aprecia claramente para un determinado número de eventos, puesto que, además de producirse interferencias operacionales debido a la reparación de la calle por efecto de los puntos de extracción, la calle completa se detiene cuando el pique falla sin importar cuántos puntos están activos o fallados y al estar más tiempo detenido el menos tiempo efectivo para producir tiene el LHD.
- Se representa la curva PCC del cruzado de transporte para las diversas frecuencias de ocurrencia de eventos que se presentan en los piques, la cual viene de la curva U, es decir, pasar de una simulación estacionaria (tonelaje entre eventos fijos en los

piques) a una dinámica (variación del tonelaje para que el pique falle según el desplazamiento en la curva U).

7.2 Recomendaciones

- Mantener bases de datos actualizadas es de vital importancia para la planificación y optimización de la mina, siendo PT Freeport DOZ un ejemplo a seguir, ya que a pesar que ésta se encuentra en planillas Excel, la información contenida es completa.
- Realizar el estudio de los piques de traspaso para otras minas, con el objetivo de conocer de mejor manera el comportamiento de éstos, ya que el intervalo de tiempo en que se realizó este estudio, muestra lagunas en la vida de los piques.
- Considerar en la planificación de mediano plazo el impacto en la productividad de las interferencias operacionales y de los piques de traspaso, tomando en cuenta las Curvas U y PCC.
- Las simulaciones, es una herramienta es fundamental para situaciones en que la data no se encuentre disponible, por ejemplo cuando no existan Curvas U o PCC de alguna componente o para ponerse en situaciones futuras o que se deseen implementar en la mina, ya que una buena simulación nos puede dar diversos escenarios, con el objetivo de tomar decisiones de acuerdo a lo que se necesita, que no necesariamente es el tener una mayor producción.

8 Bibliografía

- **R. Ramakumar.** Engineering Reliability. Fundamentals and Applications.
- **Igor Basovsky.** Reliability: Theory and Practice.
- **S. R. Calabro.** Reliability principles and practices.
- **E. Rubio, W. Scott, M. Dunbar, R. Hall.** Reliability theory applied to block cave production scheduling (Massmin 2004).
- **E. T. Brown.** Block Caving Geomechanics (1997-2000).
- **Rubio E.** Mine Infrastructure Reliability Applied to Production Planning. PhD Thesis, University of British Columbia, 2005.
- **Rushdi.** Efficient Computation of k-out-of-n System Reliability, Reliability Engineering, Vol 17,1987.
- **William Hustrulid, Changshou Sun.** Some remarks on ore pass design guidelines. En: Massmin 2004. 22-25 Agosto. Santiago Chile.
- **J Hadjigeorgiou, J.F. Lessard.** Numerical investigations of ore pass hang-up phenomena. En: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44 (2007) 820–834.
- **Eduardo Rojas, Antonio Bonani, Eugenio Santander.** Geomechanical criteria for orepass design – El Teniente Mine, Codelco Chile. En: Massmin 2004. 22-25 Agosto. Santiago Chile.
- **Ugur Ozbay, Graham Mustoe, William Hustrulid.** Quantification and Analysis of Ore Pass/Draw Point Flow Problems. Department of Mining Engineering Colorado School of Mines.

- **SALMANCA Candia, Felipe Alonso.** Aplicación de la Redundancia Activa en la Programación de Producción de mina Subterránea. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.
- **MI75A** – Tópicos avanzados de Planificación Minera.
- **T. Diering.** PC-BC A Block Cave design and Draw Control System (Massmin 2000).
- **Enrique Rubio, Sebastián Troncoso. Rudy Prasetyo.** Reliability Center Mine Planning Model for Caving Operations (Massmin 2008).
- **Troncoco Sebastián.** Simulación del impacto de interferencias operacionales para la planificación de la producción. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2006.
- **J. Botha, S. Watson, T. Arkadius, E. Samosir.** Simulation applications at PT Freeport Indonesia's DOZ / ESZ block cave mine.
- **Oswaldo Ortiz S., Godelia Canchari S., Silvia Iglesias L., Mario Gonzales T.*** Simulación determinística y estocástica para dimensionar, y seleccionar equipo y elegir alternativas de minado en la explotación minera superficial (2006).
- **Brown, E T, 2003.** Block Caving Geomechanics. JKMRRC Monograph Series on Mining and Mineral Processing. Vol 3, 515 p. Julius Kruttschnitt Mineral Centre, University of Queensland: Brisbane.
- **Kazakidis, V.N. and M. Scoble,** 2002. Accounting for Ground-Related Problems in Planning Mine Production Systems, Mineral Resources Engineering, Imperial College Press, London, Vol. 11, N 1, pp. 35-57.

- <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/simulacion-digital/simulacion-digital.pdf>

9 Anexos

9.1 Tablas Producción y Eventos

| LP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LP05 | | | | | | | | 3,588 | 16,744 | 16,790 | 17,526 | 15,732 |
| LP06 | | | | 3,450 | 9,338 | 21,758 | 26,588 | 45,678 | 59,202 | 47,288 | 58,282 | 39,284 |
| LP07 | 14,904 | 2,852 | 20,378 | 31,280 | 41,492 | 40,342 | 37,674 | 42,872 | 49,358 | 62,836 | 7,268 | 50,416 |
| LP08 | 31,556 | 26,726 | 44,758 | 62,330 | 55,890 | 56,258 | 52,440 | 64,492 | 72,726 | 98,624 | 71,668 | 53,038 |
| LP09 | 34,454 | 34,914 | 51,152 | 50,370 | 57,454 | 58,236 | 51,152 | 69,138 | 74,428 | 91,816 | 68,448 | 75,670 |
| LP10 | 85,054 | 68,172 | 114,264 | 105,294 | 111,504 | 110,354 | 106,904 | 111,918 | 120,106 | 149,500 | 139,932 | 110,630 |
| LP11 | 21,206 | 86,158 | 115,046 | 91,172 | 101,108 | 86,894 | 96,922 | 107,916 | 120,198 | 151,248 | 112,608 | 67,252 |
| LP12 | 78,936 | 56,994 | 74,336 | 57,132 | 58,420 | 14,214 | 56,534 | 66,378 | 53,544 | 49,496 | 58,282 | 45,494 |
| LP13 | 31,602 | 19,918 | 25,254 | 15,594 | 20,010 | 17,986 | 9,752 | 6,532 | 7,866 | 8,924 | 10,074 | 3,082 |
| LP15 | | | | | | | | | | | | 138 |
| LP16 | 24,242 | 7,130 | 13,708 | 8,832 | 506 | | 552 | 7,682 | 2,576 | 5,152 | 9,384 | 5,152 |
| LP17 | 6,210 | 3,496 | 11,822 | 7,774 | 4,094 | 2,346 | 3,174 | 5,750 | 1,656 | 1,656 | 230 | 138 |
| LP18 | 91,080 | 89,654 | 89,792 | 94,070 | 84,548 | 102,396 | 118,404 | 92,322 | 94,162 | 13,386 | 60,720 | 69,966 |
| LP19 | 110,722 | 94,162 | 89,194 | 90,344 | 94,392 | 97,244 | 105,294 | 75,486 | 73,784 | 81,696 | 88,550 | 66,286 |
| LP20 | 156,998 | 116,748 | 121,486 | 120,566 | 137,862 | 112,838 | 118,634 | 102,810 | 100,510 | 90,620 | 74,428 | 56,856 |
| LP21 | 157,918 | 126,500 | 126,822 | 132,158 | 152,398 | 118,082 | 133,630 | 131,790 | 115,920 | 97,382 | 110,998 | 86,848 |
| LP22 | 125,718 | 78,016 | 110,998 | 106,260 | 133,952 | 119,646 | 126,592 | 138,506 | 128,110 | 118,956 | 104,098 | 64,170 |
| LP23 | 135,194 | 99,728 | 128,570 | 125,626 | 140,162 | 143,704 | 140,576 | 172,500 | 143,474 | 126,914 | 149,822 | 96,968 |
| LP24 | 105,616 | 80,776 | 86,388 | 93,380 | 72,634 | 75,026 | 78,016 | 84,226 | 80,960 | 79,488 | 75,670 | 63,756 |
| LPN1 | 460 | 966 | | | | | | | 966 | 7,314 | 3,588 | 8,464 |
| LPS3 | 276 | 46 | | | 46 | | | 46 | | | | |
| LPS4 | 88,136 | 62,974 | 97,934 | 78,798 | 64,446 | 47,564 | 67,206 | 74,750 | 89,470 | 99,958 | 72,312 | 68,816 |
| Total general | 1,554,685 | 1,262,525 | 1,580,535 | 1,523,775 | 1,602,480 | 1,464,540 | 1,590,270 | 1,679,150 | 1,680,800 | 1,672,770 | 1,547,040 | 1,253,230 |

Tabla 25. Tonelaje inicial piques de traspaso año 2006.

| Tonelaje por mes año 2006 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|-----------|
| L P | HC | Ton Acum | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Prom | total |
| LP05 | HC2 | | | | | | | | | 4,290 | 20,020 | 20,075 | 20,955 | 18,810 | 16,830 | 84,150 |
| LP06 | HC2 | | | | | 4,125 | 11,165 | 26,015 | 31,790 | 54,615 | 70,785 | 56,540 | 69,685 | 46,970 | 41,299 | 371,690 |
| LP07 | HC2 | 19,629 | 17,820 | 3,410 | 24,365 | 37,400 | 49,610 | 48,235 | 45,045 | 51,260 | 59,015 | 75,130 | 8,690 | 60,280 | 40,022 | 480,260 |
| LP08 | HC2 | 110,824 | 37,730 | 31,955 | 53,515 | 74,525 | 66,825 | 67,265 | 62,700 | 77,110 | 86,955 | 117,920 | 85,690 | 63,415 | 68,800 | 825,605 |
| LP09 | HC2 | 333,948 | 41,195 | 41,745 | 61,160 | 60,225 | 68,695 | 69,630 | 61,160 | 82,665 | 88,990 | 109,780 | 81,840 | 90,475 | 71,463 | 857,560 |
| LP10 | HC2 | 500,395 | 101,695 | 81,510 | 136,620 | 125,895 | 133,320 | 131,945 | 127,820 | 133,815 | 143,605 | 178,750 | 167,310 | 132,275 | 132,880 | 1,594,560 |
| LP11 | HC2 | 625,376 | 25,355 | 103,015 | 137,555 | 109,010 | 120,890 | 103,895 | 115,885 | 129,030 | 143,715 | 180,840 | 134,640 | 80,410 | 115,353 | 1,384,240 |
| LP12 | HC2 | 782,019 | 94,380 | 68,145 | 88,880 | 68,310 | 69,850 | 16,995 | 67,595 | 79,365 | 64,020 | 59,180 | 69,685 | 54,395 | 66,733 | 800,800 |
| LP18 | HC1 | 4,917,745 | 108,900 | 107,195 | 107,360 | 112,475 | 101,090 | 122,430 | 141,570 | 110,385 | 112,585 | 16,005 | 72,600 | 83,655 | 99,688 | 1,196,250 |
| LP19 | HC1 | 5,347,340 | 132,385 | 112,585 | 106,645 | 108,020 | 112,860 | 116,270 | 125,895 | 90,255 | 88,220 | 97,680 | 105,875 | 79,255 | 106,329 | 1,275,945 |
| LP20 | HC1 | 5,288,175 | 187,715 | 139,590 | 145,255 | 144,155 | 164,835 | 134,915 | 141,845 | 122,925 | 120,175 | 108,350 | 88,990 | 67,980 | 130,561 | 1,566,730 |
| LP21 | HC1 | 4,722,652 | 188,815 | 151,250 | 151,635 | 158,015 | 182,215 | 141,185 | 159,775 | 157,575 | 138,600 | 116,435 | 132,715 | 103,840 | 148,505 | 1,782,055 |
| LP22 | HC1 | 4,218,103 | 150,315 | 93,280 | 132,715 | 127,050 | 160,160 | 143,055 | 151,360 | 165,605 | 153,175 | 142,230 | 124,465 | 76,725 | 135,011 | 1,620,135 |
| LP23 | HC1 | 3,622,786 | 161,645 | 119,240 | 153,725 | 150,205 | 167,585 | 171,820 | 168,080 | 206,250 | 171,545 | 151,745 | 179,135 | 115,940 | 159,743 | 1,916,915 |
| LP24 | HC1 | 2,727,222 | 126,280 | 96,580 | 103,290 | 111,650 | 86,845 | 89,705 | 93,280 | 100,705 | 96,800 | 95,040 | 90,475 | 76,230 | 97,240 | 1,166,880 |
| LPS4 | HC1 | 3,481,801 | 105,380 | 75,295 | 117,095 | 94,215 | 77,055 | 56,870 | 80,355 | 89,375 | 106,975 | 119,515 | 86,460 | 82,280 | 90,906 | 1,090,870 |
| Total general | | 36,698,016 | 1,479,610 | 1,224,795 | 1,519,815 | 1,485,275 | 1,573,000 | 1,440,230 | 1,574,155 | 1,655,225 | 1,665,180 | 1,645,215 | 1,519,210 | 1,232,935 | | |
| Promedio | | 2,621,287 | 105,686 | 87,485 | 108,558 | 99,018 | 104,867 | 96,015 | 104,944 | 103,452 | 104,074 | 102,826 | 94,951 | 77,058 | | |

Tabla 26. Tonelajes filtrado piques de traspaso año 2006.

| Tonelaje acumulado año 2006. | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| LP | Acum | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| LP05 | | | | | | | | | 3,588 | 20,332 | 37,122 | 54,648 | 70,380 |
| LP06 | | | | | 3,450 | 12,788 | 34,546 | 61,134 | 106,812 | 166,014 | 213,302 | 271,584 | 310,868 |
| LP07 | 19,629 | 34,533 | 37,385 | 57,763 | 89,043 | 130,535 | 170,877 | 208,551 | 251,423 | 300,781 | 363,617 | 370,885 | 421,301 |
| LP08 | 110,824 | 142,380 | 169,106 | 213,864 | 276,194 | 332,084 | 388,342 | 440,782 | 505,274 | 578,000 | 676,624 | 748,292 | 801,330 |
| LP09 | 333,948 | 368,402 | 403,316 | 454,468 | 504,838 | 562,292 | 620,528 | 671,680 | 740,818 | 815,246 | 907,062 | 975,510 | 1,051,180 |
| LP10 | 500,395 | 585,449 | 653,621 | 767,885 | 873,179 | 984,683 | 1,095,037 | 1,201,941 | 1,313,859 | 1,433,965 | 1,583,465 | 1,723,397 | 1,834,027 |
| LP11 | 625,376 | 646,582 | 732,740 | 847,786 | 938,958 | 1,040,066 | 1,126,960 | 1,223,882 | 1,331,798 | 1,451,996 | 1,603,244 | 1,715,852 | 1,783,104 |
| LP12 | 782,019 | 860,955 | 917,949 | 992,285 | 1,049,417 | 1,107,837 | 1,122,051 | 1,178,585 | 1,244,963 | 1,298,507 | 1,348,003 | 1,406,285 | 1,451,779 |
| LP18 | 4,917,745 | 5,008,825 | 5,098,479 | 5,188,271 | 5,282,341 | 5,366,889 | 5,469,285 | 5,587,689 | 5,680,011 | 5,774,173 | 5,787,559 | 5,848,279 | 5,918,245 |
| LP19 | 5,347,340 | 5,458,062 | 5,552,224 | 5,641,418 | 5,731,762 | 5,826,154 | 5,923,398 | 6,028,692 | 6,104,178 | 6,177,962 | 6,259,658 | 6,348,208 | 6,414,494 |
| LP20 | 5,288,175 | 5,445,173 | 5,561,921 | 5,683,407 | 5,803,973 | 5,941,835 | 6,054,673 | 6,173,307 | 6,276,117 | 6,376,627 | 6,467,247 | 6,541,675 | 6,598,531 |
| LP21 | 4,722,652 | 4,880,570 | 5,007,070 | 5,133,892 | 5,266,050 | 5,418,448 | 5,536,530 | 5,670,160 | 5,801,950 | 5,917,870 | 6,015,252 | 6,126,250 | 6,213,098 |
| LP22 | 4,218,103 | 4,343,821 | 4,421,837 | 4,532,835 | 4,639,095 | 4,773,047 | 4,892,693 | 5,019,285 | 5,157,791 | 5,285,901 | 5,404,857 | 5,508,955 | 5,573,125 |
| LP23 | 3,622,786 | 3,757,980 | 3,857,708 | 3,986,278 | 4,111,904 | 4,252,066 | 4,395,770 | 4,536,346 | 4,708,846 | 4,852,320 | 4,979,234 | 5,129,056 | 5,226,024 |
| LP24 | 2,727,222 | 2,832,838 | 2,913,614 | 3,000,002 | 3,093,382 | 3,166,016 | 3,241,042 | 3,319,058 | 3,403,284 | 3,484,244 | 3,563,732 | 3,639,402 | 3,703,158 |
| LPS4 | 3,481,801 | 3,569,937 | 3,632,911 | 3,730,845 | 3,809,643 | 3,874,089 | 3,921,653 | 3,988,859 | 4,063,609 | 4,153,079 | 4,253,037 | 4,325,349 | 4,394,165 |
| Total general | 36,698,016 | 37,935,508 | 38,959,882 | 40,231,000 | 41,473,230 | 42,788,830 | 43,993,386 | 45,309,952 | 46,694,322 | 48,087,018 | 49,463,016 | 50,733,628 | 51,764,810 |

Tabla 27. Tonelajes acumulados piques de traspaso año 2006.

| Eventos por mes año 2006 | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|------|-------|
| LP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Prom | Total |
| LP05 | | | | | | | | 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 9 |
| LP06 | | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 6 | 2 | 7 | 4 | 3 | 28 |
| LP07 | 0 | 0 | 2 | 9 | 0 | 3 | 6 | 3 | 6 | 12 | 2 | 13 | 5 | 56 |
| LP08 | 3 | 4 | 4 | 15 | 9 | 15 | 18 | 13 | 26 | 24 | 25 | 33 | 16 | 189 |
| LP09 | 3 | 6 | 7 | 8 | 4 | 12 | 7 | 17 | 17 | 29 | 19 | 19 | 12 | 148 |
| LP10 | 10 | 4 | 13 | 12 | 11 | 18 | 16 | 18 | 21 | 8 | 16 | 24 | 14 | 171 |
| LP11 | 1 | 5 | 2 | 4 | 1 | 4 | 3 | 6 | 2 | 4 | 7 | 8 | 4 | 47 |
| LP12 | 8 | 19 | 14 | 8 | 5 | 3 | 28 | 18 | 10 | 8 | 3 | 3 | 11 | 127 |
| LP18 | 0 | 3 | 19 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 39 |
| LP19 | 7 | 3 | 8 | 5 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 37 |
| LP20 | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| LP21 | 2 | 2 | 6 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0 | 2 | 23 |
| LP22 | 2 | 5 | 2 | 5 | 1 | 8 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 6 | 3 | 35 |
| LP23 | 6 | 0 | 4 | 2 | 2 | 0 | 4 | 1 | 6 | 0 | 0 | 1 | 2 | 26 |
| LP24 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 12 |
| LPS4 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 5 | 0 | 1 | 1 | 2 | 25 |
| Total general | 52 | 58 | 86 | 78 | 39 | 73 | 95 | 92 | 110 | 93 | 91 | 115 | | |
| Promedio | 4 | 4 | 6 | 5 | 3 | 5 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 7 | | |

Tabla 28. Eventos piques de traspaso año 2006.

| Colgadas | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|---|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|--|
| LP | HC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| LP05 | HC2 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| LP06 | HC2 | | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | |
| LP07 | HC2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 3 | 2 | 5 | 0 | 13 | |
| LP08 | HC2 | 3 | 3 | 1 | 9 | 4 | 11 | 16 | 10 | 20 | 24 | 25 | 24 | |
| LP09 | HC2 | 1 | 2 | 7 | 7 | 3 | 10 | 6 | 13 | 12 | 20 | 16 | 17 | |
| LP10 | HC2 | 4 | 3 | 12 | 12 | 7 | 18 | 16 | 16 | 16 | 7 | 16 | 23 | |
| LP11 | HC2 | 0 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 2 | 2 | 4 | 8 | |
| LP12 | HC2 | 7 | 13 | 9 | 4 | 3 | 2 | 28 | 18 | 4 | 7 | 1 | 1 | |
| LP18 | HC1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | |
| LP19 | HC1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LP20 | HC1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LP21 | HC1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LP22 | HC1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LP23 | HC1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | |
| LP24 | HC1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LPS4 | HC1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Tabla 29. Colgadas piques de traspaso año 2006.

| Mecánicos | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| LP | HC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| LP05 | HC2 | | | | | | | | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| LP06 | HC2 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 7 | 4 |
| LP07 | HC2 | 0 | 0 | 1 | 8 | 0 | 1 | 2 | 0 | 4 | 7 | 2 | 0 |
| LP08 | HC2 | 0 | 1 | 3 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 9 |
| LP09 | HC2 | 2 | 4 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 5 | 9 | 3 | 2 |
| LP10 | HC2 | 6 | 1 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 5 | 1 | 0 | 1 |
| LP11 | HC2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| LP12 | HC2 | 1 | 6 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 6 | 1 | 2 | 2 |
| LP18 | HC1 | 0 | 3 | 19 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| LP19 | HC1 | 6 | 3 | 8 | 5 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| LP20 | HC1 | 3 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LP21 | HC1 | 2 | 2 | 6 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| LP22 | HC1 | 2 | 5 | 2 | 5 | 0 | 8 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 6 |
| LP23 | HC1 | 4 | 0 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| LP24 | HC1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| LPS4 | HC1 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 5 | 0 | 1 | 1 |

Tabla 30. Eventos mecánicos piques año 2006.

9.2 Curvas U

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <600000 | 238 | 1,563,494 | 330,096 | 61 | 1.84E-04 |
| <700000 | 286 | 1,860,884 | 297,390 | 48 | 1.61E-04 |
| <800000 | 346 | 2,202,112 | 341,228 | 60 | 1.75E-04 |
| <900000 | 418 | 2,628,854 | 426,742 | 72 | 1.68E-04 |
| <1000000 | 514 | 3,123,124 | 494,270 | 96 | 1.94E-04 |
| <1100000 | 560 | 3,467,388 | 344,264 | 46 | 1.33E-04 |
| <1200000 | 600 | 3,683,450 | 216,062 | 40 | 1.85E-04 |
| <1300000 | 647 | 4,007,198 | 323,748 | 47 | 1.45E-04 |
| <1400000 | 679 | 4,276,528 | 269,330 | 32 | 1.18E-04 |
| <1500000 | 708 | 4,620,608 | 344,080 | 29 | 8.40E-05 |
| <1600000 | 716 | 4,770,108 | 149,500 | 8 | 5.30E-05 |
| <1700000 | 720 | 4,921,356 | 151,248 | 4 | 2.60E-05 |
| <1800000 | 751 | 5,241,148 | 319,792 | 31 | 9.60E-05 |
| <1900000 | 775 | 5,351,778 | 110,630 | 24 | 2.16E-04 |
| <3000000 | 781 | 5,538,170 | 186,392 | 6 | 3.20E-05 |
| <3200000 | 782 | 5,790,572 | 252,402 | 1 | 3.00E-06 |
| <3400000 | 784 | 5,943,614 | 153,042 | 2 | 1.30E-05 |
| <3600000 | 790 | 6,276,424 | 332,810 | 6 | 1.80E-05 |
| <3800000 | 802 | 6,711,952 | 435,528 | 12 | 2.70E-05 |
| <4000000 | 812 | 7,198,264 | 486,312 | 10 | 2.00E-05 |
| <4200000 | 822 | 7,488,110 | 289,846 | 10 | 3.40E-05 |
| <4400000 | 828 | 8,138,780 | 650,670 | 6 | 9.00E-06 |
| <4600000 | 839 | 8,468,370 | 329,590 | 11 | 3.30E-05 |
| <4800000 | 846 | 8,881,082 | 412,712 | 7 | 1.60E-05 |
| <5000000 | 862 | 9,429,034 | 547,952 | 16 | 2.90E-05 |
| <5200000 | 892 | 10,367,802 | 938,768 | 30 | 3.10E-05 |
| <5400000 | 903 | 10,903,656 | 535,854 | 11 | 2.00E-05 |
| <5600000 | 932 | 12,160,790 | 1,257,134 | 29 | 2.30E-05 |
| <5800000 | 954 | 12,795,314 | 634,524 | 22 | 3.40E-05 |
| <6000000 | 966 | 13,623,774 | 828,460 | 12 | 1.40E-05 |
| <6200000 | 976 | 14,318,190 | 694,416 | 10 | 1.40E-05 |
| <6400000 | 980 | 14,778,604 | 460,414 | 4 | 8.00E-06 |
| <6600000 | 982 | 15,066,794 | 288,190 | 2 | 6.00E-06 |

Tabla 31. Curva U mina.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <3000000 | 6 | 179,768 | 179,768 | 6 | 3.34E-05 |
| <3200000 | 7 | 438,794 | 259,026 | 1 | 3.86E-06 |
| <3400000 | 9 | 591,836 | 153,042 | 2 | 1.31E-05 |
| <3600000 | 15 | 924,646 | 332,810 | 6 | 1.80E-05 |
| <3800000 | 27 | 1,360,174 | 435,528 | 12 | 2.76E-05 |
| <4000000 | 37 | 1,846,486 | 486,312 | 10 | 2.06E-05 |
| <4200000 | 47 | 2,136,332 | 289,846 | 10 | 3.45E-05 |
| <4400000 | 53 | 2,787,002 | 650,670 | 6 | 9.22E-06 |
| <4600000 | 64 | 3,116,592 | 329,590 | 11 | 3.34E-05 |
| <4800000 | 71 | 3,529,304 | 412,712 | 7 | 1.70E-05 |
| <5000000 | 87 | 4,077,256 | 547,952 | 16 | 2.92E-05 |
| <5200000 | 117 | 5,016,024 | 938,768 | 30 | 3.20E-05 |
| <5400000 | 128 | 5,551,878 | 535,854 | 11 | 2.05E-05 |
| <5600000 | 157 | 6,809,012 | 1,257,134 | 29 | 2.31E-05 |
| <5800000 | 179 | 7,443,536 | 634,524 | 22 | 3.47E-05 |
| <6000000 | 191 | 8,271,996 | 828,460 | 12 | 1.45E-05 |
| <6200000 | 201 | 8,966,412 | 694,416 | 10 | 1.44E-05 |
| <6400000 | 205 | 9,426,826 | 460,414 | 4 | 8.69E-06 |
| <6600000 | 207 | 9,715,016 | 288,190 | 2 | 6.94E-06 |

Tabla 32. Curva U HC1

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <400000 | 133 | 1,044,476 | 1,044,476 | 133 | 1.27E-04 |
| <500000 | 177 | 1,233,398 | 188,922 | 44 | 2.33E-04 |
| <600000 | 238 | 1,563,494 | 330,096 | 61 | 1.85E-04 |
| <700000 | 286 | 1,860,884 | 297,390 | 48 | 1.61E-04 |
| <800000 | 346 | 2,202,112 | 341,228 | 60 | 1.76E-04 |
| <900000 | 418 | 2,628,854 | 426,742 | 72 | 1.69E-04 |
| <1000000 | 514 | 3,123,124 | 494,270 | 96 | 1.94E-04 |
| <1100000 | 560 | 3,467,388 | 344,264 | 46 | 1.34E-04 |
| <1200000 | 600 | 3,683,450 | 216,062 | 40 | 1.85E-04 |
| <1300000 | 647 | 4,007,198 | 323,748 | 47 | 1.45E-04 |
| <1400000 | 679 | 4,276,528 | 269,330 | 32 | 1.19E-04 |
| <1500000 | 708 | 4,620,608 | 344,080 | 29 | 8.43E-05 |
| <1600000 | 716 | 4,770,108 | 149,500 | 8 | 5.35E-05 |
| <1700000 | 720 | 4,921,356 | 151,248 | 4 | 2.64E-05 |
| <1800000 | 751 | 5,241,148 | 319,792 | 31 | 9.69E-05 |
| <1900000 | 775 | 5,351,778 | 110,630 | 24 | 2.17E-04 |

Tabla 33. Curva U HC2.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <400000 | 64 | 1,044,476 | 1,044,476 | 64 | 6.13E-05 |
| <800000 | 243 | 2,202,112 | 1,157,636 | 179 | 1.55E-04 |
| <1200000 | 442 | 3,683,450 | 1,481,338 | 199 | 1.34E-04 |
| <1600000 | 538 | 4,770,108 | 1,086,658 | 96 | 8.83E-05 |
| <2000000 | 591 | 5,351,778 | 581,670 | 53 | 9.11E-05 |
| <3000000 | 592 | 5,574,638 | 222,860 | 1 | 4.49E-06 |
| <3400000 | 593 | 5,966,128 | 391,490 | 1 | 2.55E-06 |
| <3800000 | 595 | 6,811,368 | 845,240 | 2 | 2.37E-06 |
| <4200000 | 596 | 7,648,908 | 837,540 | 1 | 1.19E-06 |
| <4800000 | 600 | 9,205,188 | 1,556,280 | 4 | 2.57E-06 |
| <5200000 | 603 | 10,593,718 | 1,388,530 | 3 | 2.16E-06 |
| <5600000 | 604 | 12,727,223 | 2,133,505 | 1 | 4.69E-07 |
| <6000000 | 608 | 14,508,673 | 1,781,450 | 4 | 2.25E-06 |
| <6400000 | 611 | 15,939,773 | 1,431,100 | 3 | 2.10E-06 |
| <7000000 | 611 | 16,967,558 | 1,027,785 | 0 | 0.00E+00 |

Tabla 34. Curva U colgadas.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <3000000 | 1 | 186,392 | 186,392 | 1 | 5.37E-06 |
| <3250000 | 2 | 366,160 | 179,768 | 1 | 5.56E-06 |
| <4000000 | 4 | 1,603,146 | 1,236,986 | 2 | 1.62E-06 |
| <4250000 | 5 | 2,046,862 | 443,716 | 1 | 2.25E-06 |
| <4750000 | 9 | 3,222,852 | 1,175,990 | 4 | 3.40E-06 |
| <5000000 | 10 | 3,687,222 | 464,370 | 1 | 2.15E-06 |
| <5250000 | 12 | 4,727,696 | 1,040,474 | 2 | 1.92E-06 |
| <5500000 | 13 | 5,722,630 | 994,934 | 1 | 1.01E-06 |
| <6000000 | 17 | 7,658,494 | 1,935,864 | 4 | 2.07E-06 |
| <6250000 | 19 | 8,490,128 | 831,634 | 2 | 2.40E-06 |
| <7000000 | 20 | 9,715,016 | 1,224,888 | 1 | 8.16E-07 |

Tabla 35. Curva U colgadas HC1.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <150000 | 16 | 319,654 | 319,654 | 16 | 5.00E-05 |
| <300000 | 41 | 739,128 | 419,474 | 25 | 5.90E-05 |
| <450000 | 95 | 1,182,246 | 443,118 | 54 | 1.21E-04 |
| <600000 | 146 | 1,563,494 | 381,248 | 51 | 1.33E-04 |
| <750000 | 231 | 2,087,848 | 524,354 | 85 | 1.62E-04 |
| <900000 | 299 | 2,628,854 | 541,006 | 68 | 1.25E-04 |
| <1050000 | 372 | 3,281,364 | 652,510 | 73 | 1.11E-04 |
| <1200000 | 442 | 3,683,450 | 402,086 | 70 | 1.74E-04 |
| <1350000 | 511 | 4,276,528 | 593,078 | 69 | 1.16E-04 |
| <1500000 | 531 | 4,620,608 | 344,080 | 20 | 5.80E-05 |
| <1650000 | 540 | 4,921,356 | 300,748 | 9 | 2.90E-05 |
| <1800000 | 568 | 5,241,148 | 319,792 | 28 | 8.70E-05 |
| <1950000 | 591 | 5,351,778 | 110,630 | 23 | 2.07E-04 |

Tabla 36. Curva U colgaduras HC2.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <500000 | 75 | 1,233,398 | 1,233,398 | 75 | 6.08E-05 |
| <750000 | 102 | 2,087,848 | 854,450 | 27 | 3.16E-05 |
| <1000000 | 147 | 3,123,124 | 1,035,276 | 45 | 4.35E-05 |
| <1250000 | 158 | 3,953,654 | 830,530 | 11 | 1.32E-05 |
| <1500000 | 177 | 4,620,608 | 666,954 | 19 | 2.85E-05 |
| <1750000 | 183 | 5,173,896 | 553,288 | 6 | 1.08E-05 |
| <3000000 | 189 | 5,538,170 | 364,274 | 6 | 1.65E-05 |
| <3250000 | 190 | 5,865,598 | 327,428 | 1 | 3.05E-06 |
| <3500000 | 192 | 6,108,800 | 243,202 | 2 | 8.22E-06 |
| <3750000 | 203 | 6,576,758 | 467,958 | 11 | 2.35E-05 |
| <4000000 | 216 | 7,198,264 | 621,506 | 13 | 2.09E-05 |
| <4250000 | 226 | 7,488,110 | 289,846 | 10 | 3.45E-05 |
| <4500000 | 237 | 8,216,796 | 728,686 | 11 | 1.51E-05 |
| <4750000 | 245 | 8,747,130 | 530,334 | 8 | 1.51E-05 |
| <5000000 | 259 | 9,429,034 | 681,904 | 14 | 2.05E-05 |
| <5250000 | 290 | 10,464,770 | 1,035,736 | 31 | 2.99E-05 |
| <5500000 | 313 | 11,545,126 | 1,080,356 | 23 | 2.13E-05 |
| <5750000 | 345 | 12,687,766 | 1,142,640 | 32 | 2.80E-05 |
| <6000000 | 356 | 13,623,774 | 936,008 | 11 | 1.18E-05 |
| <6250000 | 365 | 14,405,038 | 781,264 | 9 | 1.15E-05 |
| <6750000 | 371 | 15,066,794 | 661,756 | 6 | 9.07E-06 |

Tabla 37. Curva U eventos mecánicos.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <100000 | 26 | 200,928 | 200,928 | 26 | 1.29E-04 |
| <200000 | 45 | 445,924 | 244,996 | 19 | 7.70E-05 |
| <300000 | 82 | 739,128 | 293,204 | 37 | 1.26E-04 |
| <400000 | 133 | 1,044,476 | 305,348 | 51 | 1.67E-04 |
| <500000 | 177 | 1,233,398 | 188,922 | 44 | 2.32E-04 |
| <600000 | 238 | 1,563,494 | 330,096 | 61 | 1.84E-04 |
| <700000 | 286 | 1,860,884 | 297,390 | 48 | 1.61E-04 |
| <800000 | 346 | 2,202,112 | 341,228 | 60 | 1.75E-04 |
| <900000 | 418 | 2,628,854 | 426,742 | 72 | 1.68E-04 |
| <1000000 | 514 | 3,123,124 | 494,270 | 96 | 1.94E-04 |
| <1100000 | 560 | 3,467,388 | 344,264 | 46 | 1.33E-04 |
| <1200000 | 600 | 3,683,450 | 216,062 | 40 | 1.85E-04 |
| <1300000 | 647 | 4,007,198 | 323,748 | 47 | 1.45E-04 |
| <1400000 | 679 | 4,276,528 | 269,330 | 32 | 1.18E-04 |
| <1500000 | 708 | 4,620,608 | 344,080 | 29 | 8.40E-05 |
| <1600000 | 716 | 4,770,108 | 149,500 | 8 | 5.30E-05 |
| <1700000 | 720 | 4,921,356 | 151,248 | 4 | 2.60E-05 |
| <1800000 | 751 | 5,241,148 | 319,792 | 31 | 9.60E-05 |
| <1900000 | 775 | 5,351,778 | 110,630 | 24 | 2.16E-04 |

Tabla 38. Curva U eventos mecánicos HC2.

| Intervalos de Madurez (t) | Producción Total Intervalo de Madurez (t) | Producción Diferencial Intervalo de Madurez (t) | Eventos Total Intervalo de Madurez (#) | Eventos Diferencial Intervalo de Madurez (#) | Frecuencia Ocurrencia Eventos (# Eventos/t) |
|---------------------------|---|---|--|--|---|
| <3300000 | 8 | 513,820 | 513,820 | 8 | 1.50E-05 |
| <3450000 | 9 | 676,062 | 162,242 | 1 | 6.00E-06 |
| <3600000 | 15 | 924,646 | 248,584 | 6 | 2.40E-05 |
| <3750000 | 21 | 1,224,980 | 300,334 | 6 | 1.90E-05 |
| <3900000 | 31 | 1,603,146 | 378,166 | 10 | 2.60E-05 |
| <4050000 | 37 | 1,846,486 | 243,340 | 6 | 2.40E-05 |
| <4200000 | 47 | 2,136,332 | 289,846 | 10 | 3.40E-05 |
| <4350000 | 52 | 2,574,482 | 438,150 | 5 | 1.10E-05 |
| <4500000 | 58 | 2,865,018 | 290,536 | 6 | 2.00E-05 |
| <4650000 | 69 | 3,222,852 | 357,834 | 11 | 3.00E-05 |
| <4800000 | 71 | 3,529,304 | 306,452 | 2 | 6.00E-06 |
| <4950000 | 87 | 3,950,342 | 421,038 | 16 | 3.80E-05 |
| <5100000 | 92 | 4,511,082 | 560,740 | 5 | 8.00E-06 |
| <5250000 | 118 | 5,112,992 | 601,910 | 26 | 4.30E-05 |
| <5400000 | 128 | 5,551,878 | 438,886 | 10 | 2.20E-05 |
| <5550000 | 145 | 6,415,528 | 863,650 | 17 | 1.90E-05 |
| <5700000 | 171 | 7,245,644 | 830,116 | 26 | 3.10E-05 |
| <5850000 | 184 | 7,851,004 | 605,360 | 13 | 2.10E-05 |
| <6000000 | 191 | 8,271,996 | 420,992 | 7 | 1.60E-05 |
| <6150000 | 200 | 8,773,994 | 501,998 | 9 | 1.70E-05 |
| <6300000 | 203 | 9,237,766 | 463,772 | 3 | 6.00E-06 |
| <6600000 | 207 | 9,715,016 | 477,250 | 4 | 8.00E-06 |

Tabla 39. Curva U eventos mecánicos HC1.

9.3 Simulaciones

| Puntos de extracción | | | | | |
|----------------------|--------|-----------|------------|---------|--------------|
| madurez inicial | | | Distancias | | |
| Componente | Unidad | Valor | Origen | Destino | Distancia(m) |
| LP23 | t | 3,650,000 | | | |
| P23-01E | t | 207,726 | P23-01E | LP23 | 89 |
| P23-01W | t | 219,658 | P23-01W | LP23 | 96 |
| P23-02E | t | 188,988 | P23-02E | LP23 | 67 |
| P23-02W | t | 189,588 | P23-02W | LP23 | 85 |
| P23-03E | t | 184,254 | P23-03E | LP23 | 54 |
| P23-03W | t | 190,556 | P23-03W | LP23 | 65 |
| P23-04E | t | 186,472 | P23-04E | LP23 | 32 |
| P23-04W | t | 187,162 | P23-04W | LP23 | 45 |
| P23-05E | t | 189,114 | P23-05E | LP23 | 19 |
| P23-05W | t | 200,841 | P23-05W | LP23 | 23 |
| P23-06E | t | 176,158 | P23-06E | LP23 | 13 |
| P23-06W | t | 210,240 | P23-06W | LP23 | 14 |
| P23-07E | t | 157,727 | P23-07E | LP23 | 32 |
| P23-07W | t | 174,033 | P23-07W | LP23 | 24 |
| P23-08E | t | 138,027 | P23-08E | LP23 | 52 |
| P23-08W | t | 159,655 | P23-08W | LP23 | 41 |
| P23-09E | t | 122,833 | P23-09E | LP23 | 67 |
| P23-09W | t | 152,036 | P23-09W | LP23 | 59 |
| P23-10E | t | 143,607 | P23-10E | LP23 | 89 |
| P23-10W | t | 124,642 | P23-10W | LP23 | 72 |
| P23-10W | t | 119,469 | P23-11W | LP23 | 97 |

Tabla 40. Madurez y distancias puntos de extracción (validación).

9.4 Descripción Bases Datos

En este capítulo se describirá de manera detallada, la forma en que la información ocupada en este estudio fue entregada, con el objetivo de no dejar dudas de su procedencia y por sobre todo, qué tan confiable resulta ser.

Por otro lado, esta descripción puede servir de modelo a imitar para minas de similares características, que aún no implementan un sistema de control de interferencias operacionales y de tonelajes extraídos de los piques de traspaso.

Las bases de datos que serán utilizadas en este trabajo, están contenidas en diversas planillas Excel y hojas de trabajos. Éstos se dividen en dos grandes áreas:

- Estado piques de traspaso (interferencias operacionales).
- Tonelaje extraído desde los piques de traspaso.

9.4.1 Estado Piques de Traspaso

La información está contenida en varias carpetas, como se presenta a continuación:

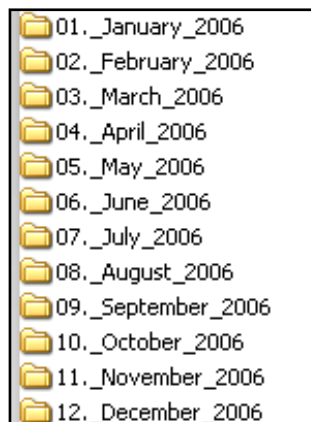


Ilustración 24. Información operativa piques de traspaso.

Cada una de las anteriores carpetas, contiene la información recopilada por las cuatro cuadrillas de reducción que operan en la mina durante el mes. En la Ilustración 24 se aprecia que cada cuadrilla, de manera ordenada, guarda el reporte de lo acontecido en cada turno.

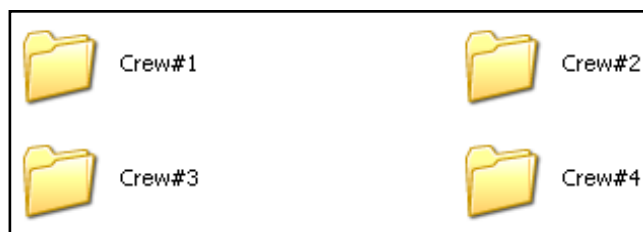


Ilustración 25. Información cuadrillas de reducción.

Cada una de las carpetas contiene archivos Excel, como los que se presentan a continuación:

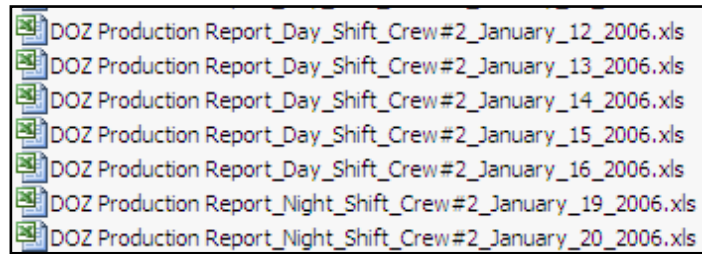


Ilustración 26. Planillas Excel.

Cada uno de los archivos Excel describe la información acerca de la situación operacional, recogida por la cuadrilla de reducción, en un turno y día determinado.

Cada una de los archivos Excel contiene dos hojas de trabajo, cuyos nombres son:

- Production
- Tonnage

9.4.2 Descripción Hojas de Trabajo

Descripción Hoja *Production*

Esta hoja contiene las siguientes tablas:

- Tabla I.
- Tabla II: LP & Grizzly.
- Tabla III: MK-Drill Machine & Rock Breaker.
- Tabla IV: LHD.
- Tabla V: Trucks & Auxiliaries.
- Tabla VI: Production LHD at Truck Haulage

La descripción de cada una de las tablas anteriores se presenta a continuación:

Descripción Tabla I

Esta tabla contiene la siguiente información:

| LP & Grizzly | | | |
|--------------|-----|---------|-----|
| Unit# | SOS | Remarks | EOS |
| 7 | OK | | OK |
| 8 | OK | | OK |
| 9 | OK | | OK |
| 10 | OK | | OK |
| 12 | OK | | OK |
| 13 | OK | | OK |
| 15 | OK | | OK |
| 16 | OK | | OK |
| 17 | OK | | OK |
| 18 | OK | | OK |
| 19 | OK | | OK |
| 20 | OK | | OK |
| 21 | OK | | OK |
| 22 | OK | | OK |
| 23 | OK | | OK |
| 24 | OK | | OK |
| S4 | OK | | OK |
| N1 | OK | | OK |

Ilustración 29. Descripción Tabla II.

La información contenida en ésta no es relevante para el estudio, ya que la data existente se desprende de la tabla I.

Descripción Tabla III

Esta tablaposee la siguiente información:

| MK-Drill Machine & Rock Breaker | | | | | | |
|---------------------------------|-----|----------------|------------------------------|-----|-------|-------|
| Unit# | SOS | Operator | Remarks | EOS | Hours | Holes |
| SBU-45(Monomatic) | OK | | | OK | | |
| 73-41 | OK | | | OK | 0.0 | 0 |
| 73-42 | OK | | | OK | 0.0 | 0 |
| 73-46 | OK | | | OK | 0.0 | 0 |
| 73-47 | OK | Arnus Tabuni | P#8/10/11 | OK | 1.4 | 60 |
| 73-52 | OK | Muhari | P#19/21/22/23 | OK | 3.7 | 79 |
| 73-54 | OK | | | OK | 0.0 | 0 |
| R/B#P8 | OK | Kapisa | | OK | | |
| R/B#P9 | OK | Daniel Wandago | | OK | | |
| R/B#P10 | OK | Kapisa | | OK | | |
| R/B #P12 | OK | Jury Aldrin | | OK | | |
| R/B#S1Middle | OK | | | OK | | |
| R/B#S1 Top | OK | | | OK | | |
| R/B#S4 | OK | Simon | Hose Leakage (18.53 - 21.32) | OK | | |

Ilustración 30. Descripción Tabla III.

La información contenida en ésta no es relevante para el estudio.

Descripción Tabla IV

Esta tabla contiene la siguiente información:

| LHD | | | | | | | | | | |
|--------|-----|------------------------------------|-----|----------|---------------------|-----------------|------------------|---------|-----------|-------|
| Unit# | SOS | Remarks | EOS | Location | Operator | Activities | Dumping Location | buckets | Tonnage | Hours |
| 71-622 | OK | | OK | RTA | Sugito | P#12/13/Wet | Grizzly#12/13 | 128 | 1,446.40 | 3.9 |
| 71-623 | PH | Weekly PH (SOS - 23.32) | OK | XCUT#14 | | | | 14 | 158.20 | 0.0 |
| 71-624 | BO | Instrument Problem (SOS - 18.11) | OK | RTA | Antonius Taimé | P#23 | Grizzly#23 | 76 | 858.00 | 2.3 |
| 71-627 | PH | Continue Weekly PH (SOS - 22.40) | OK | XCUT#14 | | | | 0 | 0.00 | 0.0 |
| 71-628 | OK | | OK | TH | Benjamin Sroyer | Cleaning Up T/H | Crusher | 0 | 0.00 | 0.0 |
| 71-629 | BO | Fan Belt Problem (SOS - 19.54) | OK | P#14 S | Budi S | P#24/22/21/Wet | Grizzly#24/22/21 | 23 | 1,502.90 | 2.7 |
| 71-817 | BO | Continue Oil Leakage (SOS - 19.11) | OK | S1 TOP | Ruman | P#9 | Grizzly#9 | 52 | 587.60 | 2.6 |
| 71-820 | OK | | OK | P#15 S | Rani Samalo/A Taimé | P#20/8/23 | Grizzly#20/8/23 | 158 | 1,785.40 | 6.5 |
| 71-821 | OK | | OK | P#15 S | Hengky Lie | P#23/25/7 | Grizzly#23/54/7 | 159 | 1,796.70 | 6.4 |
| 71-822 | OK | | OK | S1 TOP | Alexander Wulkur | P#16/18/8 | Grizzly#16/18/8 | 158 | 1,785.40 | 6.2 |
| 71-823 | OK | | OK | P#15 S | Ruman/Suhardani | P#22/9/26 | Grizzly#22/9/54 | 166 | 1,875.00 | 6.3 |
| 71-825 | BO | Continue Oil Leakage (SOS - 17.10) | OK | HS | Suhardani/Rani S | P#24/20 | Grizzly#24 | 171 | 1,932.30 | 6.1 |
| 71-826 | OK | | OK | S1 TOP | Trihasono | P#11 | Grizzly#11 | 97 | 1,096.10 | 6.2 |
| 71-831 | OK | | OK | S1 TOP | Habel Awes | P#19 | Grizzly#19 | 155 | 1,751.50 | 6.2 |
| 71-832 | OK | | OK | P#14 S | Miky | P#10/8 | Grizzly#10/8 | 115 | 1,299.50 | 5.9 |
| 71-833 | OK | | OK | P#15 S | Isak Harini | P#21 | Grizzly#21/54 | 207 | 2,339.10 | 6.4 |
| Total | | | | | | | | 1,789 | 20,215.70 | |

Número de ciclos realizados por LHD al pique

Nombre LHD Estado LHD Nombre operador LHD Locación LHD

Ilustración 31. Descripción Tabla IV.

Descripción Tabla V

Esta tabla contiene la siguiente información:

| Trucks & Auxiliaries | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|----------------|-----|----------|--------------------|---------|-------|---------|-------|--|
| Unit# | SOS | Remarks | EOS | Location | Operator | Remarks | Trips | Tonnage | Hours | |
| L 07-52 | | | | | | | | | | |
| Grader-54 | OK | | OK | T/H | | | | | 3.0 | |
| 72-49 | OK | | OK | T/H | | | 0 | 0 | 0.0 | |
| 72-50 | OK | | OK | T/H | Redpath Crew | | 0 | 0 | 0.0 | |
| 72-62 | OK | | OK | T/H | Joppy Wandosa | | 46 | 2,300 | 6.7 | |
| 72-63 | OK | | OK | T/H | Pieter Kendek | | 46 | 2,300 | 6.6 | |
| 72-66 | OK | | OK | T/H | Lodnyak Tugardian | | 49 | 2,400 | 6.3 | |
| 72-67 | OK | Need Weekly PH | OK | T/H | Elsworth IA | | 46 | 2,300 | 6.6 | |
| 72-68 | OK | | OK | T/H | Knur Abnere | | 43 | 2,150 | 6.6 | |
| 72-69 | OK | | OK | T/H | Krenius Ronsumare | | 48 | 2,400 | 6.6 | |
| 72-70 | BO | REBUILD | BO | LIP | | | 0 | 0 | 0.0 | |
| 72-71 | OK | | OK | T/H | Mangansina Pandita | | 51 | 2,550 | 6.5 | |
| 72-72 | OK | | OK | T/H | Patak Markus | | 52 | 2,600 | 6.5 | |
| Total | | | | | | | 380 | 19,000 | | |

Numero de Ciclos (no indica en que pique carga mineral)

Nombre camión Estado camión Nombre Operados

Ilustración 32. Descripción Tabla V.

Descripción Tabla VI

Esta tabla contiene la siguiente información:

| Production LHD at Truck Haulage | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|---------|-----|-----------------|--------------------|---------|---------|---------|
| Unit# | SOS | Remarks | EOS | Operator | Activities | Dump To | Buckets | Tonnage |
| 71-628 | OK | | OK | Benjamin Sroyer | Cleaning Up T/H | CRUSHER | | 0.00 |
| 71-6 | OK | | OK | | Cleaning Up T/H | | | 0.00 |
| 71-8 | OK | | OK | | Cleaning Up T/H/S3 | | | 0.00 |
| Total LHD dump to CR = | | | | | | | 0 | 0 |
| Total Truck & LHD dump to CR = | | | | | | | | 19,000 |

Ilustración 33. Descripción Tabla VI.

La información contenida en ésta no es relevante para el estudio.

Descripción Hoja *Tonnage*

Esta hoja contiene las siguientes tablas:

- Tabla I: Shift.
- Tabla II: Crusher Problem Highlight.
- Tabla III: Total Today Production.
- Tabla IV: Conveyor Problem Highlight.

La descripción de cada una de las tablas anteriores, se presenta a continuación:

Descripción Tabla I

Esta tabla contiene la siguiente información:

| Swing Shift | | | | | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Period | DMT | WMT | LHD | Truck | Metal Detected |
| 16:00-17:00 | 536 | 561 | 734 | 100 | 0 |
| 17:00-18:00 | 1,935 | 2,026 | 3,074 | 2,700 | 1 |
| 18:00-19:00 | 1,971 | 2,064 | 3,045 | 3,200 | 3 |
| 19:00-20:00 | 2,988 | 3,129 | 2,066 | 2,950 | 0 |
| 20:00-21:00 | 1,080 | 1,131 | 497 | 1,050 | 1 |
| 21:00-22:00 | 2,607 | 2,730 | 4,509 | 3,550 | 2 |
| 22:00-23:00 | 2,949 | 3,088 | 3,847 | 3,350 | 0 |
| 23:00-24:00 | 2,655 | 2,780 | 2,181 | 1,850 | 1 |
| TOTAL | 16,721 | 17,509 | 19,952 | 18,750 | 8 |

Ilustración 34. Descripción Tabla I.

La tabla anterior contiene lo siguiente:

- Period: período de tiempo en que se tomó la medición (horas).
- DMT: tonelaje seco planificado a nivel de producción.

- WMT: tonelaje húmedo planificado a nivel de producción.
- LHD: tonelaje húmedo extraído a nivel de producción.
- TRUCK: tonelaje húmedo extraído a nivel de transporte.

Descripción Tabla II

Esta tabla contiene la siguiente información:

| Crusher Problem Highlight | | | | |
|---------------------------|-----------|------------|--------|--------------|
| #Stop | Time Stop | Time Start | Reason | Down Time |
| 1 | | | | 00:00 |
| 2 | | | | 00:00 |
| 3 | | | | 00:00 |
| 4 | | | | 00:00 |
| 5 | | | | 00:00 |
| 6 | | | | 00:00 |
| 7 | | | | 00:00 |
| 8 | | | | 00:00 |
| 9 | | | | 00:00 |
| 10 | | | | 00:00 |
| 11 | | | | 00:00 |
| Total Down Time | | | | 00:00 |

Ilustración 35. Descripción tabla II.

La información contenida en ésta no es relevante para el estudio.

Descripción Tabla III

Esta tabla contiene la siguiente información:

| Total Today Production | | |
|------------------------|---------------|------------|
| Night Shift | 16,390 | WMT |
| Day Shift | 16,190 | WMT |
| Swing Shift | 17,509 | WMT |
| Total | 50,089 | WMT |

Ilustración 36. Descripción tabla III.

La información contenida en ésta no es relevante para el estudio.

Descripción Tabla III

Esta tabla contiene la siguiente información:

| Conveyor Problem Highlight | | | | |
|----------------------------|-----------|------------|--------|--------------|
| #Stop | Time Stop | Time Start | Reason | Down Time |
| 1 | | | | 00:00 |
| 2 | | | | 00:00 |
| 3 | | | | 00:00 |
| 4 | | | | 00:00 |
| 5 | | | | 00:00 |
| 6 | | | | 00:00 |
| 7 | | | | 00:00 |
| 8 | | | | 00:00 |
| 9 | | | | 00:00 |
| 10 | | | | 00:00 |
| 11 | | | | 00:00 |
| Total Down Time | | | | 00:00 |

Ilustración 37. Descripción tabla IV.

La información contenida en ésta no es relevante para el estudio.

En resumen, la información relevante contenida en estas hojas de trabajo y tablas es:

- Hoja *Production* (tabla I): la información que se obtiene es el número de eventos que sucede en cada pique, con una granularidad de hora, turno, día y mes. Además del tipo de interferencia operacional que sucedió.
- Hoja *Tonnage* (tabla I): toneladas planificadas y extraídas para cada hora, día, turno y mes.

9.4.3 Tonelajes Piques de Traspaso

La información está contenida en una planilla Excel llamada "*Historical truck by LP 2006.xls*", la cual contiene 12 hojas de trabajo, una para cada mes del período 2006. Todas las hojas de trabajo tienen el mismo formato, presentado a continuación:

| TRUCK | OPERATOR NAME | LOADS | LP | Travel Loaded | Dumping | Travel Empty | Loading | Total Time | |
|----------|------------------|-------|------|---------------|---------|--------------|---------|------------|-----|
| 62 | AGUS PULLAH | 2 | LP05 | 3.7 | 0.1 | 3.7 | 0.4 | 7.9 | |
| 62 | DEREK DAMAR | 4 | LP05 | 4.3 | 0.4 | 6.1 | 0.1 | 10.9 | |
| 63 | JAJANG HERMAN | 1 | LP05 | 3.9 | 1.1 | 2.8 | 0.1 | 7.9 | |
| 63 | JANUARIUS PIGOME | 2 | LP05 | 7.1 | 0.2 | 3 | 0.2 | 10.5 | |
| 63 | NIKODEMUS RUMBIK | 1 | LP05 | 5.2 | 0 | 1.2 | 0 | 6.4 | |
| 66 | HALIM ANDI | 1 | LP05 | 8.1 | 0 | 0.2 | 0.1 | 8.4 | |
| 66 | M SYUKUR | 5 | LP05 | 9 | 0.4 | 7.6 | 0.7 | 17.7 | |
| 66 | RUDY IDWAR | 1 | LP05 | 2.8 | 0.3 | 3.3 | 0.1 | 6.5 | |
| 67 | SIMBIK JULIO | 4 | LP05 | 3.2 | 0.1 | 2.7 | 0.1 | 6.1 | |
| 68 | AGUS PULLAH | 5 | LP05 | 4.5 | 0.2 | 6 | 0.6 | 11.3 | |
| 68 | BERNARD REDJAUW | 2 | LP05 | 2.4 | 0.3 | 5.4 | 1 | 9.1 | |
| 68 | EDISON SITORUS | 2 | LP05 | 4.3 | 0.5 | 1.8 | 0.2 | 6.8 | |
| 69 | DEREK DAMAR | 2 | LP05 | 2.6 | 0.2 | 5.8 | 0.1 | 8.7 | |
| 69 | EDISON SITORUS | 3 | LP05 | 4.7 | 0.5 | 2.8 | 0.6 | 8.6 | |
| 69 | G. SROYER | 17 | LP05 | 4.2 | 0.8 | 3.6 | 0.4 | 9 | |
| 69 | No Operator | 1 | LP05 | 2.3 | 0.1 | 6.5 | 0.1 | 9 | |
| 70 | JACK NANLOHY | 1 | LP05 | 3.4 | 0.3 | 2.9 | 0.1 | 6.7 | |
| 70 | MAGAY DARIUS | 7 | LP05 | 4 | 0.2 | 3.5 | 0.9 | 8.6 | |
| 71 | HERMAN WAHID | 2 | LP05 | 4.4 | 0.1 | 2.7 | 0.6 | 7.8 | |
| 71 | MAGAY DARIUS | 1 | LP05 | 3.5 | 0.3 | 3.5 | 0.6 | 7.9 | |
| 78 | MELIANUS NAVIPA | 5 | LP05 | 3.6 | 0.3 | 6.9 | 1.6 | 12.4 | |
| 78 | SEFNAT RUMANSARA | 1 | LP05 | 3 | 1.8 | 0.2 | 0.1 | 5.1 | |
| 79 | MUKLIS ARBAIE | 3 | LP05 | 7 | 0.1 | 1.4 | 0.3 | 8.8 | |
| 79 | NIKODEMUS RUMBIK | 2 | LP05 | 3 | 0.4 | 6.9 | 0.1 | 10.4 | |
| 79 | RUMOPA NOLDIE | 3 | LP05 | 5.9 | 0.1 | 5.9 | 0 | 11.9 | |
| Subtotal | | | | 78 LP05 | 4.5 | 0.4 | 4.2 | 0.5 | 9.6 |

Ilustración 38. Planilla “Historical truck by LP 2006.xls”.

La información con la que se cuenta de los piques de traspaso, hace referencia al número de ciclos (pique – chancador) que se realizaron durante el año 2006 para cada pique, o sea, cuantifica cuántas veces un camión cargó mineral de un pique específico, además, de los tiempos de ciclo. No se cuenta con información de otro periodo

La información relevante para este trabajo y que se desprende de la Ilustración 38, es la cantidad de viajes que realizó cada camión a un pique específico, en un mes determinado. El tonelaje es calculado de acuerdo a la capacidad de la tolva de cada camión, la que es obtenida de la hoja de trabajo *production* (tabla IV) detallada anteriormente. El tonelaje es fijo y se define por 46 t/viaje.