



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS**

MEJORAS DE LA GESTIÓN DE PERFORACIÓN MINA CHUQUICAMATA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

ERIKA SOLANGE POLANCO HIDALGO

**PROFESOR GUÍA:
JUAN MONTES ABALLAY**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ERNESTO ARANCIBIA VILLEGAS
RENE LE-FEAUX CORTÉS**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Codelco División Chuquicamata

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas
POR: Erika Solange Polanco Hidalgo
FECHA: 21/07/2016
PROFESOR GUÍA: Juan Montes Aballay

MEJORAS DE LA GESTIÓN DE PERFORACIÓN MINA CHUQUICAMATA

El presente trabajo muestra iniciativas para mejorar la gestión de la operación de perforación de mina Chuquicamata de Codelco Norte, buscando optimizar el proceso productivo ante la constante caída en el precio del cobre. El estudio se centra en esta operación debido a la importancia de su implementación para generar resultados que permiten llevar a cabo los procesos aguas abajo sin dificultades.

Para esto, se recopilan datos históricos de los equipos de perforación, principalmente sus indicadores operacionales, en un período de evaluación de enero de 2012 a mayo de 2015. Para construir tres bases de datos (mensual, diaria y por turno) con la finalidad de identificar oportunidades de mejoras utilizando diferentes herramientas de gestión.

Dado lo que antecede, se concluye que la mayor pérdida de tiempo operativo se debe a las demoras no programadas, lo que afecta directamente la utilización efectiva de los equipos, además es primordial el cumplimiento del rendimiento efectivo de los equipos para lograr el programa de producción. Por ende, las iniciativas se centran en la identificación de las demoras no programadas principales, es decir, aquellas que en conjunto suman el 80% del total de las demoras no programadas, en la reducción de su duración resolviendo problemas de planificación y gestión, mediante seis propuestas, y la asignación de equipos en fases operativas que optimizan sus rendimientos efectivos.

Como resultado se tiene que es posible aumentar de 21.3 a 41.3 horas mensuales el tiempo efectivo, lo que se traduce en un incremento de 665 a 1,248 metros mensuales en equipos de precorte, mientras que en equipos de producción el tiempo efectivo aumenta en 70.6 a 162.2 horas y los metros mensuales de 2,101 a 4,535. Los resultados muestran que la probabilidad de cumplir con el plan de producción 2016 considerando que la utilización efectiva y el rendimiento efectivo cambian independientemente aumenta de 27% a 43% aplicando las mejoras. Se recomienda dejar el equipo 309 en estado stand-by, ya que posee un alto costo operacional y la probabilidad de cumplir el plan no varía significativamente, resultando una disminución de USD 43,796 mensuales.

Estas mejoras no generan gastos adicionales a la operación ya que hacen uso de los recursos disponibles, aumentan la probabilidad de dar cumplimiento al plan de producción, al logro de la utilización efectiva y el rendimiento efectivo, generando valor en la operación y en el proceso productivo.

**ABSTRACT OF THESIS SUBMITTED TO OPT
FOR THE DEGREE OF: Mining Engineer
BY: Erika Solange Polanco Hidalgo
DATE: Jul, 21th, 2016
GUIDANCE PROFESSOR: Juan Montes
Aballay**

IMPROVEMENTS IN DRILLING MANAGEMENT IN CHUQUICAMATA MINE

The present study shows initiatives to improve drilling operation management in Codelco Norte's Chuquicamata mine, seeking to optimize the productive chain facing the continuous decrease of copper price. The study is focused on this operation because of importance of its implementation to generate results that allow development of downstream processes without difficulties.

In order to do this, historical facts of drilling equipments are compiled, in an evaluation period January 2012 to May 2015. To build three databases (monthly, daily and per shift) in order to identify opportunities for improvement using different management tools.

Considering this, it is concluded that the largest loss of operational time is due to unscheduled delays, which affect directly the effective use of equipment. Besides, comply with the effective performance of equipment is very important to achieve the production program. Therefore, initiatives are focused on identifying major unscheduled delays i.e. those which together account for 80% of all unscheduled delays in reducing its duration solving planning and management problems through six proposals and assignment of equipment in operational phases that optimize their effective performances.

As a result, it is possible to increase from 21.3 to 41.3 hours per month the effective time, resulting in an increase of 665 to 1,248 monthly meters in wall control equipments, whereas in production equipments the effective time increases in 70.6 to 162.2 hours and monthly meters from 2,101 to 4,535. The results show that the probability to accomplish the production plan 2016 considering that effective use and effective performance change independently increases from 27% to 43% by applying the proposed improvements. It is recommended to keep equipment 309 in stand-by status, because it has a high operating cost and the probability to accomplish the production plan not vary significantly, resulting in a decrease of USD 43,796 per month.

These improvements do not generate additional costs to the operation because they make use of available resources, also they increase the probability to accomplish the production plan and to achieve both effective use and effective performance, creating value to the operation and the productive chain.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primera instancia a mis padres Lucy y Sergio que me han entregado su apoyo incondicional desde que era pequeña, gracias por entregarme su amor, por ser pacientes conmigo, por enseñarme a ser perseverante y humilde.

Gracias a mis hermanos Sergio y Hugo que siempre han estado conmigo disfrutando de alegrías y siendo mi soporte en los momentos más difíciles, sin su apoyo no estaría en esta instancia.

Agradecer a mi compañero de vida Rody que me ha apoyado siempre, que me ha acompañado en las buenas y en las malas, que siempre me motiva a seguir adelante, gracias por las muchas veces que te quedaste al lado mío cuando tenía que estudiar, gracias por tus preparaciones de café y tentempiés, gracias por ir a buscarme cada día cuando salía de los controles magistrales de plan común, sin ti el camino hubiese sido mucho más difícil.

Gracias a mi abuelita por estar siempre conmigo y apoyarme en mis sueños.

Gracias a mis sobrinos que amo con todo mi corazón: Claudia, Francisco, Estefany, Alexander, Macarena, Antonella y Mia Florencia, por su apoyo, sus alegrías, sus locuras, gracias por entender en los momentos que no pude estar junto a ustedes priorizando mi compromiso con la universidad.

Gracias a mis amigas desde plan común Marce, Dani y Xime por su amistad y compañerismo, gracias a mis amigos mineros Sibi, Rozu y Vale que han sido un apoyo fundamental éstos últimos años, gracias por compartir conmigo sus alegrías y tristezas, siempre los tendré en mi corazón.

Gracias a los que hicieron posible realizar este trabajo en mina Chuquicamata: Francisco Beltrán, Nelson Quinzacara, Sergio Segovia, Marcos Sarmientos, gracias a los que me acompañaron día a día y me enseñaron de sus experiencias de vida Rubén Bustamante, Antonio Colque y Sra. Aida.

Finalmente, gracias a los profesores Juan Montes, Ernesto Arancibia y René Lefeaux por sus comentarios y correcciones al trabajo realizado y ser partícipes de esta etapa universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. Introducción.....	1
1.1. Motivación del trabajo	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcances.....	2
CAPÍTULO 2. Antecedentes	4
2.1. Descripción de la faena.....	4
2.1.1. Fases operativas	5
2.1.2. Perforación	6
2.2. Sistema de turnos	8
2.3. Sistemas de recolección de datos.....	9
2.3.1. Sistema de gestión de perforación	9
2.3.2. Sistema MineOPS	9
CAPÍTULO 3. Revisión bibliográfica	10
3.1. Distribución de tiempo ASARCO.....	10
3.2. Indicadores operacionales y de gestión	11
3.3. Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard)	12
CAPÍTULO 4. Metodología	14
4.1. Selección período de evaluación	14
4.2. Recopilación y consolidación de datos.....	14
4.3. Construcción Balanced Scorecard	14
4.4. Análisis de datos	14
4.5. Iniciativas de gestión	14
4.6. Conclusiones y recomendaciones.....	15
CAPÍTULO 5. Construcción base de datos.....	16
CAPÍTULO 6. Identificación de oportunidades de mejoras	18
6.1. Creación cuadro de mando integral	18
6.2. Análisis de distribución de tiempos del modelo ASARCO.....	22
6.3. Análisis indicadores mensuales	23
6.4. Análisis factorial	30
CAPÍTULO 7. Iniciativas de gestión.....	36
7.1. Identificación de demoras no programadas principales	36
7.1.1. Espera sitio para perforar, espera marca/malla y espera de sello	40

7.1.2.	Traslado de perforadora	43
7.1.3.	Cambio de aceros.....	46
7.1.1.	Espera por tronadura.....	50
7.1.2.	Espera energía/combustible	51
7.1.3.	Espera de agua	51
7.1.4.	Revisión máquina	52
7.2.	Reducción de demoras no programadas	54
7.3.	Estimación del rendimiento efectivo para asignar equipos en fases operativas	59
CAPÍTULO 8.	Conclusiones.....	71
CAPÍTULO 9.	Glosario.....	74
CAPÍTULO 10.	Bibliografía	75
ANEXO A.	Geotecnia	76
A.1.	Unidades geotécnicas.....	76
A.1.1.	Granodiorita Fortuna (GDF)	76
A.1.2.	Zona de Cizalle Intenso (ZCI).....	76
A.1.3.	Zona de Cizalle Moderado (ZCM)	76
A.1.4.	Roca Cuarzo Sericita (RCS).....	77
A.1.5.	Pórfido Este Sericítico (PES).....	78
A.1.6.	Pórfido Este Potásico (PEK).....	78
A.1.7.	Pórfido Este Clorítico (PEC)	78
A.1.8.	Metasedimentos (MET)	78
A.1.9.	Granodiorita Elena Sur (GES)	79
A.1.10.	Lixiviada (LIX).....	79
A.1.11.	Brecha entre Falla (BEF).....	79
A.2.	Unidades geotécnicas principales por fase operativa	81
A.2.1.	Fase 42 (Banco 2219).....	82
A.2.2.	Fase 49 (Banco 2705).....	83
A.2.3.	Fase 50 (Banco 2866).....	85
A.2.4.	Fase 49B (Banco 3019).....	86
ANEXO B.	Perforación y Tronadura.....	86
B.1.	Características técnicas de los equipos de perforación	86
B.2.	Tronadura	88
B.2.1.	Tronadura Controlada	88
B.2.2.	Tronadura de Producción	89
B.3.	Informe diario de perforación	90
B.4.	Cálculo de equipos mina Chuquicamata.....	90

B.4.1.	Primera parte: Geotecnia	90
B.4.2.	Segunda parte: Planificación mediano plazo.....	91
ANEXO C.	Comparación Sistema MineOPS (Jigsaw) y AIDP	94
ANEXO D.	Bases de datos.....	97
D.1.	Base de datos mensual.....	97
D.2.	Base de datos por turno.....	118
D.2.1.	Reducción del período de evaluación	119
D.2.2.	Recopilación y consolidación de datos.....	120
D.2.3.	Programa en Matlab	123
D.2.4.	Histogramas demoras no programadas	125
D.3.	Base de datos diaria	144
D.3.1.	Rendimiento efectivo por fase	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases operativas mina Chuquicamata (Fuente: Creación propia).....	5
Tabla 2. Equipos de perforación de mina Chuquicamata.....	8
Tabla 3. Distribución de tiempo ASARCO.....	10
Tabla 4. Tablero balanceado de Balanced Scorecard.....	19
Tabla 5. Disponibilidad promedio por flota.....	27
Tabla 6. Utilización operativa promedio por flota.....	27
Tabla 7. utilización efectiva promedio por flota.....	28
Tabla 8. Demoras programadas y no programadas base disponible promedio por flota	29
Tabla 9. Rendimiento efectivo promedio por flota.....	29
Tabla 10. reducción de demoras no programadas para equipos de control de pared...53	
Tabla 11. Reducción de demoras no programadas para equipos de producción.....	54
Tabla 12. Consideraciones de equipos de control de pared para cálculo de reducción de demoras.....	55
Tabla 13. Consideraciones de equipos de producción para cálculo de reducción de demoras no programadas.....	56
Tabla 14. Promedio mensual de reducción de demoras no programadas.....	56
Tabla 15. Resultados de mejorar la utilización efectiva.....	57
Tabla 16. Indicadores operacionales de equipos de control de pared considerados....	57
Tabla 17. Indicadores operacionales de equipos de producción considerados.....	58
Tabla 18. Ponderadores de cada unidad geotécnica por fase operativa.....	62
Tabla 19. Rendimiento efectivo de cada equipo por fase operativa [m/h efectiva].....	65
Tabla 20. Resultados de mejorar el rendimiento efectivo.....	67
Tabla 21. Costos de operación por tipos de equipos.....	68
Tabla 22. Propiedades de las unidades geotécnicas (Fuente: Departamento de Geotecnia mina Chuquicamata).....	80
Tabla 23. Calidad de la roca según resistencia a la compresión uniaxial (Fuente: Departamento de Geotecnia mina Chuquicamata).....	81
Tabla 24. Características técnicas de las perforadoras (Fuente: Manuales de operación)	87
Tabla 25. Consideraciones geotécnicas para malla de perforación.....	91
Tabla 26. Estados de los equipos y sus descripciones.....	118
Tabla 27. Clasificación de los meses según indicadores operativos.....	119
Tabla 28. Frecuencia de clasificación de los meses.....	120
Tabla 29. Turnos con tiempo efectivo negativo modificados.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación fases operativas mina Chuquicamata (Fuente: Pre-semanal de Perforación y tronadura).....	6
Ilustración 2. Esquema proveedor-proceso-cliente de perforación.....	7
Ilustración 3. Esquema costo mina desglosado	7
Ilustración 4. Tablero balanceado del Balanced Scorecard (Fuente: Norton, 2007)	13
Ilustración 5. Ejemplo base de datos mensual	17
Ilustración 6. Base de datos por turno	17
Ilustración 7. Árbol de decisión para el traslado de equipos de producción con uso de cama baja.....	44
Ilustración 8. Árbol de decisión para traslado de equipos de producción sin uso de cama baja	45
Ilustración 9. Árbol de decisión para traslado de equipos de control de pared con uso de cama baja.....	45
Ilustración 10. Árbol de decisión para traslado de equipos de control de pared sin uso de cama baja.....	46
Ilustración 11. Reporte de aceros que entrega plataforma Totalview.....	48
Ilustración 12. Árbol de decisión para cambio de aceros	50
Ilustración 13. Unidades geotécnicas del yacimiento (Fuente: Departamento de Geotecnia mina Chuquicamata)	80
Ilustración 14. Simbología unidades geotécnicas.....	81
Ilustración 15. Unidades geotécnicas Fase 42 Banco 2219.....	82
Ilustración 16. Unidades geotécnicas Fase 49E Banco 2705	83
Ilustración 17. Unidades geotécnicas Fase 49N Banco 2705	84
Ilustración 18. Unidades geotécnicas Fase 50 Banco 2866.....	85
Ilustración 19. Unidades geotécnicas Fase 49B Banco 3019	86
Ilustración 20. Informe diario de perforación	90
Ilustración 21. Ejemplo análisis factorial.....	117
Ilustración 22. Ejemplo reporte "Detalle tiempos de perforación"	121
Ilustración 23. Ejemplo documento nuevo generado.....	122
Ilustración 24. Demoras no programadas por turno, considerando equipos de producción	125
Ilustración 25. Demoras no programadas por turno, considerando equipos de control de pared	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución estados c/r tiempo nominal, equipos de producción	22
Gráfico 2. Distribución estados c/r tiempo nominal, equipos control pared	23
Gráfico 3. Disponibilidad flota roc L8.....	24
Gráfico 4. Disponibilidad flota pit viper	24
Gráfico 5. Disponibilidad flota DMH 2.....	25
Gráfico 6. Disponibilidad flota 49 HR.....	25
Gráfico 7. Disponibilidad flota DR 560.....	26
Gráfico 8. Disponibilidad flota T4 BH.....	26
Gráfico 9. Análisis factorial febrero, equipos de producción.....	30
Gráfico 10. Análisis factorial marzo, equipos de producción	31
Gráfico 11. Análisis factorial marzo, equipos de control de pared.....	32
Gráfico 12. Análisis factorial abril, equipos de producción	33
Gráfico 13. Análisis factorial abril, equipos de control de pared.....	33
Gráfico 14. Análisis factorial mayo, equipos de producción	34
Gráfico 15. Análisis factorial mayo, equipos de control de pared.....	35
Gráfico 16. Promedio de la duración de las demoras no programadas por turno, equipos de producción.....	37
Gráfico 17. Promedio de la duración de las demoras no programadas por turno, equipos de control de pared	37
Gráfico 18. Promedio de la duración de las demoras no programadas por día, equipos de producción.....	38
Gráfico 19. Promedio de la duración de las demoras no programadas por día, equipos de control pared	38
Gráfico 20. Promedio de la duración de las demoras no programadas por mes, equipos de producción.....	39
Gráfico 21. Promedio de la duración de las demoras no programadas por mes, equipos de control pared	39
Gráfico 22. reporte de avance de equipo de perforación en terreno	43
Gráfico 23. Rendimiento efectivo por equipo, fase 42.....	60
Gráfico 24. Rendimiento efectivo por equipo, fase 49.....	61
Gráfico 25. Rendimiento efectivo por equipo, fase 50.....	61
Gráfico 26. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 361.....	63
Gráfico 27. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 362.....	63
Gráfico 28. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 365.....	63
Gráfico 29. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 366.....	64
Gráfico 30. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 367.....	64
Gráfico 31. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 381.....	64
Gráfico 32. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 382.....	65
Gráfico 33. Metros versus costos/m, equipos de control de pared.....	69
Gráfico 34. Metros versus costo/m, equipos de producción	69
Gráfico 35. Metros versus costos/m, equipos T4 BH	70
Gráfico 36. Comparación promedio mensual rendimiento efectivo	94
Gráfico 37. Comparación promedio mensual disponibilidad	94
Gráfico 38. Comparación promedio mensual utilización efectiva	95
Gráfico 39. Comparación promedio mensual metros perforados	95
Gráfico 40. Comparación promedio mensual horas efectivas	96

Gráfico 41. Comparación promedio mensual demoras no programadas	96
Gráfico 42. Cantidad de equipos por período de tiempo	97
Gráfico 43. Utilización operativa flota Roc L8.....	98
Gráfico 44. Utilización operativa flota DR 560	98
Gráfico 45. Utilización operativa flota Pit Viper.....	98
Gráfico 46. Utilización operativa flota DMH 2	99
Gráfico 47. Utilización operativa flota 49 HR	99
Gráfico 48. Utilización operativa flota T4 BH	99
Gráfico 49. Reservas base disponible flota Roc L8.....	100
Gráfico 50. Reservas base disponible flota DR 560	100
Gráfico 51. Reservas base disponible flota Pit Viper.....	101
Gráfico 52. Reservas base disponible flota DMH 2	101
Gráfico 53. Reservas base disponible flota 49 HR	101
Gráfico 54. Reservas base disponible flota T4 BH	102
Gráfico 55. Utilización efectiva flota Roc L8	102
Gráfico 56. Utilización efectiva flota DR 560	102
Gráfico 57. Utilización efectiva flota Pit Viper	103
Gráfico 58. Utilización efectiva flota DMH 2	103
Gráfico 59. Utilización efectiva flota 49 HR	103
Gráfico 60. Utilización efectiva flota T4 BH	104
Gráfico 61. Demoras programadas base disponible flota Roc L8	104
Gráfico 62. Demoras programadas base disponible flota DR 560.....	104
Gráfico 63. Demoras programadas base disponible flota Pit Viper	105
Gráfico 64. Demoras programadas base disponible flota DMH 2.....	105
Gráfico 65. Demoras programadas base disponible flota 49 HR.....	105
Gráfico 66. Demoras programadas base disponible flota T4 BH.....	106
Gráfico 67. Demoras no programadas base disponible flota Roc L8	106
Gráfico 68. Demoras no programadas base disponible flota DR 560.....	106
Gráfico 69. Demoras no programadas base disponible flota Pit Viper	107
Gráfico 70. Demoras no programadas base disponible flota DMH 2.....	107
Gráfico 71. Demoras no programadas base disponible flota 49 HR.....	107
Gráfico 72. Demoras no programadas base disponible flota T4 BH.....	108
Gráfico 73. Rendimiento efectivo flota Roc L8	108
Gráfico 74. Rendimiento efectivo flota Dr 560	108
Gráfico 75. Rendimiento efectivo flota Pit Viper	109
Gráfico 76. Rendimiento efectivo flota DMH 2.....	109
Gráfico 77. Rendimiento efectivo flota 49 HR.....	110
Gráfico 78. Rendimiento efectivo flota T4 BH.....	110
Gráfico 79. Disponibilidad de equipos de producción.....	111
Gráfico 80. Disponibilidad de flota T4 BH.....	111
Gráfico 81. Disponibilidad de equipos de control de pared	112
Gráfico 82. Utilización efectiva de equipos de producción	112
Gráfico 83. Utilización efectiva de flota T4BH	113
Gráfico 84. Utilización efectiva de equipos de control de pared	113
Gráfico 85. Rendimiento efectivo de equipos de producción	114
Gráfico 86. Rendimiento efectivo de flota T4 BH.....	114
Gráfico 87. Rendimiento efectivo de equipos de control de pared	115
Gráfico 88. Histrograma utilización efectiva equipos de producción	115

Gráfico 89. Histograma utilización efectiva equipos de control de pared	116
Gráfico 90. Histograma promedio rendimiento mensual equipos de producción.....	116
Gráfico 91. Histogramas demora espera sitio para perforar por turno, equipos precorte	127
Gráfico 92. Histogramas demora espera sitio para perforar por turno, equipos producción	128
Gráfico 93. Histogramas demora traslado de perforadora por turno, equipos precorte	129
Gráfico 94. Histogramas demora traslado de perforadora por turno, equipos producción	130
Gráfico 95. Histogramas demora revisión máquina por turno, equipos precorte.....	131
Gráfico 96. Histogramas demora revisión máquina por turno, equipos producción	132
Gráfico 97. Histogramas demora espera marca/malla por turno, equipos precorte	133
Gráfico 98. Histogramas demora espera marca/malla por turno, equipos producción	134
Gráfico 99. Histogramas demora cambio de aceros por turno, equipos precorte.....	135
Gráfico 100. Histogramas demora cambio de aceros por turno, equipos producción .	136
Gráfico 101. Histogramas demora espera combustible por turno, equipos precorte...	137
Gráfico 102. Histogramas demora espera energía por turno, equipos producción	138
Gráfico 103. Histogramas demora espera de sello por turno, equipos precorte.....	139
Gráfico 104. Histogramas demora espera de sello por turno, equipos producción	140
Gráfico 105. Histogramas demora espera de agua por turno, equipos precorte	141
Gráfico 106. Histogramas demora espera de agua por turno, equipos producción.....	142
Gráfico 107. Histogramas demora espera tronadura por turno, equipos precorte.....	143
Gráfico 108. Histogramas demora espera tronadura por turno, equipos producción ..	143
Gráfico 109. Dispersión rendimiento efectivo vs bancos, fase 42	144
Gráfico 110. Dispersión rendimiento efectivo vs bancos, fase 49	145
Gráfico 111. Dispersión rendimiento efectivo vs bancos, fase 50	145
Gráfico 112. Histogramas rendimiento efectivo por equipo, fase 42	146
Gráfico 113. Histogramas rendimiento efectivo por equipo, fase 49	146
Gráfico 114. Histogramas rendimiento efectivo por equipo, fase 50	147
Gráfico 115. Distribución de probabilidad rendimiento efectivo por equipo, fase 42 ...	147
Gráfico 116. Distribución de probabilidad rendimiento efectivo por equipo, fase 49 ...	148
Gráfico 117. Distribución de probabilidad rendimiento efectivo por equipo, fase 50 ...	148
Gráfico 118. Histograma rendimiento efectivo equipo 362 fase 42	149
Gráfico 119. Histograma rendimiento efectivo equipo 362 fase 49	149

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo disponibilidad	11
Ecuación 2. Cálculo utilización	11
Ecuación 3. Cálculo utilización efectiva.....	11
Ecuación 4. Cálculo utilización operativa	12
Ecuación 5. Porcentaje de reservas/BD.....	12
Ecuación 6. Cálculo rendimiento efectivo.....	12
Ecuación 7. Porcentaje de demoras programadas/BD.....	12
Ecuación 8. Porcentaje de demoras no programadas/BD.....	12
Ecuación 9. Condición que indica color amarillo en cambio de aceros	49
Ecuación 10. Condición que indica color rojo en cambio de aceros.....	49
Ecuación 11. Condición que indica color verde en cambio de aceros.....	49
Ecuación 12. Disminución de tiempo de cada demora en el mes	54
Ecuación 13. Número de pozos de precorte, 1ra fila buffer y 2da fila buffer	91
Ecuación 14. Metros a perforar de precorte, 1ra fila y 2da fila buffer	91
Ecuación 15. Metros anuales a perforar por fase	91
Ecuación 16. Metros control de pared mensuales por fase.....	92
Ecuación 17. Metros lineales de control de pared mensuales por fase.....	92
Ecuación 18. Tonelaje a extraer mensualmente por fase para control de pared.....	92
Ecuación 19. Tonelaje de mineral/estéril por metro	92
Ecuación 20. Metros de producción mensuales mineral/estéril por fase	92
Ecuación 21. Metros de producción mensuales por fase	93

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el rubro minero se ve enfrentado a nuevos desafíos debido a la caída en el precio del cobre, escasez de agua en zonas mineras en el norte de Chile, disminución en las leyes medias de los yacimientos, etc. Para contrastar este escenario, es importante optimizar los procesos productivos y disminuir los costos asociados a éstos, de esta forma hacer que el negocio sea sostenible en el tiempo, manteniendo los estándares de seguridad.

Ante la disminución del precio del cobre el presidente ejecutivo de Codelco, Nelson Pizarro, junto a los vicepresidentes de operaciones norte, centro-sur y el vicepresidente de administración y finanzas, dan a conocer un plan de contención de costos y aumento de la productividad, esta medida permitirá a la empresa ahorros por US\$ 1,000 millones durante el 2015 y un aumento de producción de 35,000 toneladas de cobre fino respecto al año 2014, a nivel corporativo.

La responsabilidad de cumplir esta medida, recae principalmente en el proceso minero de las diferentes Divisiones de Codelco, es por esto, que en todas las operaciones unitarias se exigen nuevas metas con respecto a contención de costos y aumento de productividad, por lo tanto, es necesario ir agregando valor a éstas, dar continuidad al proceso buscando un mejoramiento continuo, y ligar la estrategia de la empresa a largo plazo con las acciones que se realizan en el corto plazo.

Para identificar dónde enfocar las iniciativas de mejoras en este trabajo se aplica de forma teórica un modelo de gestión llamado Balanced Scorecard, se realiza un análisis de la distribución de los tiempos del modelo ASARCO y un análisis factorial de los indicadores operacionales.

Este estudio es realizado específicamente para la operación de perforación, y busca mejorar su gestión eliminando tiempos perdidos, mejorando el rendimiento de los equipos, etc. con el objetivo de cumplir las metas propuestas por Gerencia Mina que van ligadas a las de la empresa.

1.1. Motivación del trabajo

La primera etapa del proceso productivo minero, es la operación unitaria de perforación. Una implementación correcta de ésta es fundamental para generar resultados acordes a lo que esperan las operaciones aguas abajo del proceso productivo. Una mala implementación puede generar problemas de sobrepisos, sobreexcavación, cambios no deseados en la granulometría, como bolones, provocando problemas en los rendimientos de los equipos de carguío, menor rendimiento en molienda si la granulometría es muy fina, daños en mecanismos de transporte de los equipos cuando

los pisos resultan desnivelados, etc. En conclusión, una buena ejecución de esta etapa y sin retrasos permite generar valor en el proceso productivo y dar cumplimiento al programa de producción.

Este trabajo se realiza con la finalidad de alcanzar nuevas metas propuestas bajo el escenario actual, identificando las mejoras que se pueden realizar en el proceso, estableciendo cuáles son los requerimientos de las operaciones siguientes y áreas que dependan de éste bajo una relación de tipo proveedor-cliente, que permita llevar a cabo un mejoramiento continuo del proceso y enfocar el trabajo a la estrategia que tiene la Superintendencia de Perforación y Tronadura.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Generar y/o detectar instancias de mejoramiento dentro de la operación de perforación basado en la experiencia de la mina Chuquicamata.

1.2.2. Objetivos específicos

Análisis de datos utilizando herramientas de gestión como Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y análisis de distribución de tiempos.

Uso de modelo de gestión Balanced Scorecard para analizar situación actual y detectar oportunidades de mejoras.

Evaluación de cumplimiento del programa de producción 2016 (metros perforados) preparado por planificación de mediano plazo.

Identificar cómo y cuánto afecta el cambio de los indicadores operacionales a la producción (metros perforados) de los equipos de perforación.

1.3. Alcances

El estudio se enfoca exclusivamente en la operación de perforación de mina Chuquicamata.

El primer horizonte de evaluación es mensual desde enero 2012 a mayo 2015, mientras que un análisis detallado diario comprende los meses de marzo, mayo y agosto de los años 2012 a 2015.

Debido a que las perforadoras 309 y 310 pertenecientes a la flota T4 BH son neumáticas, sus características técnicas difieren del resto de los equipos, provocando diferencias operacionales entre éstos. Por ende, se dejan fuera del estudio salvo en los análisis de sus indicadores y cumplimiento del programa de producción.

No se considera dentro del estudio la perforadora 602 correspondiente a un equipo arrendado debido a que no se tiene información de sus indicadores operacionales.

Sólo se lleva a cabo la etapa de creación del tablero de gestión del Balanced Scorecard, dejando fuera las posteriores, ya que no corresponde al objetivo principal del estudio.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1. Descripción de la faena

El complejo minero de Chuquicamata está ubicado a 1,650 kilómetros al norte de Santiago de Chile, a 2,870 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con dos minas, Chuquicamata y Mina Sur, donde el método de explotación es a rajo abierto, existen aproximadamente 9,342 millones de toneladas de recursos con ley media 0.54% de cobre total, que representan 50,381 kt de cobre fino contenido, con ley de corte sobre 0.2%. La producción de Chuquicamata es de unas 340,000 toneladas de cátodos electrorefinados y electroobtenidos con una pureza de 99.99% de Cu, también produce molibdeno, barras anódicas y ácido sulfúrico.

La mina Chuquicamata actualmente extrae sulfuros de cobre a través de un sistema de explotación a cielo abierto, sus dimensiones son 5 km de largo y 3 km de ancho. La explotación vía rajo perdurará hasta aproximadamente el año 2018, ya que el costo de transporte de mineral ha aumentado con el correr de los años debido a las grandes distancias que deben recorrer los camiones. Consecuencia de la profundidad que ha alcanzado el rajo de aproximadamente un kilómetro.

Actualmente, el movimiento total de la mina es de 412 ktpd con una ley de cobre total de 0.80%, una REM de 2.7, y una alimentación a planta de 107.5 ktpd. Con respecto al diseño minero los bancos van desde 15 m a 18 m de altura, dependiendo de la fase y banco.

Paralelamente se lleva a cabo el desarrollo del proyecto estructural “Mina Chuquicamata Subterránea” que representa parte importante del futuro de Codelco y la División, y que consiste en la transformación del rajo abierto más grande del mundo en una gigante operación subterránea que permitirá explotar parte de los recursos que quedarán bajo el actual yacimiento.

Bajo el rajo se han cuantificado cerca de 1,700 millones de toneladas en reservas de mineral de cobre (ley 0.7%) y molibdeno (502 ppm), que representan más de 60% de lo explotado en los últimos 90 años. La opción técnica y económica aconseja explotar esas reservas a través de la construcción de una mina subterránea, que será una de las más grandes, modernas y eficientes del mundo.

El proyecto considera una explotación por medio de macro bloques, con el método de explotación “Block Caving”, en una mina subterránea que comprende cuatro niveles de producción; un túnel de acceso principal de 7.5 km; cinco rampas de inyección de aire limpio, y dos piques de extracción de aire, entre muchas otras obras. Asimismo, prevé

una tasa de producción en régimen de 140,000 toneladas de mineral por día, lo que significará una producción de 366,000 toneladas de cobre fino y más de 18,000 toneladas de molibdeno fino al año.

En la mina se realizan las cuatro operaciones unitarias Perforación, Tronadura, Carguío y Transporte, además de poseer equipos de servicios que son utilizados para preparación de sellos para carguío, construcción, habilitación y mantención de caminos, accesos, áreas de operación y rampas, mantención de botaderos, drenaje, entre otras actividades.

Los procesos productivos están compuestos de chancador primario, chancado fino, molienda, flotación colectiva, planta de molibdeno, tostación, tranque de relaves y recuperación de aguas

2.1.1. Fases operativas

Actualmente, se encuentran cuatro fases operativas y una que se reincorpora a fines de 2015 que es la fase 46.

TABLA 1. FASES OPERATIVAS MINA CHUQUICAMATA (FUENTE: CREACIÓN PROPIA)

Tipo de material	Fases operativas
Lastre	42 y 49
Mineral	42 y 49
Descarga	50 y 49B

Sacar mineral o estéril de las Fases 42 y 49 depende de la ubicación con respecto a la falla Oeste, en la Fase 49 al norte de la falla hay mineral y al sur material estéril, en cambio en la Fase 42 al norte de la falla hay estéril y al sur mineral.

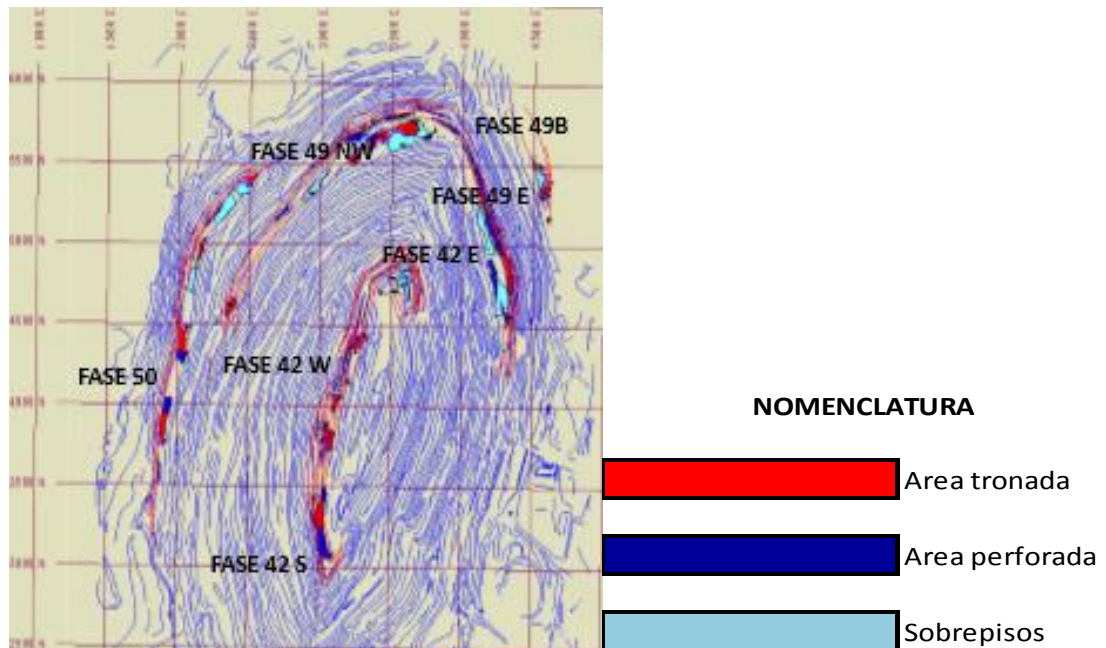


ILUSTRACIÓN 1. UBICACIÓN FASES OPERATIVAS MINA CHUQUICAMATA (FUENTE: PRE-SEMANAL DE PERFORACIÓN Y TRONADURA)

2.1.2. Perforación

El objetivo del proceso de perforación es generar un hueco cilíndrico dentro de la roca que será removida, que corresponde a un pozo de perforación, en los cuales posteriormente se introduce el explosivo para ser detonado. El cliente más cercano a esta operación, es la tronadura, si los tiros no cumplen las especificaciones que establece esta aumenta la probabilidad de fracaso en la calidad de la tronadura, lo que desencadenaría un grave problema en cuanto a operación, costos y producción.

Las etapas que constituyen el ciclo de la operación de perforación son:

1. Diseño y programación de la ubicación de los pozos a perforar (malla, profundidad, diámetro e inclinación), es realizado por el área de tronadura
2. Preparación de la zona de trabajo (generar acceso y limpieza de sello), realizada por el área de servicios mina de movimiento de tierra.
3. Ingreso de malla de perforación a Sistema MineOPS o marcar en terreno (topografía), llevado a cabo por áreas de tronadura y topografía
4. Selección de los aceros a utilizar
5. Traslado y posicionamiento de equipos
6. Perforación de cada pozo
7. Muestreo de detritus, realizado por área de geología
8. Verificación de la calidad y cantidad de tiros perforados
9. Retiro del equipo del sector

A continuación, se muestra un esquema de los proveedores y clientes del proceso de perforación.



ILUSTRACIÓN 2. ESQUEMA PROVEEDOR-PROCESO-CLIENTE DE PERFORACIÓN

El costo de la operación es bajo en comparación con los procesos de carguío, transporte y mantenimiento mina, a continuación se muestra un desglose de los costos asociados a cada operación dentro del costo mina de Gerencia Mina Chuquicamata.

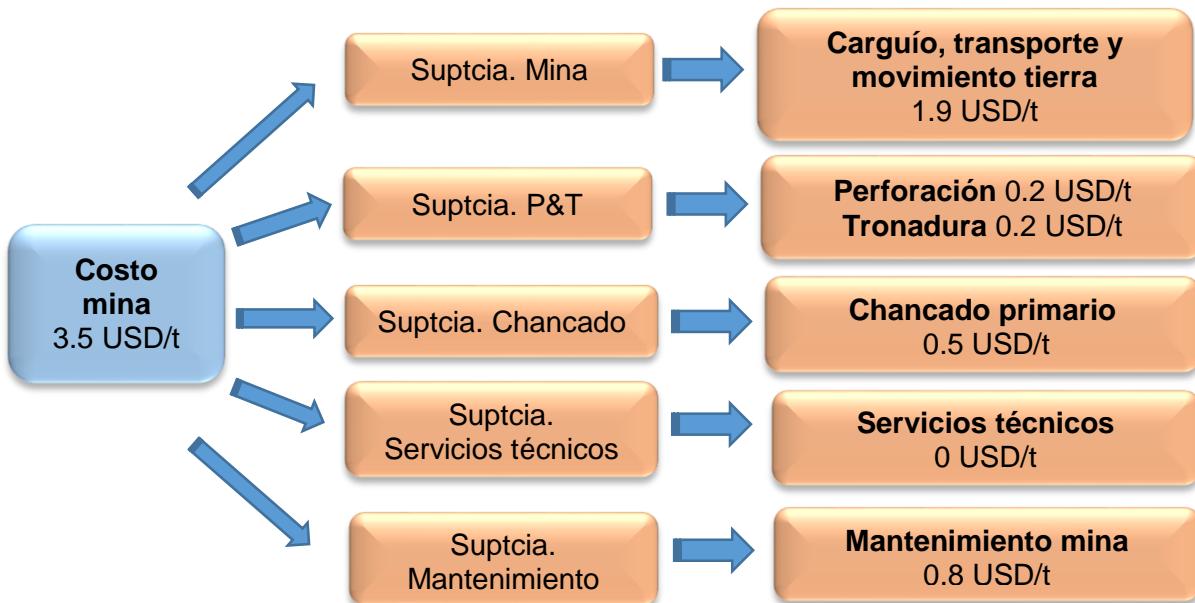


ILUSTRACIÓN 3. ESQUEMA COSTO MINA DESGLOSADO

Del esquema anterior se observa que el costo operacional de perforación representa un 6% del costo mina, el cual es muy bajo en comparación con los procesos de carguío, transporte y movimiento tierra con un 52%, y mantenimiento mina con un 22%. Sin embargo, sigue siendo importante su estudio debido a que si existe una falla en la operación esta genera dificultades en los procesos aguas abajo.

La perforación en mina Chuquicamata es llevada a cabo por la aplicación de energía a través del método mecánico mediante tres posibles acciones: percusión, rotación y el conjunto de éstas.

Existen tres tipos de perforaciones en terreno: producción, amortiguadas o búffer y precorte, los equipos utilizados en producción usan un sistema de perforación por rotación, es decir, que penetran la roca por la acción de dos procesos que ocurren en conjunto, un alto torque de rotación y una gran fuerza de empuje aplicada a la superficie rocosa. Mientras que los equipos de precorte son de menor tamaño, diésel y su sistema de perforación es por roto percusión, el cual rompe la roca por el efecto de impactos sucesivos de alta frecuencia y gran energía, que se combinan con un giro o rotación entre golpes, de modo que la roca presente siempre una superficie nueva que impactar, evitando de esta forma que la herramienta se atasque o entierre. Para perforaciones amortiguadas o búffer se utilizan equipos down the hole (DTH) de percusión neumática, su fuente de energía es aire comprimido y sus componentes se acoplan en el siguiente orden, unidad de rotación, columna de barras, máquina perforadora o martillo y herramienta (bit).

TABLA 2. EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE MINA CHUQUICAMATA

Método Mecánico	Modelo	N° de equipos	N° interno	Empresa
Equipos de Producción				
Rotación	Pit Viper	2	361 y 362	Atlas Copco
	DMH 2	3	365 a 367	Atlas Copco
	49 HR	2	381 y 382	Bucyrus
Equipos de Precorte				
DTH	DR 560	5	313 a 317	Sandvik
DTH	Roc L8	9	300 a 308	Atlas Copco
Equipos de Producción y Amortiguada				
DTH	T4 BH	2	309 y 310	Atlas Copco
DTH		1	602	Sandvik

El equipo con número interno 602, corresponde a una perforadora arrendada y los equipos 300 a 308, 310 y 382, no se encuentran dentro de la operación actualmente.

2.2. Sistema de turnos

Dependiendo de la función y cargo que se desempeña existen diferentes sistemas de turnos, entre algunos se tiene:

- **Operadores** : Sistema de turno de 8 horas, turno A de 05.00 – 13.00 horas, turno B de 13.00 – 21.00 horas y turno C de 21.00 – 05.00 horas, trabajando 7x1, 7x2 y 7x4.
- **Ingenieros de perforación** : Sistema de turno de 12 horas, turnos de 07.00 – 19.00 horas, trabajando 7x7.
- **Supervisores** : Sistema de turno de 12 horas, turnos de 07.00 – 19.00 horas, trabajando 4x3.

2.3. Sistemas de recolección de datos

Los sistemas de recolección de datos usados en perforación son el sistema de gestión de perforación (AIDP) y el sistema MineOPS.

2.3.1. Sistema de gestión de perforación

La recolección de datos se realiza a través de un reporte, el cual es completado por el operador especialista durante el turno de trabajo. Luego, éste es ingresado manualmente por un encargado a la plataforma virtual. No es posible ver la información de los indicadores en línea, ya que este lleva un retraso de aproximadamente dos días, en algunos casos es mayor ya que el fin de semana no son ingresados, ver página 90.

2.3.2. Sistema MineOPS

MineOPS es un sistema de navegación de alta precisión que se encuentra instalado en todos los equipos de producción, excepto las perforadoras T4 BH. Permite obtener información en línea de los indicadores operacionales de los equipos mediante la plataforma TotalView, la información es ingresada por los operadores mediante una pantalla touch que muestra una interfaz gráfica con los diferentes estados en que puede permanecer el equipo.

CAPÍTULO 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Distribución de tiempo ASARCO

Para medir el desempeño de los equipos es primordial establecer en qué estados operacionales se encuentran durante un período de evaluación, con este desglose de tiempos se procede a calcular los índices operacionales que nos permiten evaluar y controlar su gestión para alcanzar las metas programadas.

En mina Chuquicamata la escala de tiempo utilizada corresponde a la norma ASARCO (American Smelting & Refining Co.), que corresponde al marco de referencia para la definición de indicadores operacionales y distribución de los tiempos y estados, como se observa en la Tabla 3.

TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO ASARCO

Tiempo Nominal				
Disponibile			Fuera de Servicio	
			Mantenciones Programadas	Imprevistos
Operativo			Reserva	
Efectivo	Pérdidas Operacionales	Demoras		
		Programadas	No Programadas	

- **Nominal:** Tiempo total del período de medición, no considera días inhábiles.
- **Disponibile:** Tiempo en que el equipo está habilitado y en buenas condiciones electromecánicas para operar.
- **Operativo:** Tiempo en que el equipo se encuentra entregada a su operador, en condiciones electromecánicas de cumplir su objetivo o función de diseño y con una tarea asignada.
- **Efectivo:** Corresponde a las horas en que el equipo está funcionando y cumpliendo su objetivo de diseño.
- **Fuera de Servicio:** Tiempo en que el equipo no se encuentra disponible para realizar sus funciones por presentar fallas en sus sistemas o por ser entregado a mantención o reparación. Se divide en **imprevistos** y **mantenciones programadas**.

- **Reservas:** Tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado para trabajar, pero que no está siendo utilizado en operación.
- **Pérdidas Operacionales:** Son los tiempos operativos en los cuales el equipo no está cumpliendo las labores para el cual fue diseñado por motivos ajenos a su funcionamiento intrínseco.

En el caso de los equipos de perforación en mina Chuquicamata, la pérdida operacional corresponde al tiempo de limpieza de pozo, que según análisis posteriores tiende a cero, por lo tanto, no son consideradas en el cálculo de indicadores.

- **Demoras:** Son las interrupciones acontecidas en el proceso productivo, se dividen en demoras **programadas**, que están presentes turno a turno en la operación y **no programadas**, que pueden o no estar presentes en la operación.

3.2. Indicadores operacionales y de gestión

Disponibilidad mecánica: Porcentaje de tiempo en que el equipo se encuentra en condiciones de operar.

$$\text{Disponibilidad [\%]} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo nominal}} \times 100$$

ECUACIÓN 1. CÁLCULO DISPONIBILIDAD

Utilización : Porcentaje que describe la utilización real del equipo.

$$\text{Utilización [\%]} = \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo nominal}} \times 100$$

ECUACIÓN 2. CÁLCULO UTILIZACIÓN

Utilización efectiva (UEBD): Representa el uso efectivo del activo en función del tiempo disponible.

$$\text{Utilización efectiva [\%]} = \frac{\text{Tiempo efectivo}}{\text{Tiempo disponible}} \times 100$$

ECUACIÓN 3. CÁLCULO UTILIZACIÓN EFECTIVA

Utilización operativa : Representa el uso operativo del activo en función del tiempo que estuvo en condiciones mecánicas de realizar su labor.

$$Utilización\ operativa\ [\%] = \frac{Tiempo\ operativo}{Tiempo\ disponible} \times 100$$

ECUACIÓN 4. CÁLCULO UTILIZACIÓN OPERATIVA

Reservas : Porcentaje de tiempo en que el equipo no está siendo utilizado en la operación y se encuentra en condiciones para operar.

$$Porc.\ Reservas/BD\ [\%] = \frac{Tiempo\ de\ reservas}{Tiempo\ disponible} \times 100$$

ECUACIÓN 5. PORCENTAJE DE RESERVAS/BD

Rendimiento efectivo : Corresponde al avance del equipo de perforación, expresado en metros, en una hora efectiva de tiempo.

$$Rendimiento\ efectivo\ \left[\frac{metros}{hora\ efectiva} \right] = \frac{Metros\ perforados}{Tiempo\ efectivo}$$

ECUACIÓN 6. CÁLCULO RENDIMIENTO EFECTIVO

Porcentaje de demoras programadas : Indica el porcentaje del tiempo disponible del activo en que este se presenta en demora programada.

$$Porc.\ Demoras\ programadas/BD\ [\%] = \frac{Demoras\ programadas}{Tiempo\ disponible} \times 100$$

ECUACIÓN 7. PORCENTAJE DE DEMORAS PROGRAMADAS/BD

Porcentaje de demoras no programadas : Indica el porcentaje del tiempo disponible del activo en que este se presenta en demora no programada.

$$Porc.\ Demoras\ no\ programadas/BD\ [\%] = \frac{Demoras\ no\ programadas}{Tiempo\ disponible} \times 100$$

ECUACIÓN 8. PORCENTAJE DE DEMORAS NO PROGRAMADAS/BD

3.3. Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard)

El cuadro de mando integral o Balanced Scorecard (BSC), es un modelo de gestión que traduce la estrategia y la misión de una organización en un amplio conjunto de medidas de desempeño/actuación, proporcionando la estructura necesaria para la puesta en práctica de un sistema de gestión y medición estratégica (Cifuentes Ceballos & Muñoz Pérez, 2010).

El Balanced Scorecard no solo se apoya en mediciones financieras de corto plazo como los únicos indicadores del desempeño de la compañía sino que también permite introducir cuatro nuevos procesos de gestión que, separadamente y en combinación, contribuyen a vincular los objetivos estratégicos a largo plazo con las acciones de corto plazo.

Considerando las relaciones causales entre las cuatro perspectivas es posible realizar un tablero balanceado dónde se define en cada perspectiva los objetivos, indicadores, metas, responsables e iniciativas que se van a tomar.

El tablero balanceado se va realizando contestando las siguientes preguntas según la perspectiva.

Perspectiva financiera : Para satisfacer al Gerente Mina de Chuquicamata, ¿qué objetivo financiero debo alcanzar?

Perspectiva clientes : Para alcanzar los objetivos financieros, ¿qué necesidades del cliente se deben satisfacer?

Perspectiva procesos internos : Para satisfacer al Gerente Mina y clientes, ¿cuáles procesos productivos se deben mejorar?

Perspectiva aprendizaje y crecimiento : Para lograr las metas, ¿cómo debe aprender e innovar la operación?

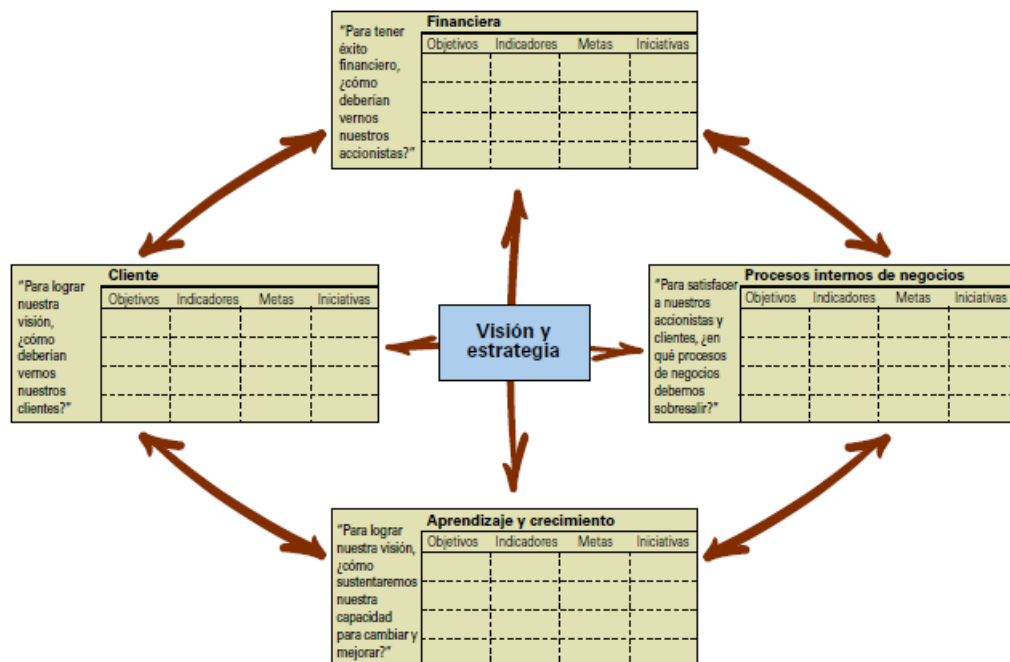


ILUSTRACIÓN 4. TABLERO BALANCEADO DEL BALANCED SCORECARD (FUENTE: NORTON, 2007)

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo está enfocada en la evaluación de la gestión actual de la operación de perforación y su relación con otras áreas, de manera de buscar mediante diversos análisis la identificación de oportunidades de mejoras en la operación.

4.1. Selección período de evaluación

Como se busca realizar un análisis histórico que sea representativo de la realidad de la mina, se estima conveniente tomar un período de evaluación desde 2012 a mayo de 2015, evaluando los indicadores operacionales en forma mensual. Posteriormente, se realiza una clasificación de los meses en malos, regulares y buenos según su tendencia para disminuir el número de meses a evaluar con posterioridad en el análisis diario y por turno, debido principalmente a la gran cantidad de reportes a descargar por mes, que asciende a 620, además del complejo diseño del reporte que entrega el sistema computacional.

4.2. Recopilación y consolidación de datos

Consiste en la recolección de datos del sistema AIDP a través de reportes diarios por equipo, luego cada uno de éstos es leído por un programa realizado en el *software* Matlab, el que ordena los datos en un nuevo archivo Excel bajo un formato establecido.

4.3. Construcción Balanced Scorecard

Corresponde a una etapa de identificación de oportunidades de mejoras, ya que se realiza con la finalidad de buscar instancias que permitan alcanzar las metas propuestas por la operación, elaborando el tablero balanceado de este modelo de gestión, es decir, aplicando el modelo conceptualmente.

4.4. Análisis de datos

En este ítem se aborda la distribución de tiempos del modelo ASARCO para determinar cuál es el estado que afecta mayormente en los indicadores operacionales como son la utilización efectiva, disponibilidad y rendimiento efectivo, y si existe alguna tendencia marcada en estos indicadores. Además se realiza un análisis factorial para identificar causas de incumplimiento o sobrecumplimiento de la producción.

4.5. Iniciativas de gestión

Esta etapa consiste en la determinación de los enfoques primordiales del estudio para posteriormente proponer iniciativas que permitan mejorar la gestión actual.

4.6. Conclusiones y recomendaciones

La última etapa consiste en la elaboración de las conclusiones del estudio y las recomendaciones que se pueden dar para mejorar la situación actual de la operación.

CAPÍTULO 5. CONSTRUCCIÓN BASE DE DATOS

En este estudio se usan tres bases de datos que difieren principalmente en la unidad de tiempo a analizar, para tener desde un enfoque general a uno con mayor detalle que represente la realidad operacional.

La primera base de datos que se construye es mensual considerando los datos desde el año 2012 a mayo de 2015, ya que el objetivo principal es tener una data histórica para observar si existe una tendencia en los indicadores operacionales y tener una mayor cantidad de datos de modo que la base sea representativa. Esta se utiliza para analizar los estados de tiempo del modelo ASARCO y posteriormente realizar un análisis factorial que permite discernir el/los indicador(es) operacional(es) responsable(s) de un incumplimiento en la producción.

Los datos son recopilados por equipo pero posteriormente son agrupados por flota, éstos son,

- Horas nominales
- Horas fuera de servicio
- Horas de reservas
- Horas operativas desde el ingreso del equipo hasta fines de 2011
- Horas efectivas
- Horas demoras programadas
- Horas demoras no programadas
- Metros perforados

Con estos tiempos se procede a calcular los indicadores operacionales siguientes,

- Disponibilidad [%]
- Utilización operativa [%]
- Utilización efectiva [%]
- % Reservas base disponible
- % Demoras programadas base disponible
- % Demoras no programadas base disponible
- Rendimiento efectivo [m/h efectiva]

Para observar el cálculo de estos indicadores con mayor detalle, se recomienda revisar ítem 3.2.

			ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12
301	Disponibilidad	Disp %	81.81	46.74	29.03	38.89	2.15	16.28	19.42	43.94	77.79	50.43	78.72	68.40
	Utilización Operativa	Ut.Op %	96.29	93.78	74.07	0.00	0.00	70.08	95.27	97.09	91.37	87.85	94.82	87.01
	Utilización efectiva	Ut.Ef %	58.05	46.05	0.00	0.00	0.00	44.56	53.86	57.33	45.14	57.06	47.02	46.79
	Reserva Base disponible	Res/Dis %	3.71	6.22	25.93	100.00	100.00	29.92	4.73	2.91	8.63	12.15	5.18	12.99
	Demoras programadas base disponible	DPr/Dis %	9.20	6.76	0.00	0.00	0.00	8.60	12.06	8.92	8.90	10.13	10.48	8.10
	Demoras no programadas base disponible	DNpr/Dis %	27.96	40.96	74.07	0.00	0.00	23.74	29.37	30.79	37.63	20.70	37.26	32.12
	Rendimiento	m/hr efect	34.83	35.56	0.00	0.00	0.00	32.44	30.19	30.82	29.56	36.83	31.57	28.69
302	Disponibilidad	Disp %	71.85	47.14	80.11	50.64	18.44	86.03	79.08	63.91	61.11	49.38	67.25	81.02
	Utilización Operativa	Ut.Op %	93.11	91.77	95.73	33.42	85.30	96.95	92.30	92.78	86.67	86.32	95.16	91.51
	Utilización efectiva	Ut.Ef %	57.63	53.24	55.16	17.07	47.63	48.28	56.73	49.77	49.22	49.53	52.60	57.59
	Reserva Base disponible	Res/Dis %	6.89	8.23	4.27	66.58	14.70	3.05	7.70	7.22	13.33	13.68	4.84	8.49
	Demoras programadas base disponible	DPr/Dis %	12.74	10.77	11.93	4.89	10.63	9.85	11.39	10.22	10.74	8.78	11.10	10.05
	Demoras no programadas base disponible	DNpr/Dis %	22.74	30.20	28.62	11.45	26.92	38.81	23.95	32.75	26.44	30.08	31.46	23.77
	Rendimiento	m/hr efect	28.66	33.63	32.60	33.03	32.88	34.84	29.88	34.75	28.75	31.02	28.98	32.85

ILUSTRACIÓN 5. EJEMPLO BASE DE DATOS MENSUAL

La segunda base de datos se encuentra ordenada por turno para realizar un análisis enfocado en la operación, específicamente se estudian los tiempos perdidos correspondientes a las demoras no programadas.

Antes de recopilar la información se reduce el período de tiempo a evaluar a tres meses (marzo, mayo y agosto) por año salvo el 2015 que se estudia marzo y mayo, debido a la gran cantidad de reportes que se deben descargar y el tiempo que toma. Para ver con mayor detalle el criterio escogido y la elección de los meses a evaluar ver ítem Reducción del período de evaluación.

Los datos recopilados son: año, mes, día, turno, equipo, indicador, descripción, duración [horas], tipo de perforación. Para mayor información revisar página 118.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Añ	Me	Dí	Turno	Equip	Indicador	Descripción	Duración [mi]	Duración [hr]	TIPO DE PEI
2	2013	8	1	Turno C	300	FUERA DE SERVICIO	Mec. Terreno	75	1.25	Control Pared
3	2013	8	1	Turno C	300	Det. Programada	Cambio De Turno	30	0.50	Control Pared
4	2013	8	1	Turno C	300	Det. Programada	Colacion (Medio Turno)	30	0.50	Control Pared
5	2013	8	1	Turno C	300	Det. No Programada	Traslado De Perforadora	50	0.83	Control Pared
6	2013	8	1	Turno C	300	Det. No Programada	Cambio De Aceros	10	0.17	Control Pared
7	2013	8	1	Turno C	300	Det. No Programada	Espera Energia/Combustible	10	0.17	Control Pared
8	2013	8	2	Turno A	300	Det. Programada	Colacion (Medio Turno)	30	0.50	Control Pared
9	2013	8	2	Turno A	300	Det. No Programada	Espera De Agua	20	0.33	Control Pared
10	2013	8	2	Turno A	300	Det. No Programada	Revison Maquina	20	0.33	Control Pared
11	2013	8	2	Turno A	300	RESERVA	Sin Operador	40	0.67	Control Pared
12	2013	8	2	Turno B	300	FUERA DE SERVICIO	Mec. Terreno	50	0.83	Control Pared
13	2013	8	2	Turno B	300	Det. Programada	Cambio De Turno	20	0.33	Control Pared
14	2013	8	2	Turno B	300	Det. Programada	Colacion (Medio Turno)	50	0.83	Control Pared
15	2013	8	2	Turno B	300	Det. No Programada	Traslado De Perforadora	60	1.00	Control Pared
16	2013	8	2	Turno B	300	Det. No Programada	Revison Maquina	20	0.33	Control Pared
17	2013	8	2	Turno B	300	Det. No Programada	Cambio De Aceros	10	0.17	Control Pared
18	2013	8	2	Turno C	300	Det. Programada	Cambio De Turno	30	0.50	Control Pared
19	2013	8	2	Turno C	300	Det. Programada	Colacion (Medio Turno)	30	0.50	Control Pared
20	2013	8	2	Turno C	300	Det. No Programada	Espera De Agua	20	0.33	Control Pared
21	2013	8	2	Turno C	300	Det. No Programada	Revison Maquina	20	0.33	Control Pared
22	2013	8	2	Turno C	300	Det. No Programada	Espera Energia/Combustible	10	0.17	Control Pared
23	2013	8	2	Turno C	300	RESERVA	Condiciones Climaticas	50	0.83	Control Pared

ILUSTRACIÓN 6. BASE DE DATOS POR TURNO

La última base de datos que se consolida es diaria y se construye en base a la anterior, se utiliza para analizar el rendimiento efectivo por unidad geotécnica y fase operativa.

CAPÍTULO 6. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORAS

Primero que todo se busca tener un conocimiento general de la operación, cuáles son sus objetivos, visión, áreas con las que se relaciona, requerimientos de otras áreas, etc. Para esto se entrevistan a distintos agentes que participan del proceso basándose en su experiencia, éstos son: operadores de perforación, ingenieros de perforación, jefes de turno, ingeniero de mantenimiento, ingeniero de planificación de mediano plazo y analista de gestión de servicios técnicos. En conjunto con la información recopilada y los análisis que se realizan en los ítems siguientes se van identificando las oportunidades de mejoras.

6.1. Creación cuadro de mando integral

El cuadro de mando integral permite a las organizaciones o empresas alinear la estrategia hacia su visión y traducirlas en objetivos que dirijan las iniciativas. En este caso, el modelo de gestión que se quiere aplicar va dirigido específicamente al área de perforación por lo que se establece cuál es la visión, objetivos y estrategia de la operación la que también debe ir acorde a lo que busca la empresa (Cifuentes Ceballo & Muñoz Pérez, 2010).

Visión: *“Ser una operación que contribuye en la agregación de valor al negocio principal de la División Chuquicamata con altos estándares de salud ocupacional y seguridad”.*

Objetivos: *“Entregar un producto en cantidad, calidad y oportuno a las actividades unitarias de operaciones mina, con los costos comprometidos en el presupuesto de operaciones aprobado para el área, y tomando decisiones para que la operación unitaria se realice en forma segura y en un clima laboral de alta productividad y efectividad organizacional, maximizando el uso de los recursos humanos y materiales para el cumplimiento cabal de planes, programas y presupuestos de perforación de la Mina Chuquicamata, asegurando la continuidad operativa de los procesos productivos aguas abajo”.*

Estrategia: *“Tener una relación estrecha con los proveedores de perforación, que pueden facilitar información o condiciones operacionales, y con los clientes de tal forma de conocer lo que ellos esperan como producto, además establecer relaciones interpersonales en el staff del área de perforación, ya sean pertenecientes a Codelco o a empresas Contratistas, como son operadores, jefes de operación, personal de Uptime, etc.”*

TABLA 4. TABLERO BALANCEADO DE BALANCED SCORECARD

Perspectiva Financiera			
Objetivos	Indicadores	Metas	Iniciativas
		2015	
Disminución de costos	Costos operacionales [USD/m]	Costos operacionales dentro del presupuesto	
Cumplir con programa de producción	[m perforados] Comparar [t tronado/m] planificados y real por malla de perforación	Alcanzar planificación de producción semanal. Diferencia entre [t tronado/m] planificado y real sea mínima.	Disminuir las demoras en perforación para tener más tiempo efectivo y poder perforar más metros, mallas y marcas de los pozos a tiempo, calibración de sistema de alta precisión.
Cumplimiento de KPI's	Rendimiento [m/ h efectiva], utilización efectiva [% BD]	Perforadora T4BH: 51.1%, 20 [m/h efecto] Perforadoras de producción: 51.1%, 31 [m/h efectiva] Perforadoras de precorte: 51.5%, 33 [m/h efectiva] ¹	Analizar rendimiento de las perforadoras según unidad geotécnica, y disminuir demoras no programadas.
Reducción de imprevistos	N° de imprevistos mensuales	Reducir en un 10%	
Tasa de Frecuencia	N° de accidentes/1 millón de HH		Trabajar bajo las normas de seguridad y cumplimiento de procedimientos

¹ Información obtenida del archivo lops_PND+F4649_Capex80M\$_20150406.xls para 2015.

Perspectiva de Clientes			
Objetivos	Indicadores	Metas	Iniciativas
		2015	
Entregar mallas de perforación a tiempo a personal de ENAEX	Número de polvorazos entregados a tiempo/Número de polvorazos total	Alcanzar un 100% de entrega a tiempo	Disminuir demoras no programadas y entregar malla de perforación en un tiempo efectivo de 7 horas
Implementación adecuada de malla de perforación	Desviaciones de los pozos, en plano y profundidad Diferencia en la cantidad de pozos		Calibración del sistema de alta precisión, mayor conocimiento de malla de perforación
Uso de sistema auditable como Jigsaw	% Brecha entre Sistemas MineOPS y AIDP		Informe de operadores igual en sistema MineOPS Aumentar utilización de MineOPS

Perspectiva de Procesos Internos			
Objetivos	Indicadores	Metas	Iniciativas
		2015	
Disminuir demoras de perforadoras	%demoras no programadas c/r tiempo disponible	Disminuirlas tomando como base los 2 primeros meses	Determinar pocas demoras que provocan el 80% del total de las demoras
Cumplir con detenciones programadas	Contrastar programación con cumplimiento	Se cumpla la programación	
Mejorar rendimiento de las perforadoras	Rendimiento de los equipos por zona geotécnica [m/h efectiva]		Ubicar perforadoras en zonas geotécnicas que mejoren su rendimiento
Contrastar estados de pago de proveedores	m perforados por aceros	Tener mediciones a tiempo para contrastar información	Estadística de m perforados por aceros en línea

Perspectiva de Crecimiento y Aprendizaje			
Objetivos	Indicadores	Metas	Iniciativas
		2015	
Aumentar utilización del sistema MineOps	% Brecha entre Sistemas MineOPS y AIDP	Vaya aumentado y se acerque al 100%	Reinstrucción de los operadores

Como alcance, en este estudio sólo se crea el tablero balanceado del Balanced Scorecard, no se realizan las etapas de implementación, integración y comunicación ni seguimiento, ya que el propósito es visualizar cuales son los objetivos principales que tiene la operación, y determinar aquellos donde sería más factible realizar gestión para lograrlos, ya que algunos dependen netamente de la operación, y otros de áreas externas.

Como primer acercamiento a los objetivos que tiene la operación se puede observar que una de las iniciativas más recurrente es la disminución de demoras no programadas, las que impactan directamente en los objetivos financieros, de clientes y en los procesos internos.

6.2. Análisis de distribución de tiempos del modelo ASARCO

Este análisis se realiza con la finalidad de discernir los estados principales de los equipos de perforación, es decir, cuales son los estados que corresponden a la mayoría del tiempo de trabajo. Para esto, primero se realizan dos gráficos del porcentaje de los estados con respecto al tiempo nominal desde 2012 a 2015 para equipos de producción y control de pared.

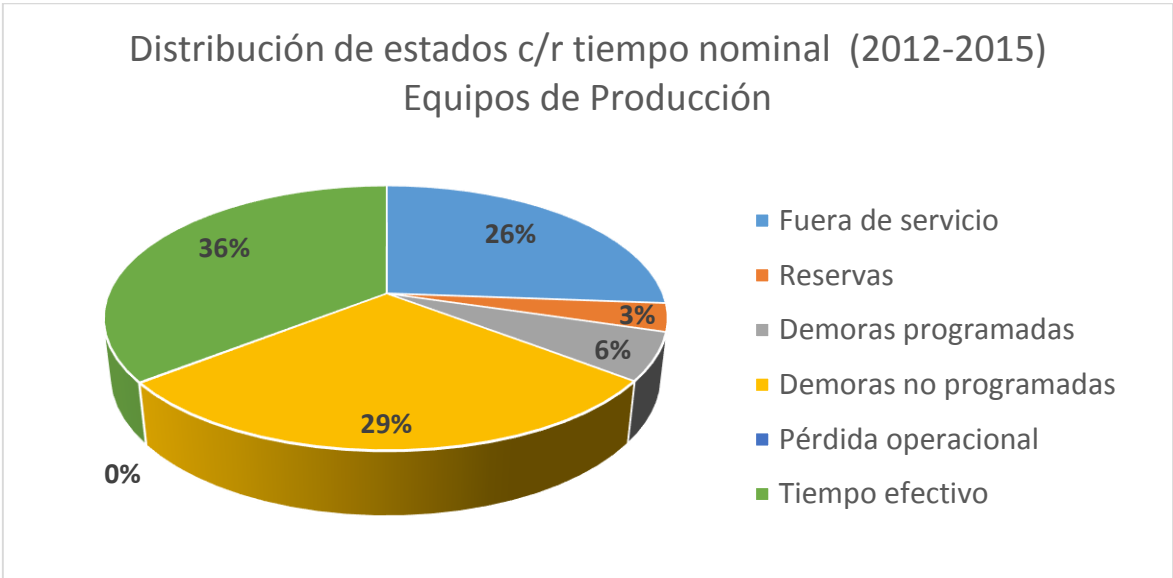


GRÁFICO 1. DISTRIBUCIÓN ESTADOS C/R TIEMPO NOMINAL, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

En este caso un 55% del tiempo nominal los equipos de producción se encuentran en los estados fuera de servicio y demoras no programadas, siendo mayor el tiempo en demoras no programadas con un 29%, el tiempo restante se encuentran mayormente en tiempo efectivo.

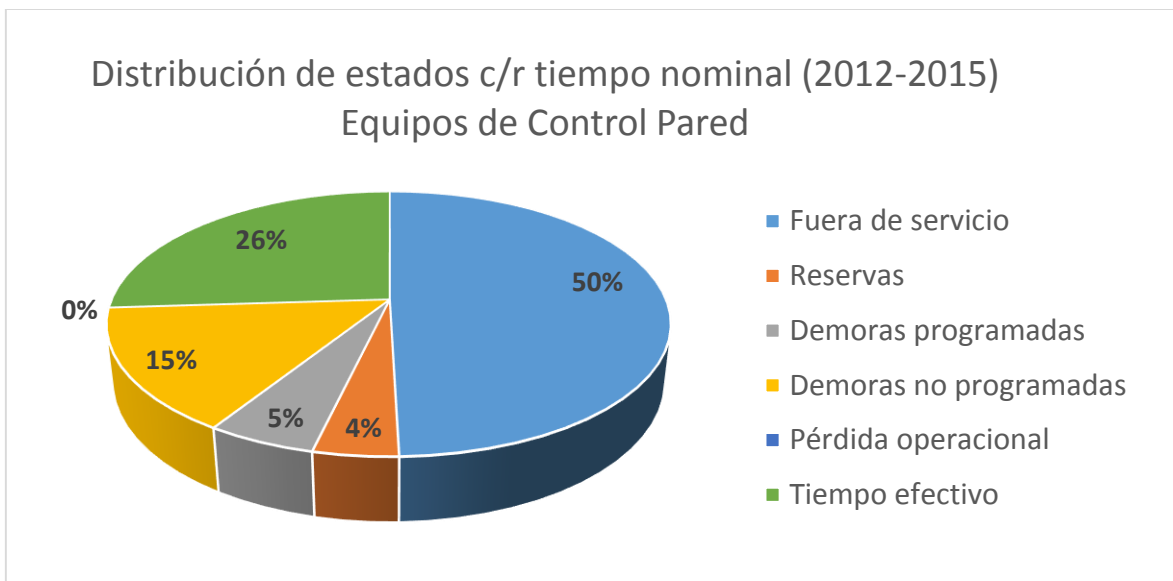


GRÁFICO 2. DISTRIBUCIÓN ESTADOS C/R TIEMPO NOMINAL, EQUIPOS CONTROL PARED

En el caso de los equipos de control pared se encuentran un 50% del tiempo nominal fuera de servicio, un 15% en demoras no programadas y un 26% en tiempo efectivo, el alto porcentaje en fuera de servicio se explica por el aumento de las mantenciones de los equipos Roc L8 en los últimos años, que inclusive fueron saliendo de operación para que se incorporaran equipos nuevos en 2015.

En conclusión, los estados que más restan tiempo efectivo corresponden a fuera de servicio y demoras no programadas, por lo que es necesario estudiar con mayor profundidad por qué estos valores son altos y cuáles son las decisiones que se podrían tomar para mejorarlos. Dado que la disponibilidad es principalmente una meta que debe cumplir el área de mantenimiento, se deja fuera de estudio, por lo tanto, el enfoque primordial son las demoras no programadas.

6.3. Análisis indicadores mensuales

Al graficar los indicadores operacionales mensualmente desde 2012 a mayo de 2015 (ver pág. 97) se concluye que no existe una tendencia clara o comportamiento periódico en los datos a nivel anual, más bien tienen un comportamiento azaroso.

La disponibilidad de la flota Roc L8 tiende a caer a medida que transcurren los años y es por esta razón principalmente que se incorporan nuevos equipos de control de pared en el año 2015. El problema principal en la baja de disponibilidad se debe a la falta de repuestos lo que provocaba que los equipos estuvieran largos períodos de tiempo fuera de servicio. El mantenimiento de estos equipos se encontraba reglamentado por contrato MARC.

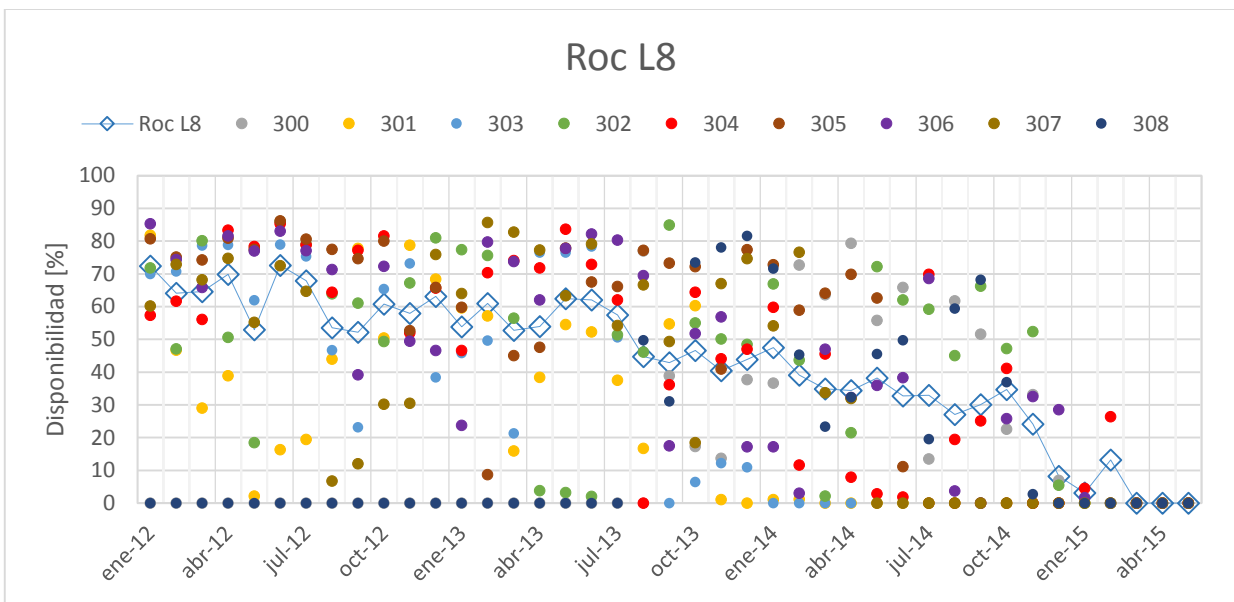


GRÁFICO 3. DISPONIBILIDAD FLOTA ROC L8

Las flotas Pit Viper y DMH 2 por lo general presentan disponibilidades por sobre un 65%, y varían en un rango pequeño, salvo en Junio de 2012 y Noviembre de 2014 en que la flota Pit Viper cayó abruptamente en disponibilidad debido a que el equipo 361 estuvo fuera de servicio casi el mes completo. Con respecto a la flota 49 HR desde Octubre de 2013 se observa una mayor variabilidad en los datos principalmente porque sale de operación el equipo 382.

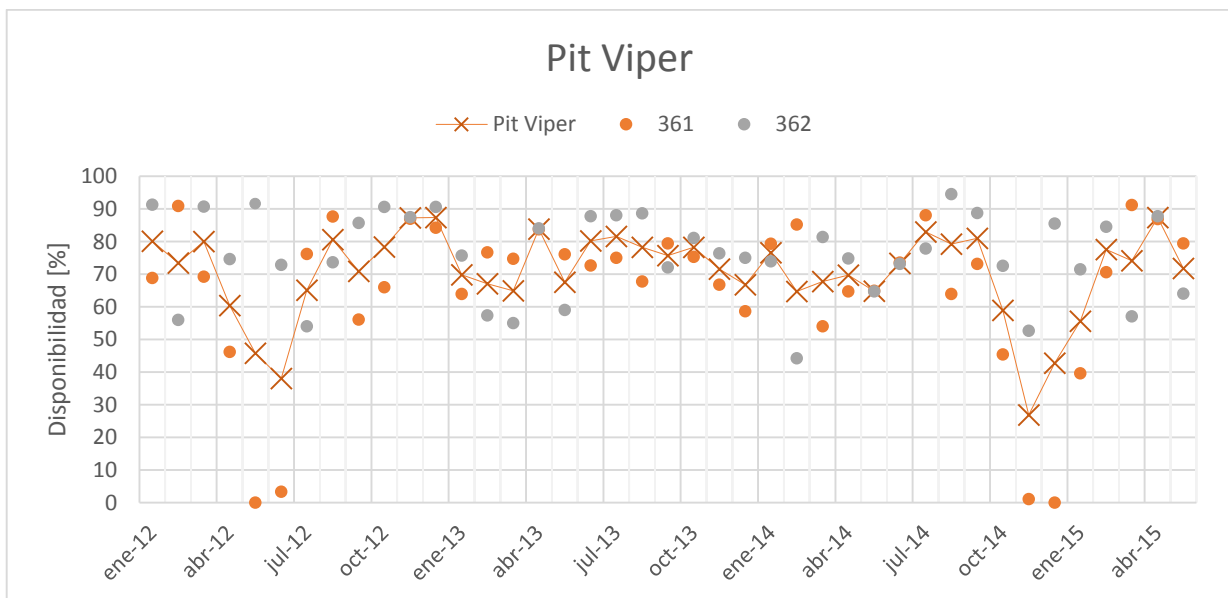


GRÁFICO 4. DISPONIBILIDAD FLOTA PIT VIPER

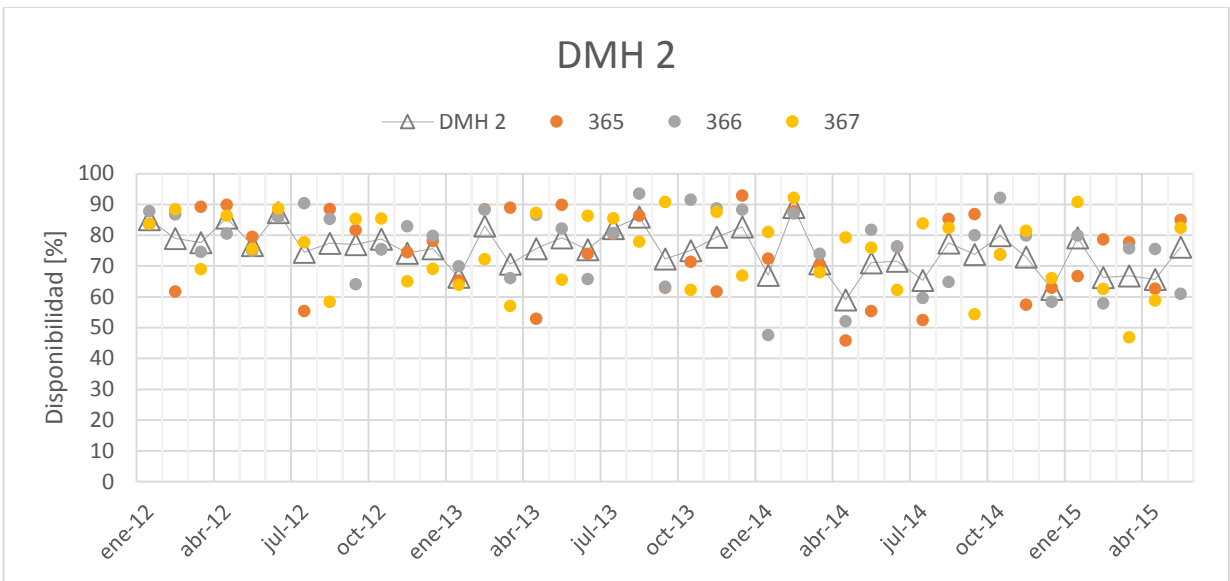


GRÁFICO 5. DISPONIBILIDAD FLOTA DMH 2

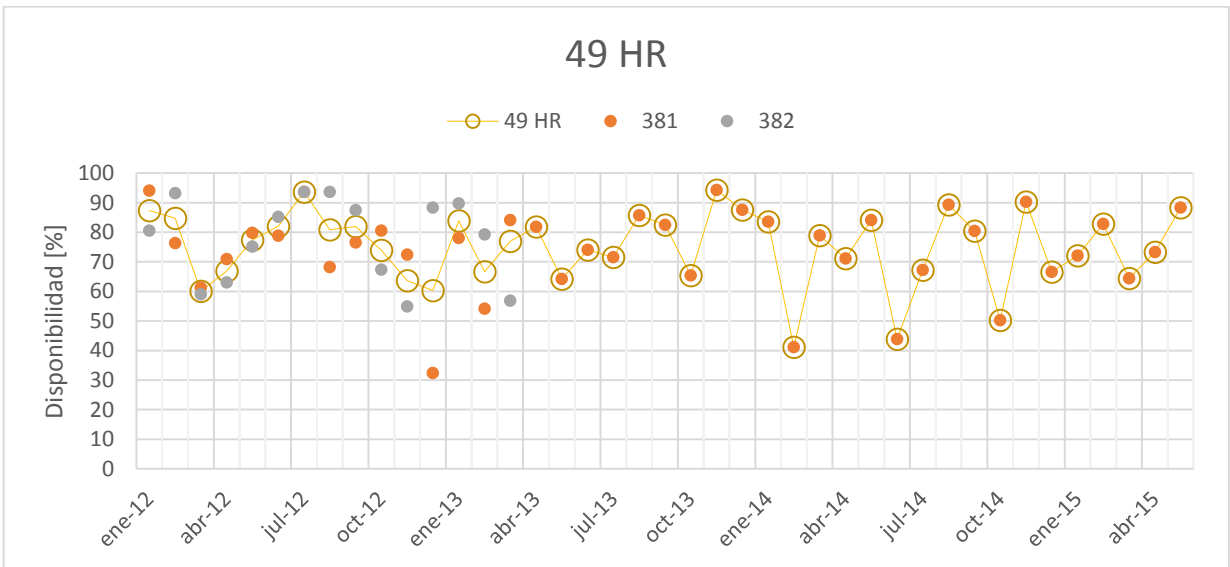


GRÁFICO 6. DISPONIBILIDAD FLOTA 49 HR

La disponibilidad de la flota DR 560 que corresponden a equipos nuevos es cercana a 80% dentro de los primeros tres meses, posteriormente tiende a caer, esto se le atribuye principalmente a que los operadores se encuentran en un período de capacitación y el problema principal que se observa en terreno es el atascamiento de los aceros.

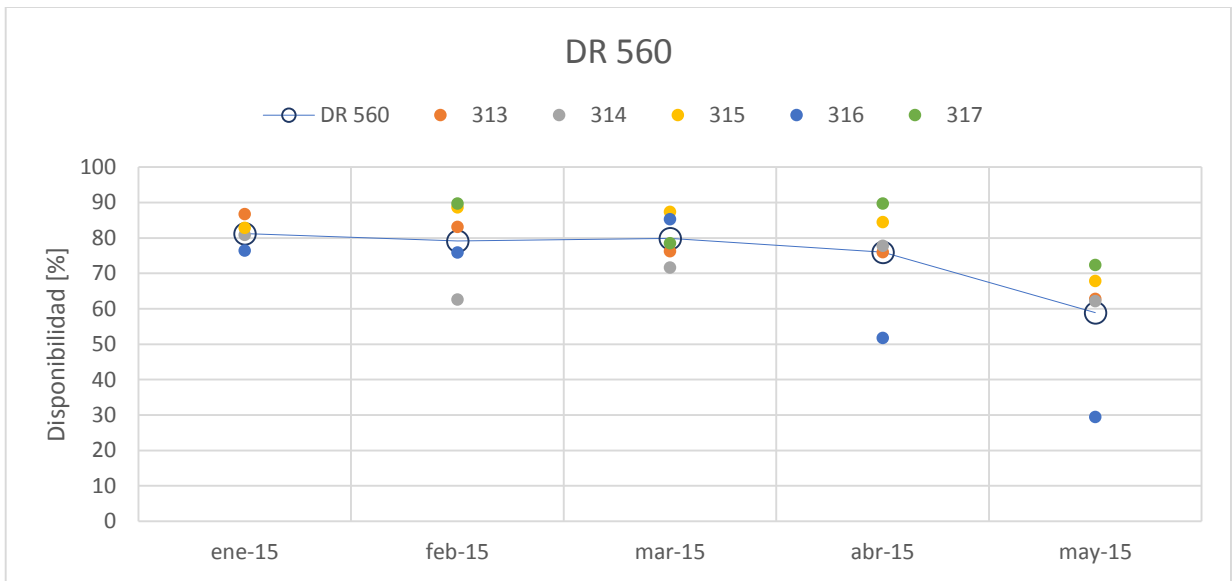


GRÁFICO 7. DISPONIBILIDAD FLOTA DR 560

Finalmente, la disponibilidad de la flota T4 BH correspondiente a un equipo neumático, es variable en el tiempo y es la que tiene menor disponibilidad en promedio.

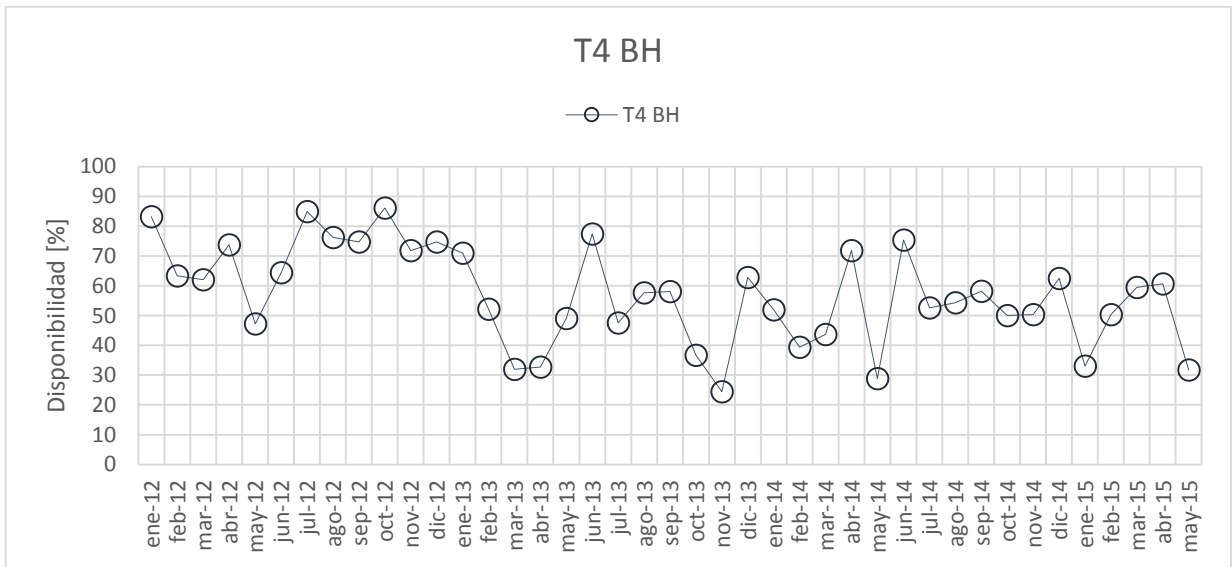


GRÁFICO 8. DISPONIBILIDAD FLOTA T4 BH

La tabla que se muestra a continuación indica la disponibilidad promedio en 2015 y en el rango enero de 2012 a diciembre de 2014, el valor planificado en el PND y el cumplimiento de esta.

TABLA 5. DISPONIBILIDAD PROMEDIO POR FLOTA

Flota	Disponibilidad [%]		Valor planificado	Cumplimiento
	2012 - 2014	2015	2015	
Pit Viper	70.1 ± 13.7	73.3 ± 11.5	76.7	X
DMH 2	76.0 ± 6.9	70.8 ± 6.3	76.7	X
49 HR	74.9 ± 13.1	76.2 ± 9.4	76.7	X
Roc L8	48.8 ± 15.2	8.2 ± 7.12	-	-
DR 560	-	75.0 ± 9.2	71.8	✓
T4 BH	58.4 ± 16.5	47.1 ± 14.0	50	X

La mayoría de la flota no cumple la disponibilidad planificada por lo que es importante hacer énfasis en el cumplimiento de esta por parte del área de mantenimiento, ya que al tener una menor disponibilidad podría provocar un incumplimiento del programa de producción en el caso que la utilización efectiva y rendimiento sean los planificados. Esta situación genera un retraso en la operación de perforación y los procesos aguas abajo, para revertir este escenario se debe aumentar la utilización efectiva y/o el rendimiento de los equipos de perforación.

La utilización operativa en los equipos de producción siempre se encuentra por sobre un 80%, mientras que en la flota Roc L8 disminuye drásticamente en 2015 y en la flota DR 560 va en aumento, este escenario se explica principalmente por la salida de operación de la flota Roc L8 y la entrada en operación de la flota DR 560, donde los equipos la mayor parte del tiempo disponible se encuentran en reserva sin operador.

TABLA 6. UTILIZACIÓN OPERATIVA PROMEDIO POR FLOTA

Flota	Utilización operativa [%]		Valor planificado	Cumplimiento
	2012 - 2014	2015	2015	
Pit Viper	95.5 ± 4.4	92.9 ± 6.8	92.0	✓
DMH 2	95.7 ± 2.8	95.8 ± 3.6	92.0	✓
49 HR	95.6 ± 4.4	93.5 ± 6.1	92.0	✓
Roc L8	93.4 ± 3.5	66.8 ± 13.4	-	-
DR 560	-	81.6 ± 15.3	92.0	X
T4 BH	90.8 ± 8.8	80.3 ± 16.6	92.0	X

Los equipos de producción son los que cumplen en general con la planificación de la utilización operativa, mientras que la flota DR 560 y T4 BH no la alcanzan. Como se ha dicho anteriormente, la flota DR 560 corresponde a equipos nuevos que están comenzando a ser utilizados para capacitar a los operadores en primera instancia y ponerlos en operación.

La utilización efectiva es un indicador muy variable en el tiempo principalmente en los equipos de producción, que corresponden a las flotas Pit Viper, DMH 2 y 49 HR. La flota Roc L8 es la que muestra una mayor consistencia hasta enero de 2015 entre 40-60%, mientras que la flota DR 560 va en aumento alcanzando un 55% en mayo de 2015.

TABLA 7. UTILIZACIÓN EFECTIVA PROMEDIO POR FLOTA

Flota	Utilización efectiva [%]		Valor planificado	Cumplimiento
	2012 - 2014	2015	2015	
Pit Viper	48.9 ± 7.2	46.6 ± 7.3	51.1	X
DMH 2	49.2 ± 8.1	51.7 ± 3.7	51.1	✓
49 HR	47.5 ± 12.1	50.0 ± 11.0	51.1	X
Roc L8	52.4 ± 3.6	35.0 ± 24.6	-	-
DR 560	-	43.0 ± 10.2	51.5	X
T4 BH	39.0 ± 16.3	35.8 ± 13.4	51.1	X

Sólo la flota DMH 2 cumple con la utilización efectiva planificada, esto implica que el tiempo principalmente por demoras no programadas está siendo mayor que el esperado, por lo que es de suma importancia evaluar la situación actual a fondo para integrar mejoras con la finalidad de reducir estos tiempos y aumentar el tiempo efectivo en que el equipo se encuentra en producción.

TABLA 8. DEMORAS PROGRAMADAS Y NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE PROMEDIO POR FLOTA

Flota	Demoras programadas BD [%]		Demoras no programadas BD [%]	
	2012 - 2014	2015	2012 - 2014	2015
Pit Viper	8.1 ± 1.3	7.7 ± 1.4	38.5 ± 7.8	38.6 ± 10.4
DMH 2	8.2 ± 1.3	8.4 ± 0.9	38.1 ± 8.0	35.7 ± 3.5
49 HR	6.9 ± 1.3	7.4 ± 1.6	41.0 ± 12.4	36.5 ± 11.4
Roc L8	10.7 ± 0.9	7.9 ± 6.0	30.3 ± 3.8	23.9 ± 17.2
DR 560	-	9.2 ± 2.7	-	29.6 ± 3.9
T4 BH	9.5 ± 4.0	8.9 ± 3.1	43.0 ± 21.6	35.5 ± 13.4

La flota Pit Viper es la que tiene un mayor rendimiento a lo largo del tiempo, principalmente por las características técnicas de los equipos ya que poseen una mayor fuerza de empuje que los otros, lo que provoca que la roca se rompa fácilmente. Las flotas con menor rendimiento corresponden a DMH 2 y T4 BH, ambas tienen menor fuerza de empuje, además a T4 BH se le suma que corresponde a un equipo neumático con menor estabilidad.

Como el rendimiento depende del tipo de roca que se está perforando se propone en este estudio realizar un análisis del rendimiento efectivo más detallado con la finalidad de concluir cuál es el tipo de roca apropiado para cada equipo o en el cual puede llegar a su mejor rendimiento. También es importante saber que existe una dependencia de la pericia del operador por lo que es importante que se encuentren capacitados para utilizar correctamente y eficientemente los equipos.

TABLA 9. RENDIMIENTO EFECTIVO PROMEDIO POR FLOTA

	Rendimiento efectivo [m/h efectiva]		Valor planificado	Cumplimiento
	2012 - 2014	2015	2015	
Pit Viper	37.1 ± 4.2	37.3 ± 3.5	31.0	✓
DMH 2	27.2 ± 3.0	27.1 ± 2.5	31.0	X
49 HR	33.1 ± 3.9	35.2 ± 4.7	31.0	✓
Roc L8	32.1 ± 1.6	32.1 ± 2.7	-	-
DR 560	-	33.6 ± 1.8	33.0	✓
T4 BH	20.5 ± 5.4	24.0 ± 2.2	20.0	✓

La mayoría de los equipos cumplen con el rendimiento efectivo salvo la flota DMH 2, que continúa en un rango bajo desde 2012. Es primordial estudiar cómo se puede aumentar este valor para la flota o como equiparlo con la ayuda de otros equipos de producción.

6.4. Análisis factorial

El análisis factorial corresponde a un estudio que permite identificar las causas que provocan un incumplimiento o sobrecumplimiento del programa de producción, utilizando datos planificados y reales. En esta oportunidad se realiza una indagación de las causas que afectan la producción planificada para los equipos de perforación en 2015, considerando los meses de febrero a mayo en el caso de las perforadoras de producción y de marzo a mayo en los equipos de precorte, dado que no es posible comparar los datos reales con los planificados ya que se tiene un tiempo nominal distinto, debido a la entrada de nuevos equipos y diferencias en el número de días nominales.

La representación gráfica del análisis factorial se ve en el siguiente gráfico, que muestra los metros planificados y reales, y cómo afectan los indicadores operacionales de cada flota el cumplimiento de los metros del plan mensual. En color rojo se observa un impacto negativo y en color verde positivo.

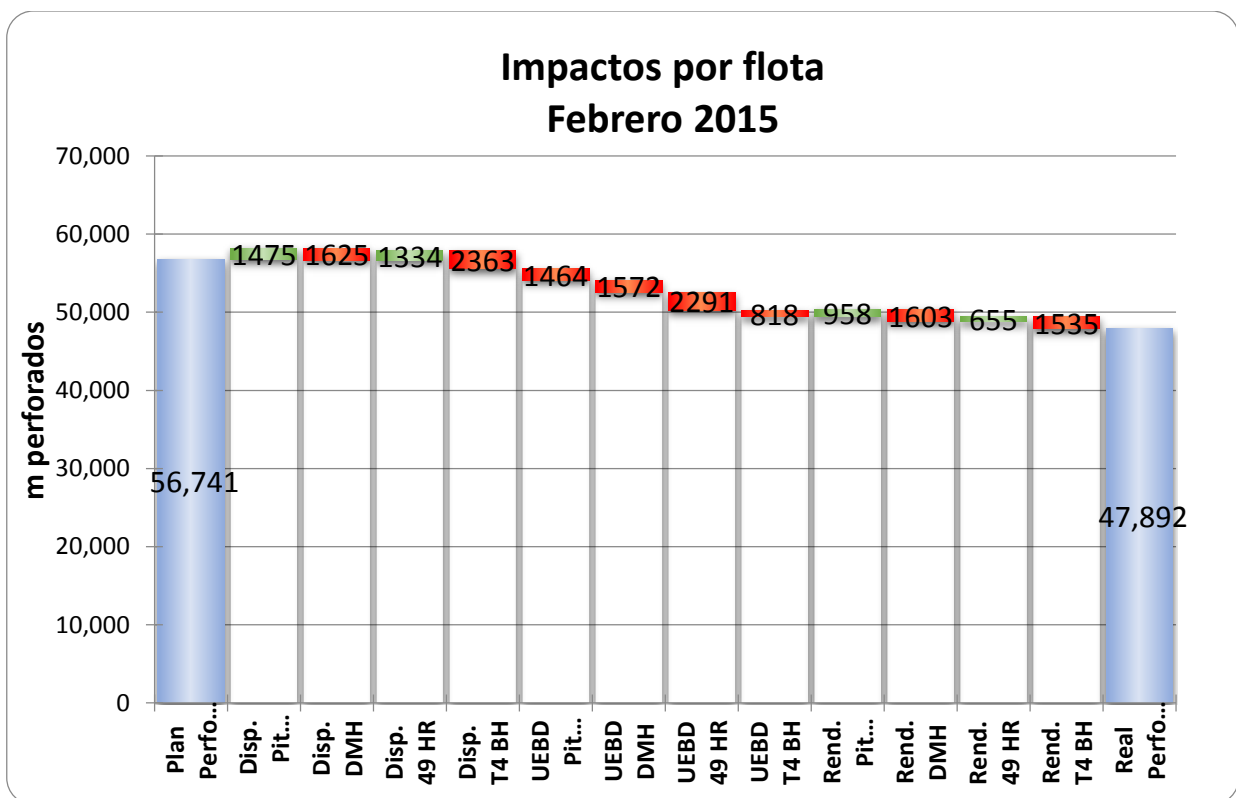


GRÁFICO 9. ANÁLISIS FACTORIAL FEBRERO, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

Como es posible observar en el gráfico anterior, en febrero hay un incumplimiento de la producción debido principalmente a una diferencia negativa de 7% en promedio en la utilización efectiva y de 21% en disponibilidad de la flota T4 BH. La caída en la utilización se debe primordialmente porque los equipos estuvieron más tiempo en reserva, lo que provoca una disminución de las horas operativas y un aumento en demoras, lo que disminuye el tiempo efectivo.

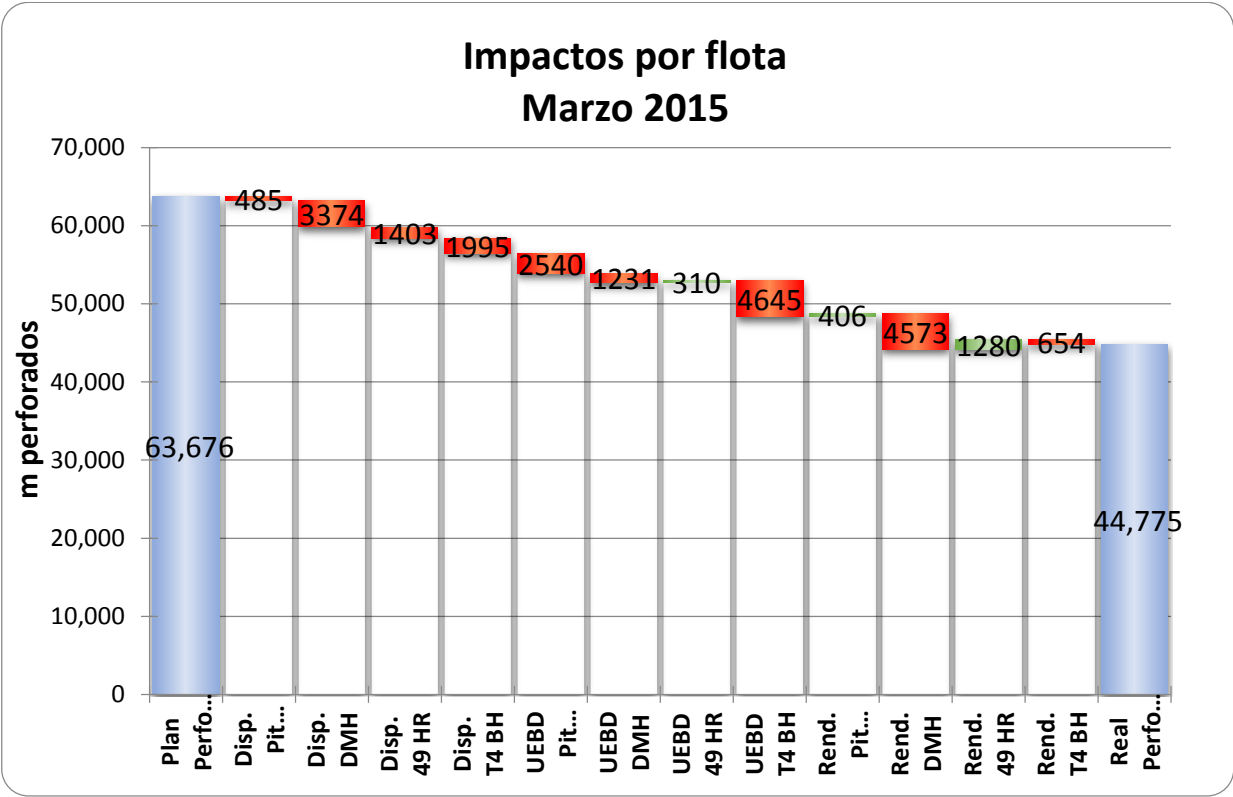


GRÁFICO 10. ANÁLISIS FACTORIAL MARZO, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

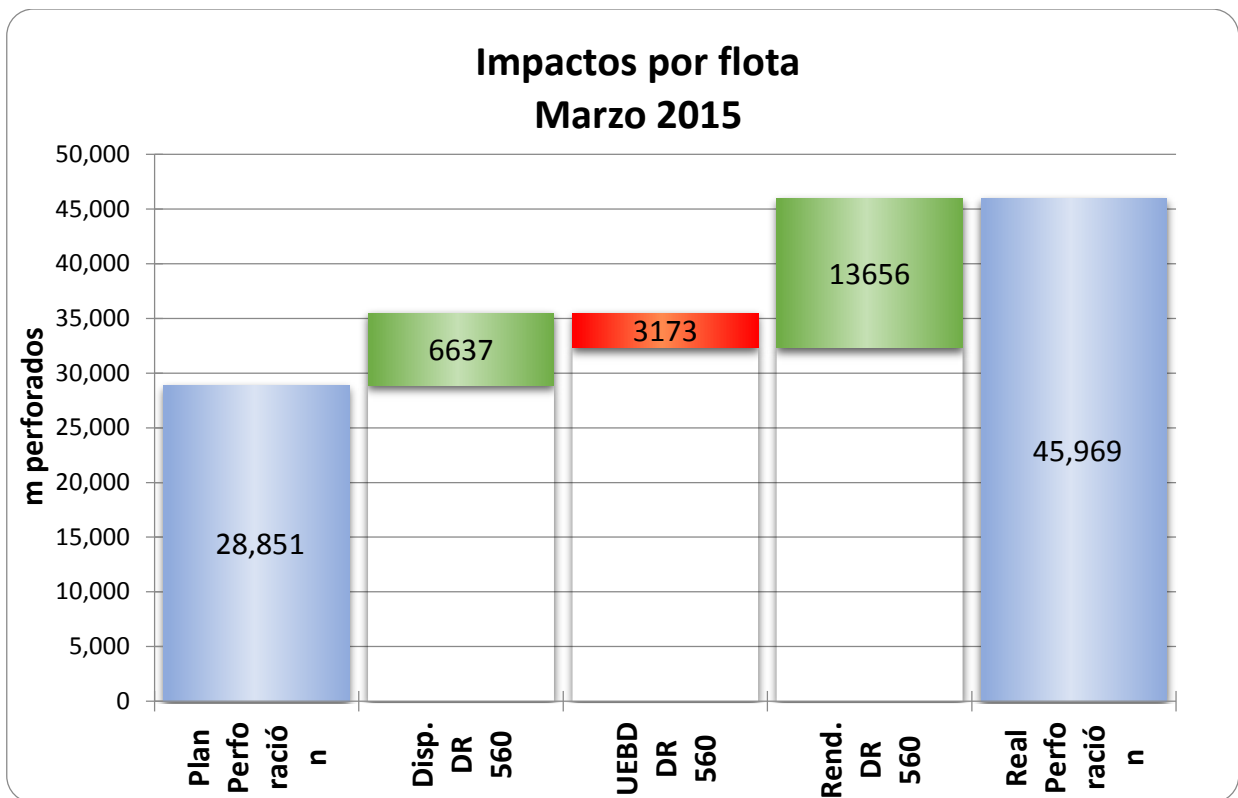


GRÁFICO 11. ANÁLISIS FACTORIAL MARZO, EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

En los equipos de producción no se logran los metros planificados debido a un incumplimiento de las disponibilidades de los equipos, una diferencia de 33% en la utilización efectiva de la flota T4 BH y 6.33 m/h efectiva en el rendimiento efectivo de la flota DMH 2. Mientras que en los equipos de control pared sobrepasan la planificación dado que la disponibilidad real es mayor que la planificada en un 15%, y el rendimiento efectivo se supera en 10 m/h efectiva.

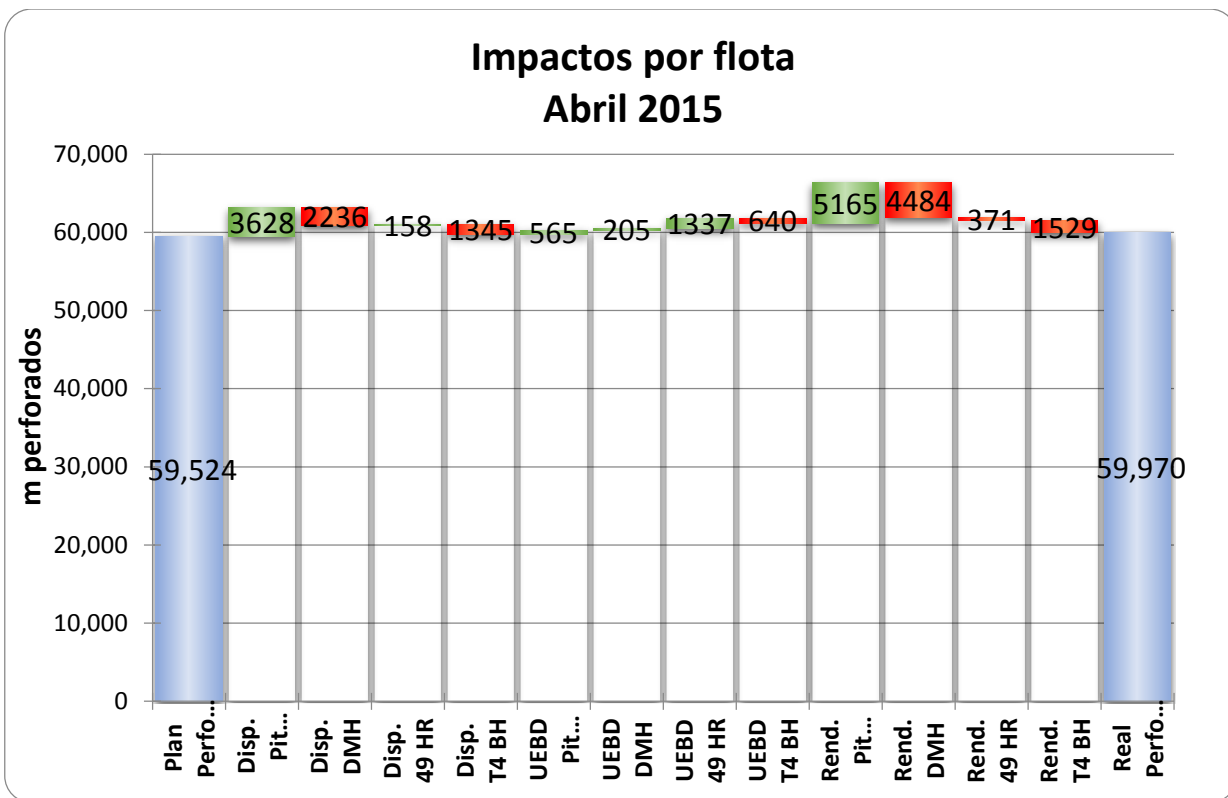


GRÁFICO 12. ANÁLISIS FACTORIAL ABRIL, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

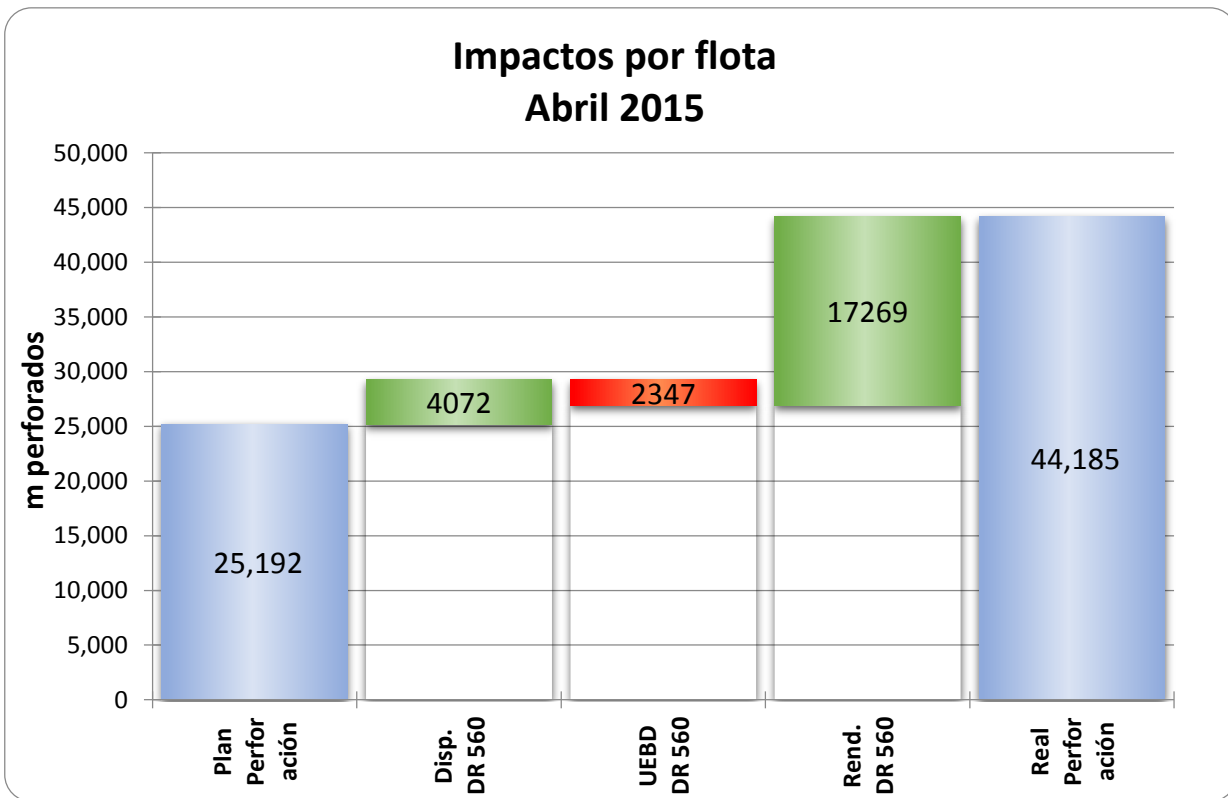


GRÁFICO 13. ANÁLISIS FACTORIAL ABRIL, EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

Los equipos de producción sobrepasan los metros planificados debido a un mayor cumplimiento de la disponibilidad y utilización efectiva, en esta oportunidad el rendimiento en la mayoría de las flotas no se logra por lo que impacta negativamente la producción, pero se contrarresta con un rendimiento superior en 7.82 m/h efectiva de la flota Pit Viper.

Los equipos de control pared nuevamente sobrepasan la producción planificada debido a un impacto positivo de 10.6% más en disponibilidad y 13.73 m/h efectiva más en rendimiento efectivo. En marzo y abril los equipos no cumplen con la utilización efectiva principalmente por un aumento en los tiempos de reserva y demoras, lo que puede ser causa de las capacitaciones en terreno de los operadores.

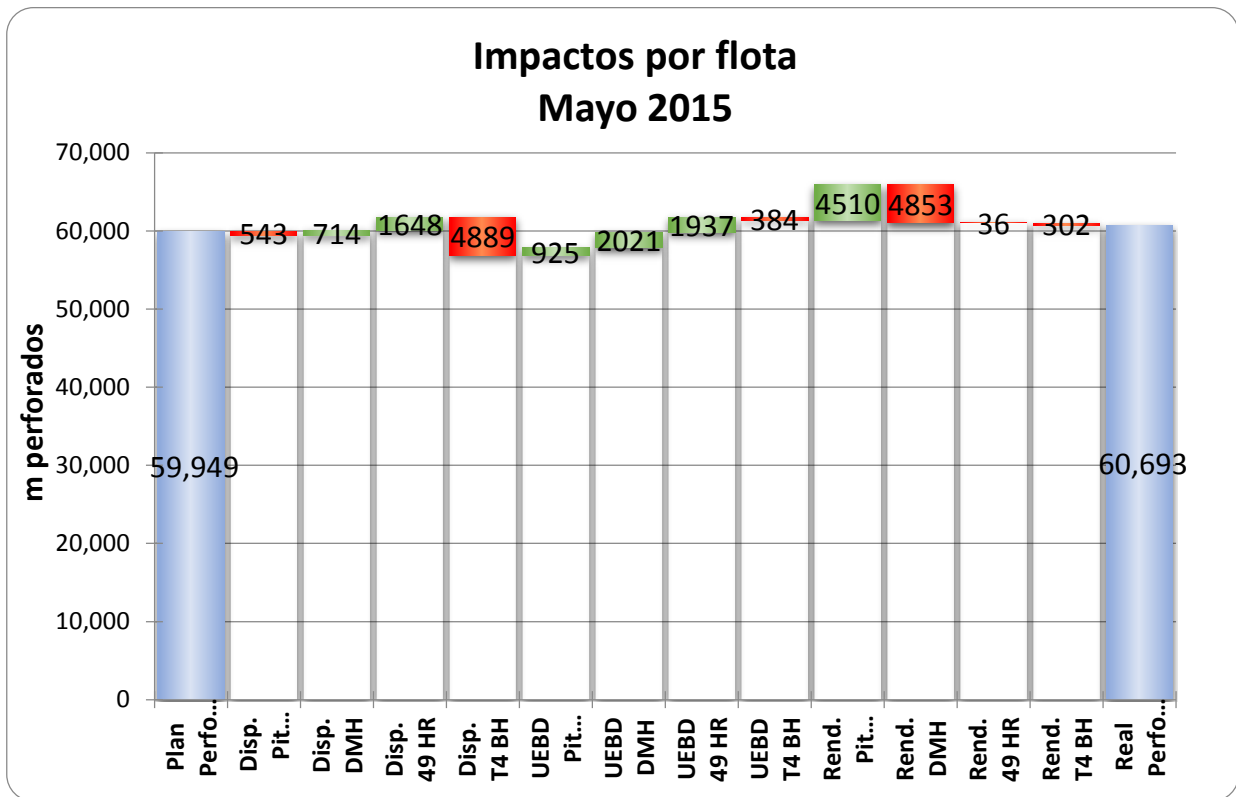


GRÁFICO 14. ANÁLISIS FACTORIAL MAYO, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

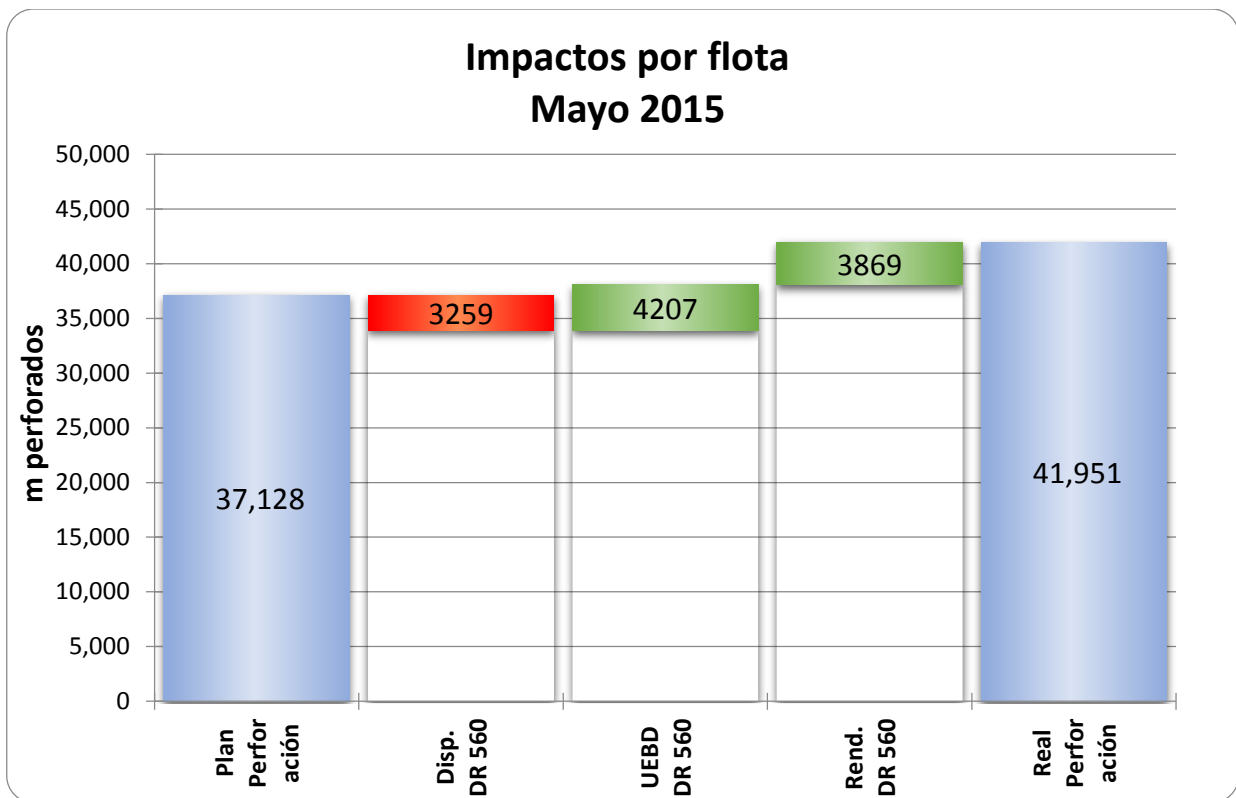


GRÁFICO 15. ANÁLISIS FACTORIAL MAYO, EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

En ambos casos se sobrepasa la producción planificada, en el caso de los equipos de producción mayormente por un cumplimiento de disponibilidad y utilización efectiva, el rendimiento impacta negativamente, sin embargo se ve contrastado por un impacto positivo de la flota Pit Viper. Los equipos de control pared mejoran en utilización efectiva pero bajan en 5.7% la disponibilidad lo que repercute negativamente.

Con este análisis se puede concluir la importancia de realizar gestión para disminuir los tiempos de demoras y reservas para mejorar la utilización efectiva de los equipos, el impacto que produce tener diferencias en el rendimiento efectivo y sin duda el cumplimiento de la disponibilidad que es el pie inicial para el cumplimiento de la producción. Se recomienda realizar este estudio de forma semanal y mensual para ir resolviendo de forma oportuna los imprevistos operacionales que van surgiendo, en conjunto con las áreas de planificación y servicios técnicos.

CAPÍTULO 7. INICIATIVAS DE GESTIÓN

Una vez identificadas las oportunidades de mejoras, se dan dos iniciativas que permiten disminuir tiempos perdidos y aumentar el rendimiento de los equipos usándolos en fases recomendadas.

7.1. Identificación de demoras no programadas principales

Las demoras no programadas corresponden al tiempo en que el equipo no se encuentra en producción debido a interrupciones en el proceso, aquí radica la importancia en disminuir estos tiempos mejorando la gestión de los recursos. Para esto se busca en primera instancia aquellas detenciones no programadas que corresponden al 80% del tiempo perdido, para enfocar el estudio a las principales causas.

La metodología para determinar las demoras es la siguiente:

1. Se suman las horas correspondientes a cada demora durante el período de estudio por turno, considerando todos los equipos. Luego, se ordenan de mayor a menor según el resultado obtenido.
2. Se determina el total de horas de demoras no programadas y el 80% de este.
3. Se seleccionan y destacan las demoras que suman el 80% del total, para esto se calcula la suma acumulada de las demoras.

Análogamente, se realiza un estudio para los equipos de producción y control de pared en forma separada.

En conclusión las demoras no programadas principales corresponden a nueve detenciones, éstas son: espera sitio para perforar, traslado de perforadora, revisión máquina, espera marca/malla, cambio de aceros, espera energía/combustible, espera de sello, espera de agua y espera por tronadura.

Enseguida, se realiza un estudio de las demoras en base a histogramas donde las clases se encuentran divididas por rangos de duración, y como eje de ordenadas secundario se determina el porcentaje que representa cada rango con respecto al tiempo total de la demora, con esto es posible determinar qué rango de duración es más frecuente y en qué turno la demora se presenta con mayor frecuencia. Para ver gráficos ir a página 125.

Además, se crean gráficos del promedio de la duración de las demoras no programadas por turno, día y mes para los equipos de producción y control de pared, considerando sólo cuando la duración de la demora es mayor a cero, principalmente

porque se busca reducir las duraciones de las demoras a través de la gestión para aumentar el tiempo efectivo de los equipos.

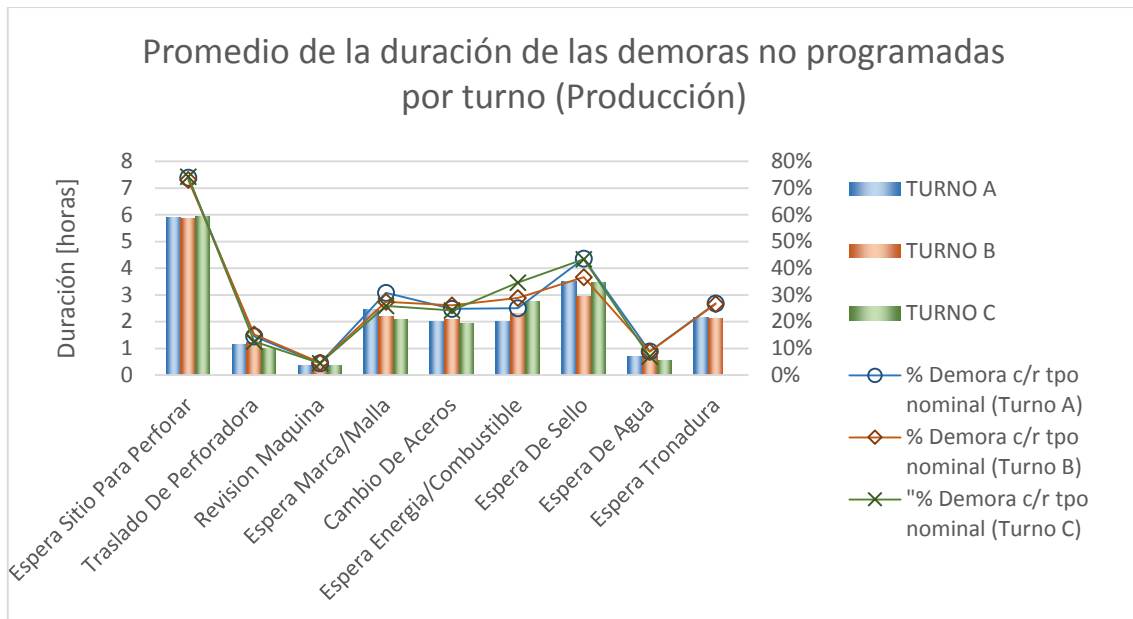


GRÁFICO 16. PROMEDIO DE LA DURACIÓN DE LAS DEMORAS NO PROGRAMADAS POR TURNO, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

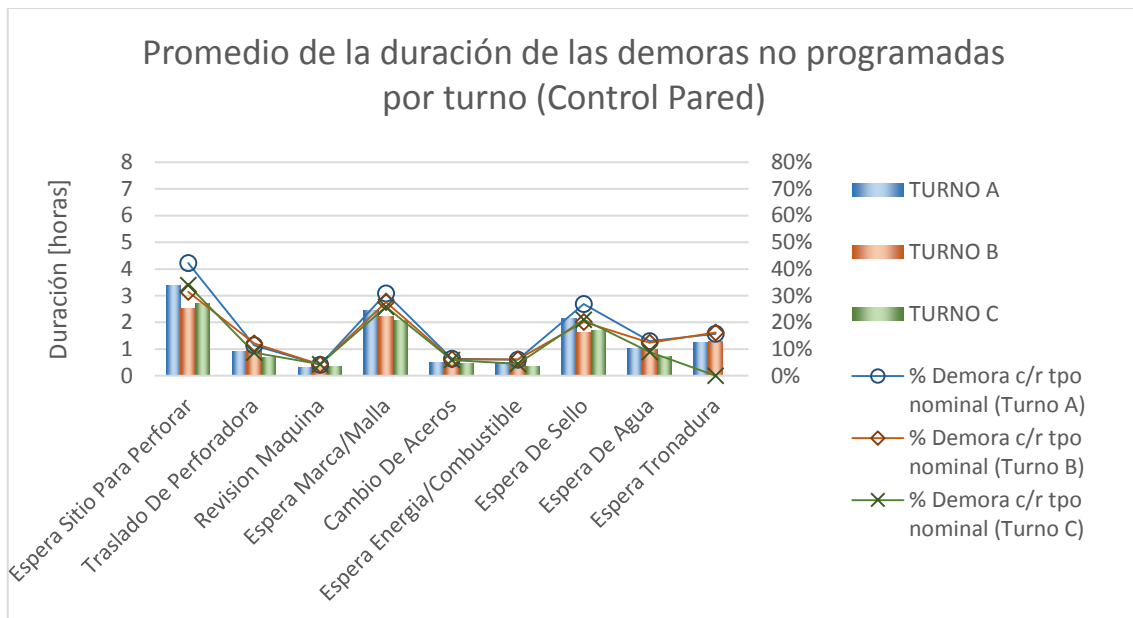


GRÁFICO 17. PROMEDIO DE LA DURACIÓN DE LAS DEMORAS NO PROGRAMADAS POR TURNO, EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

Los gráficos siguientes muestran dos tipos de promedios de las duraciones, que se diferencian principalmente en que uno se calcula considerando solo los datos cuando la demora es mayor a cero, y el otro todos los datos.

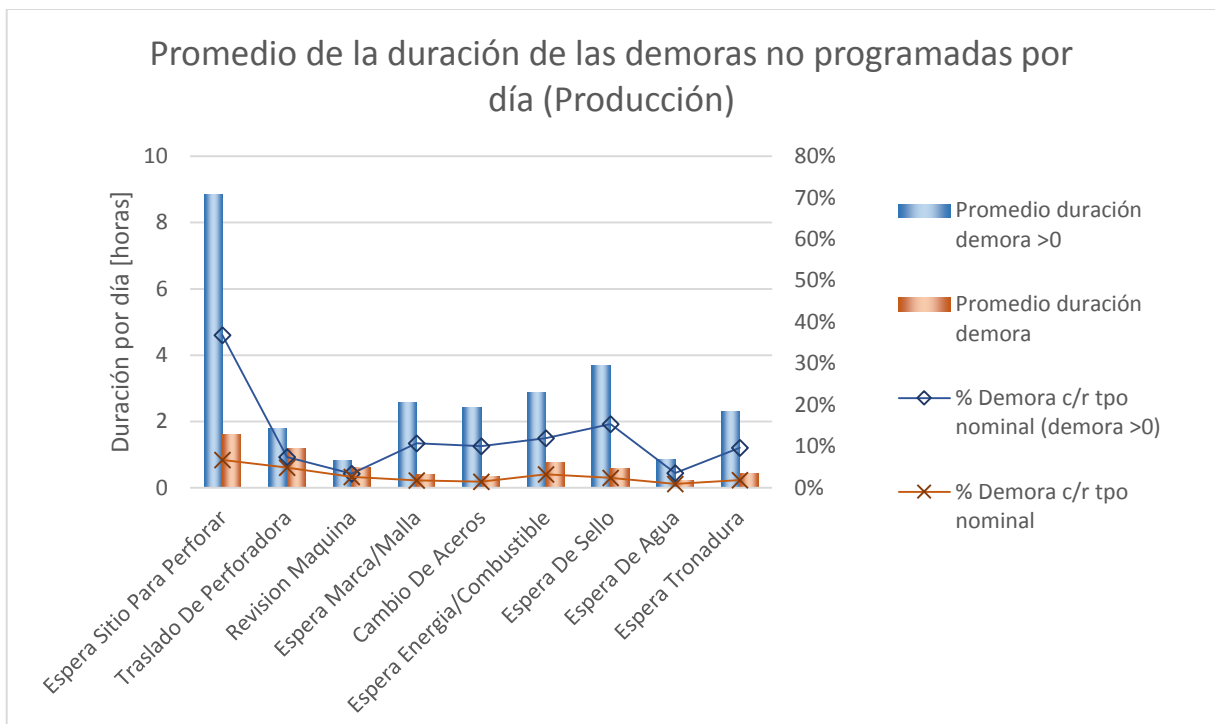


GRÁFICO 18. PROMEDIO DE LA DURACIÓN DE LAS DEMORAS NO PROGRAMADAS POR DÍA, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

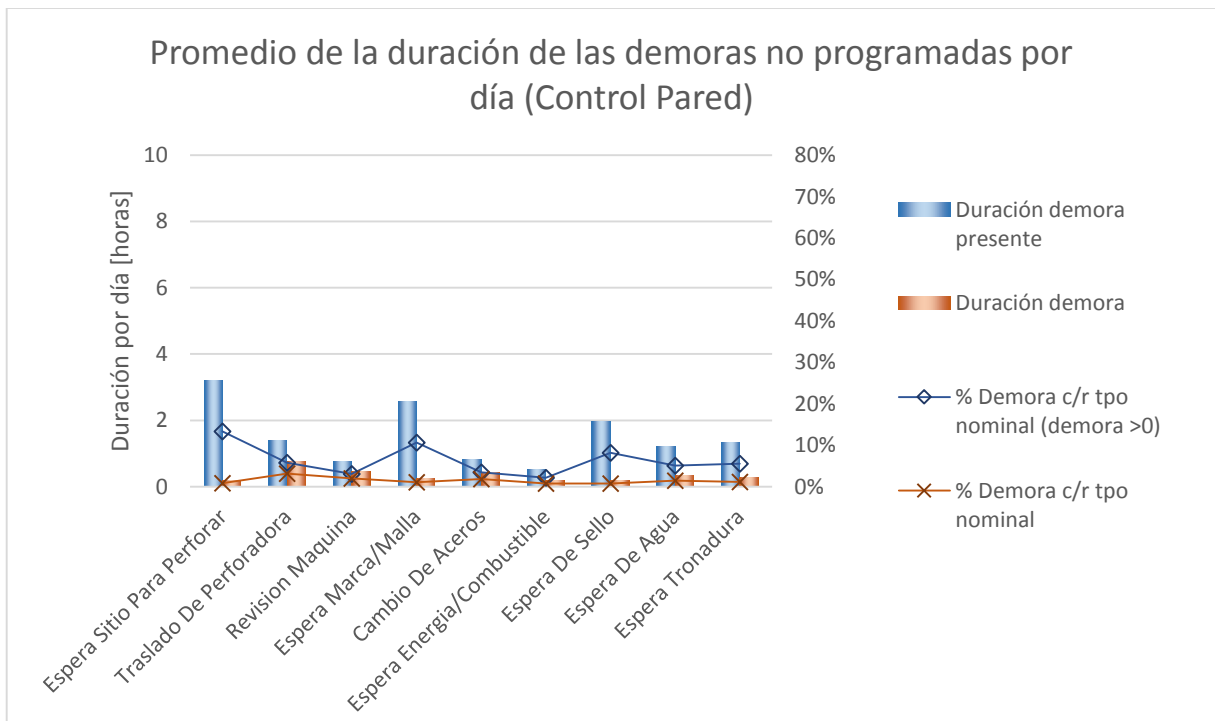


GRÁFICO 19. PROMEDIO DE LA DURACIÓN DE LAS DEMORAS NO PROGRAMADAS POR DÍA, EQUIPOS DE CONTROL PARED

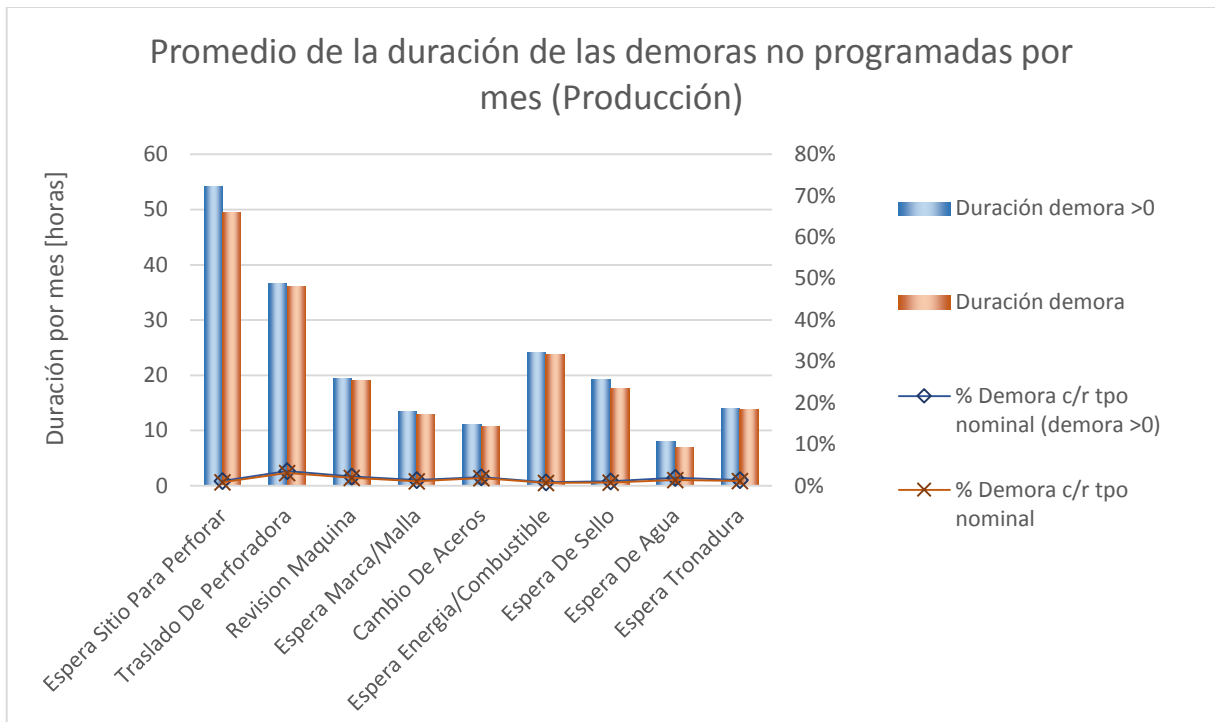


GRÁFICO 20. PROMEDIO DE LA DURACIÓN DE LAS DEMORAS NO PROGRAMADAS POR MES, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

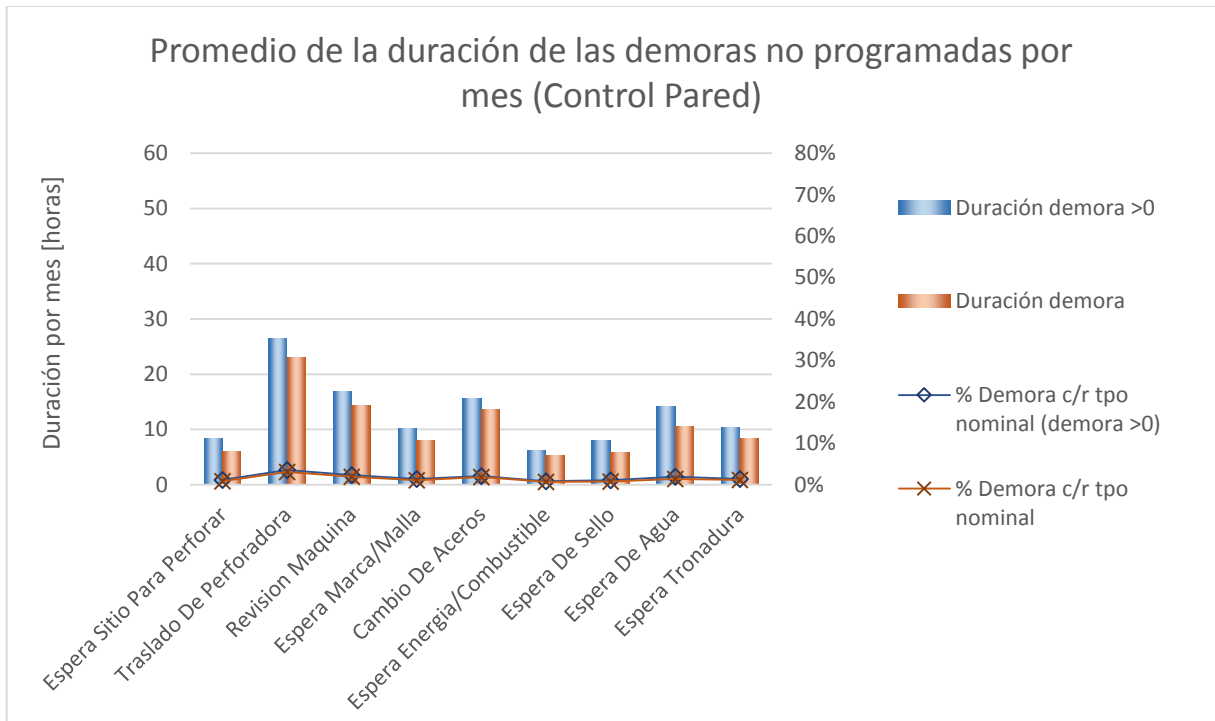


GRÁFICO 21. PROMEDIO DE LA DURACIÓN DE LAS DEMORAS NO PROGRAMADAS POR MES, EQUIPOS DE CONTROL PARED

A continuación se describe cada una de estas demoras y se entrega una iniciativa para reducir su tiempo de duración o evitarla, los análisis están enfocados en los gráficos anteriores e histogramas que se pueden observar en la sección D.2.4.

Las primeras seis demoras no programadas que se presentan en los párrafos siguientes, representan tiempos que pueden ser recuperados por la operación, ya que dependen principalmente de perforación y tronadura, mientras que las posteriores dependen de otras áreas. Por esta razón, es que para las primeras se entrega una iniciativa más concreta que permite justificar una disminución y se realiza un análisis posterior de cuánto afecta esta reducción en la utilización efectiva mensual de los equipos de producción y control de pared y los metros perforados, mientras que para las últimas se entregan iniciativas generales.

7.1.1. Espera sitio para perforar, espera marca/malla y espera de sello

Espera sitio para perforar: esta demora se produce cuando el sitio a perforar no tiene las condiciones operacionales aptas para que el equipo cumpla su función o porque este último no tiene asignado el lugar donde tiene que perforar. Entre las condiciones operacionales que afectan esta demora se encuentran:

- Limpieza de terreno, ya sea en el borde del banco hacia el rajo como también en la pata
- Palas de cable trabajando en el mismo piso, el cable de alimentación de energía eléctrica puede obstaculizar la zona de perforación
- Asignación de lugar al que se debe ir a perforar

Si bien esta demora no es tan frecuente como las detenciones por traslado, tronadura o espera de agua, su promedio de duración en el turno es alto, aproximadamente 6 horas, ya que en la mayoría de los casos presenta una duración en el rango de 7-8 horas, lo que afecta considerablemente el tiempo efectivo del turno.

A diferencia de los equipos de producción esta demora es menos frecuente en equipos de control pared, principalmente porque estos son más pequeños y flexibles, y la zona de perforación que necesitan es más reducida. El promedio de duración en el turno es de 3 horas, siendo mayor en el turno A.

Como se ha revisado en la descripción, esta demora no sólo depende de la asignación del lugar a perforar, sino que también de las condiciones operacionales del sitio, las cuales son reguladas o mantenidas principalmente por las áreas de movimiento tierra y alto voltaje.

Espera marca/malla: Esta demora corresponde al tiempo de espera cuando un equipo de control de pared se encuentra sin marca en el terreno o un equipo de producción se encuentra sin malla en el sistema de navegación o sin marca en terreno.

Las marcas son realizadas por personal de topografía, los que no realizan turnos de noche, por lo que, juegan un rol importante los ingenieros de perforación y los jefes de turno, ya que ellos pueden marcar en terreno una vez conociendo el diseño de la malla de perforación.

Las mallas son diseñadas y cargadas al sistema de navegación por personal del área de perforación y tronadura de Codelco, los que no poseen turno de noche, es por esto que es importante conocer el avance de los equipos en las mallas de perforación para diseñar a tiempo y así esta espera disminuya. Con respecto al marcado también beneficiaría conocer el avance de las perforadoras, de esta forma las personas de topografía podrían pedir los diseños con un margen de tiempo considerable para ir a marcar a terreno.

Esta demora es una de las menos frecuentes, pero tiene un promedio de duración en el turno de 2.2 horas que representa un 28% del turno, siendo levemente mayor en el turno A, para ambos tipos de equipos. Cabe señalar que en los años 2012-2014 esta demora presenta mayores frecuencias en rangos de duraciones de 0-3 horas, lo que en 2015 cambia ya que hay una mayor distribución de las frecuencias en los rangos, salvo en el turno A que alcanza una alta frecuencia de duración en el rango de 3-4 horas en los equipos de control pared.

Espera de sello: corresponde al tiempo en que la perforadora no está perforando debido a que se encuentra a la espera de que un equipo de movimiento tierra llegue a realizar la limpieza de sello o de que el equipo vaya dejando un área adecuada para comenzar la perforación.

Es una de las demoras de más baja frecuencia, tanto en equipos de control de pared como en producción, tienen un promedio de duración en el turno de 1.8 horas que representa un 23% y 3.3 horas que corresponde a un 41% del turno, respectivamente. En el caso de los equipos de producción la espera de sello tiende a ser mayor en los turnos A y C, esto puede explicarse directamente por la condición de seguridad en dónde se evita el funcionamiento de los equipos de movimiento tierra en la noche en los bordes de la mina, debido a la polución que se genera en la mina y sin luz natural.

Por lo tanto, como bien se ha dicho en la descripción, esta espera se produce exclusivamente por la disponibilidad de los equipos de movimiento tierra, por lo que es imprescindible pedir un compromiso de esta área para que se cumpla una cierta disponibilidad de sus equipos a favor de las perforadoras.

Aun así, los ingenieros de perforación juegan un rol importante, ya que teniendo el conocimiento de la planificación semanal y el avance de las perforadoras pueden gestionar con anterioridad esta necesidad, teniendo en consideración que los equipos de

movimiento tierra no realizan sello sin luz natural, por lo tanto, se debe evitar que una perforadora quede en esta espera en el turno C.

La idea principal es que el jefe de perforación revise con anticipación la zona donde tiene que ir a perforar el equipo, de esta forma identificar cuáles son los trabajos necesarios que deben ser realizados para dejar un área apta para la perforación dentro del turno B. Estos pueden ser:

- Limpieza de piso
- Confección de pretil
- Limpieza de borde
- Limpieza de pata

También es importante conocer cuáles son las condiciones que entrega movimiento tierra a esta tarea:

- Disponibilidad de los equipos aprox. 65%
- Único equipo destinado a sello de perforación es el tractor oruga
- Equipos nominales de tractores orugas igual a 18
- Como prestan servicio en toda la mina, se debiesen considerar no más de 2 equipos a tiempo completo por turno para sello de perforación
- Labor se suspende cuando la polución afecta la visibilidad

Por lo tanto, como iniciativa para estas tres demoras no programadas se propone la generación de un nuevo reporte que permite visualizar el avance de los equipos en la malla de perforación. En este se podrán observar los pozos perforados, pozos sin perforar, pozos cortos y sobreperforados, de esta forma se identificará rápidamente cuánto más demorará la perforación en esa malla, considerando los pozos faltantes, pozos cortos y rendimiento del equipo.

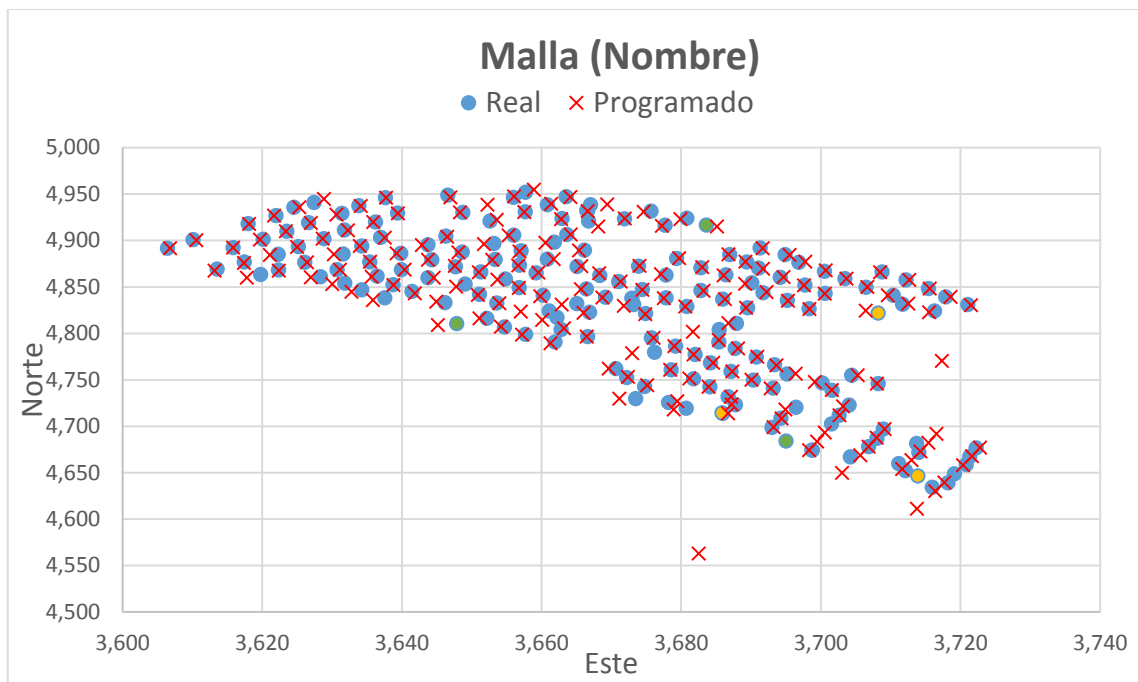


GRÁFICO 22. REPORTE DE AVANCE DE EQUIPO DE PERFORACIÓN EN TERRENO²

7.1.2. Traslado de perforadora

Corresponde al tiempo en que se dan las condiciones operacionales para que la perforadora sea trasladada y el traslado propiamente tal. Las condiciones operacionales que afectan el traslado de la perforadora van a depender en primera instancia del tipo de perforadora que se quiera mover, producción o precorte, luego de la distancia a recorrer. Dentro de las condiciones se encuentran:

- Disponibilidad de cama baja
- Disponibilidad de operador mayor y cuadrilla
- Disponibilidad de equipos de movimiento tierra
- Disponibilidad de personal de alto voltaje
- Camino que se va a recorrer (pendientes y radios de giro)
- Disponibilidad de jefe de turno
- Combustible necesario para el transporte (precorte)
- Disponibilidad del camión grúa

Esta demora es la más frecuente de todas y tiene una duración promedio de 1 hora en el turno, que representa aproximadamente un 13% de este. Existe una mayor frecuencia de traslados en los turnos B y C.

² La creación de este reporte fue consultada con el señor Aldo Olarte de Hexagon Mining, actual encargado de la generación de reportes en la plataforma Totalview. Sería posible generar este reporte a partir del mes de Noviembre 2015, una vez que la plataforma sea actualizada y contenga las herramientas necesarias para su ejecución.

De acuerdo a lo anterior la iniciativa debe enfocarse en reducir el tiempo de duración y la disminución de los traslados, que pueden ser producidos por la realización de tronaduras de menor tonelaje que requieren perforar zonas de área menor.

Como el traslado de perforadora no puede disminuirse en cuanto al tiempo que toma recorrer la distancia, ya que va a depender de las condiciones o restricciones geotécnicas de la mina en el turno y de las condiciones del camino que se va a recorrer, hay que enfocarse entonces en la disponibilidad de los recursos necesarios, para esto es importante primero tener conocimiento de la planificación de la perforación a diario y por turno.

Actualmente, de forma semanal se realiza una planificación de los metros que debe perforar cada equipo y la ubicación que este tendrá dentro de la semana, por lo tanto, esta espera depende primordialmente de los recursos que se necesitan para llevarla a cabo. Es por esto, que se da como iniciativa un árbol de decisión que permita al ingeniero de perforación revisar con anticipación los recursos que se necesitan y gestionarlos.

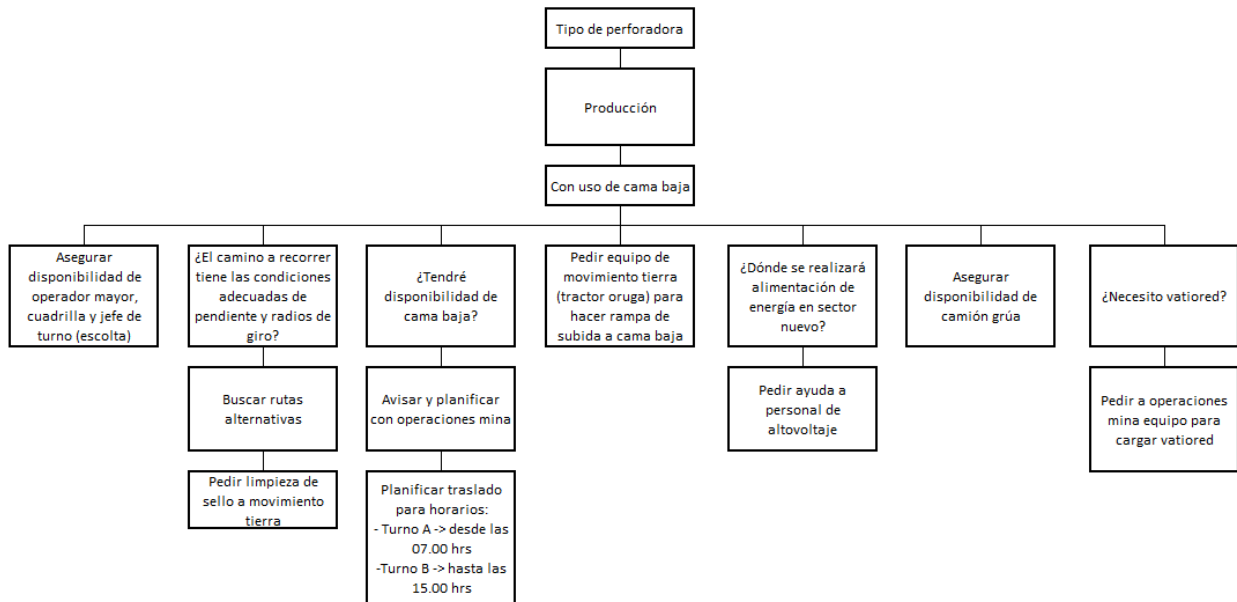


ILUSTRACIÓN 7. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA EL TRASLADO DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN CON USO DE CAMA BAJA

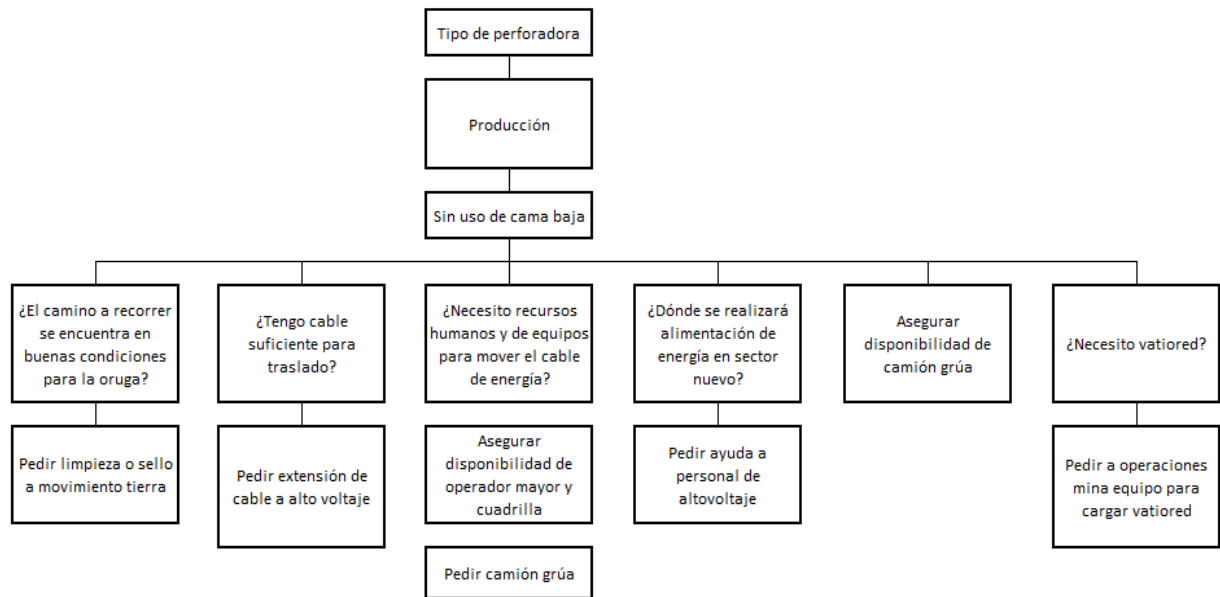


ILUSTRACIÓN 8. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA TRASLADO DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN SIN USO DE CAMA BAJA

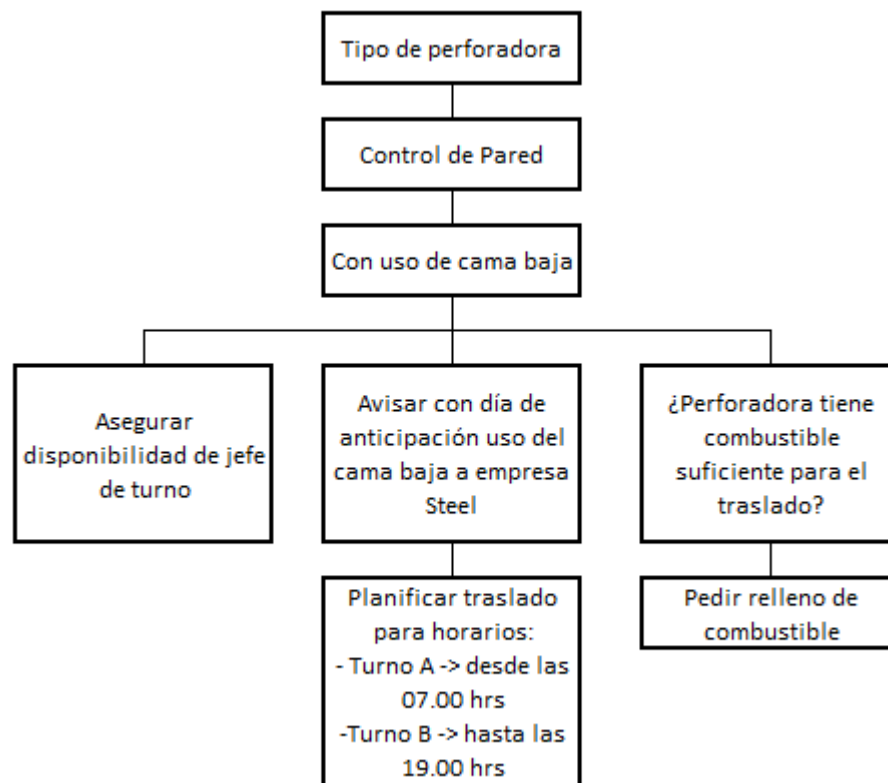


ILUSTRACIÓN 9. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA TRASLADO DE EQUIPOS DE CONTROL DE PARED CON USO DE CAMA BAJA

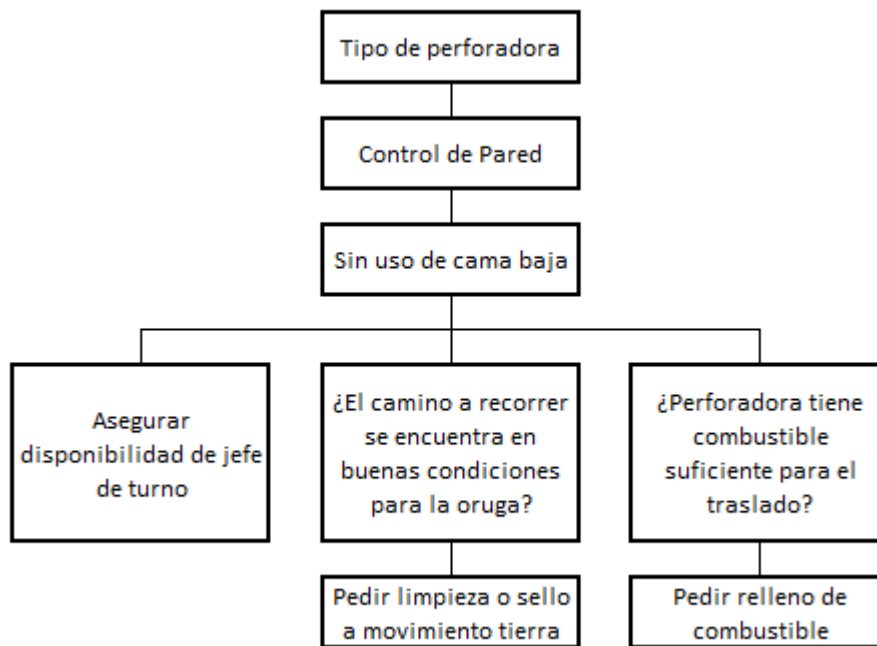


ILUSTRACIÓN 10. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA TRASLADO DE EQUIPOS DE CONTROL DE PARED SIN USO DE CAMA BAJA

7.1.3. Cambio de aceros

Esta demora si bien corresponde al tiempo que toma el cambio de aceros propiamente tal, también considera demoras por tema de recursos que no se tienen a tiempo, no solo materiales, sino que de personal calificado para realizar ciertas tareas. Es por esto que primeramente se propone una iniciativa que complementa los procedimientos actuales, en donde, se planifica el desgaste de los aceros para prever cuando se realiza el cambio de aceros y poder gestionar con antelación. Luego, se propone un árbol de decisión para que el ingeniero de perforación o jefe de turno tenga una guía en cuanto a los recursos que requiere según el tipo de perforadora a la que se va a atender.

Ingreso de cambios de aceros a sistema MineOPS

La Gerencia Mina de Chuquicamata, a través de cada Superintendencia, busca el aumento del valor que entregan las operaciones por medio de iniciativas de mejoras en los procesos, dentro de éstas iniciativas se encuentra incrementar el uso del Sistema MineOPS, que corresponde a un sistema de alta precisión para perforadoras, el que permite visualizar en línea las ubicaciones de las perforadoras, ver los estados que los operadores van ingresando, las mallas de perforación, y los índices operacionales de los equipos.

Los módulos existentes en este sistema permiten el ingreso de los estados de los equipos que corresponden a los tiempos definidos según la norma ASARCO, ver la malla de perforación e ir corroborando cuáles son los pozos que en terreno ya han sido perforados y cuáles no, se puede conocer la profundidad actual que lleva perforando el equipo, ingresar el cambio de aceros, entre otros.

A pesar de que la instalación de este sistema se realizó en el año 2009, al pasar de los años se ha privilegiado por parte de los operadores el uso del sistema manual de obtención de datos, que corresponde al sistema de perforación (AIDP), por lo que, el sistema MineOPS no ha sido utilizado en la totalidad de sus módulos, es por esto que se presenta la iniciativa de aumentar el uso de este sistema y una posterior migración a este, permitiendo monitorear los indicadores operacionales en línea.

En el desarrollo de esta iniciativa se ha re-instruido a los operadores, abarcando temas como la interfaz gráfica del usuario, utilización de módulos, reconocimiento de mallas de perforación e identificación de pozos diseñados en ella, ingreso de parámetros de aceros, modelo de tiempo ASARCO, etc.

La información que se puede extraer del módulo cambio de aceros corresponde a los metros y horas que se utiliza cada acero del equipo, las características inherentes a este (fabricante, modelo, código stock, número de serie), fecha de instalación y motivo por el cual que se realiza el cambio.

Planilla extraída de TotalView

Totalview corresponde a la plataforma que entrega toda la información procesada de los datos en línea que se ingresan en el sistema MineOPS por parte del operador.

Según lo que se ingresa en el módulo aceros en esta plataforma se descarga una planilla Excel llamada "reporte_aceros.xls" que contiene la siguiente información por perforadora:

- Nombre acero
- Marca
- Modelo
- Serie
- Fecha de instalación
- Turno de instalación
- Grupo de instalación
- Metros

DETALLE CAMBIOS ACEROS

Fecha Inicial: 1/7/2015 Turno Inicial: A ** Fecha Final: 31/7/2015 Turno Final: C

Aceros Cambiados												
Perforadora	Nombre Acero	Marca	Modelo	Serie	Fecha Instalacion	Turno Instalacion	Grupo Instalacion	Fecha Cambio	Turno Cambio	Grupo Cambio	Metros	Razon de Cambio
Total											#Error	
Aceros Actuales												
Perforadora	Nombre Acero	Marca	Modelo	Serie	Fecha Instalacion	Turno Instalacion	Grupo Instalacion	Metros				
					06/10/2012 09:38:19	A	G3	0				
Total Acumulado								0				
PE359	Tricono	W L S	Otro	1480312_WL S_60	12/09/2012 14:40:21	B	G4	718.38				
Total Acumulado								718.38				
PE361	Tricono	Russia	Otro	0201211	24/07/2012 15:22:30	B	G2	287684.69				
	Tricono	Russia	Otro	0070612	13/12/2012 10:48:55	A	G4	257559.39				
	Tricono	Russia	Otro	1000581	16/01/2014 00:55:52	C	G4	139621.15				
	Tricono	Russia	WLS60	0830113	14/02/2014 06:30:19	A	G1	133994.35				
	Tricono	Russia	WLS60	2121106	20/07/2013 06:14:58	A	G4	192969.89				
	Tricono	Russia	WLS60	2121102	08/08/2013 17:40:38	B	G4	185554.41				
	Tricono	Russia	WLS70	2110237	23/05/2013 03:00:45	C	G1	209291.18				
	Tricono	Russia	WLS70	3010977	18/08/2014 11:29:55	A	G4	83573.28				

ILUSTRACIÓN 11. REPORTE DE ACEROS QUE ENTREGA PLATAFORMA TOTALVIEW

En general, el cambio de aceros en equipos de control de pared tiene una menor duración que los equipos de producción, debido a la envergadura de estos últimos. Si bien los equipos de producción tienen una mayor frecuencia en el rango de duración de 0-1.5 horas, cuando presentan duraciones mayores a 4 horas estas tienen mayor significancia en el turno reduciendo el tiempo efectivo.

Creación de semáforo para indicar cambio

Con la finalidad de mejorar la gestión del cambio de aceros, se propone planificar el cambio de éstos en base a un semáforo que permite visualizar con anticipación lo que se debe hacer. El objetivo de este semáforo es que indique cuándo es recomendable cambiar el acero según los metros perforados y con diferente énfasis de trascendencia.

Los rangos de importancia que se indican con distinto color se calculan en base al promedio histórico de la duración de los aceros y la desviación estándar de estos datos según la perforadora y marca del acero.

Como actualmente no se tiene un registro histórico confiable de los cambios de aceros, se recomienda mejorar la utilización del sistema para posteriormente con al menos dos meses de data se calcule el promedio histórico y desviación estándar de los datos, de tal forma que mensualmente se vaya actualizando esta información, haciendo énfasis que debe ser por perforadora y marca de acero.

Color amarillo

Cuando el semáforo indica color amarillo significa que es tiempo de solicitar que esté disponible el acero para esa perforadora, es decir, que se pueda pedir y transportar el stock de bodega a la casa de cambio para tener el recurso a mano cuando se requiera.

Para que el semáforo indique color amarillo se debe cumplir la siguiente condición,

$$(promedio\ duraci3n - desviaci3n\ estandar\ duraci3n) \leq metros\ perforados < promedio\ duraci3n$$

ECUACIÓN 9. CONDICIÓN QUE INDICA COLOR AMARILLO EN CAMBIO DE ACEROS

Color rojo

Cuando el semáforo muestre color rojo significa que es tiempo de realizar el cambio del acero, ya que este puede fallar, ha alcanzado su vida útil, etcétera.

Para que esto suceda se debe cumplir la siguiente condición,

$$promedio\ duraci3n \leq metros\ perforados$$

ECUACIÓN 10. CONDICIÓN QUE INDICA COLOR ROJO EN CAMBIO DE ACEROS

Color verde

Cuando el semáforo indique color verde significa que se puede continuar perforando con el acero.

$$metros\ perforados\ (equipo, marca) < (promedio\ duraci3n - desviaci3n\ estandar\ duraci3n)[m]$$

ECUACIÓN 11. CONDICIÓN QUE INDICA COLOR VERDE EN CAMBIO DE ACEROS

¿Cómo gestionar en la operación el cambio de aceros propiamente tal?

Se confecciona un mapa conceptual donde se indican los recursos necesarios ya sean personas o equipos para efectuar el cambio de aceros dependiendo del tipo de perforadora.

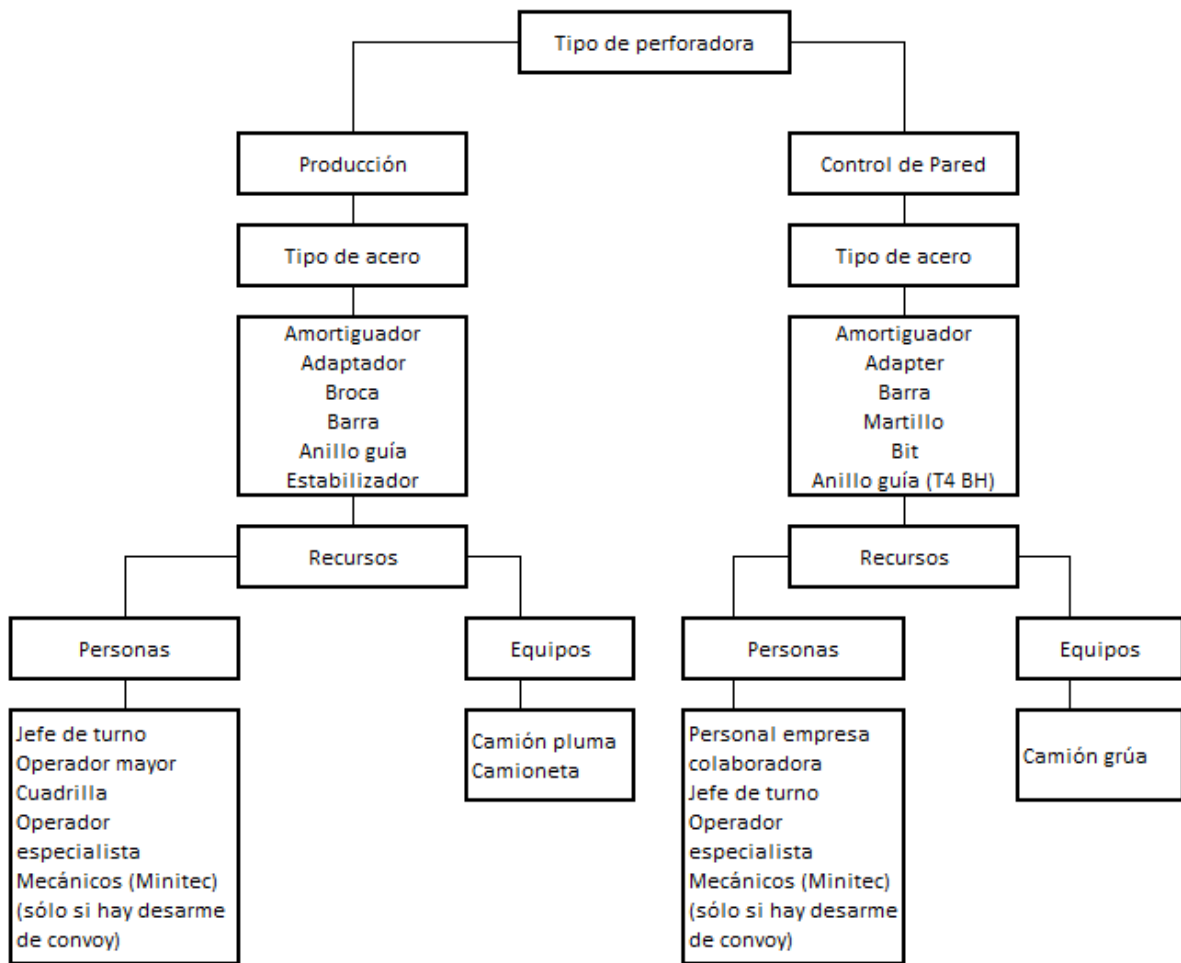


ILUSTRACIÓN 12. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA CAMBIO DE ACEROS

7.1.1. Espera por tronadura

Esta espera comprende el tiempo en que el equipo es librado de la zona a tronar, muchas veces ocurre que los equipos quedan en este estado cuando la perforadora necesita alimentación de energía después de una tronadura, o debe ser trasladada.

Esta demora tiende a efectuarse con mayor frecuencia en el turno B, tendiendo a una duración de 1-2 horas, el promedio de la duración en el turno en equipos de producción es de 2.1 horas que representa un 26% del turno y en equipos de control pared es de 1.3 horas correspondiente a un 16% del turno.

Se recomienda disminuir la duración de esta demora utilizando el tiempo en una demora programada, por ejemplo: cuando la tronadura se realiza en el turno B a las 17.00 horas, se propone que los operadores puedan hacer uso de su tiempo de colación. De esta forma, el tiempo destinado a tronadura se utiliza principalmente en colación de los operadores, y el tiempo que era destinado a colación pase a ser tiempo efectivo.

7.1.2. Espera energía/combustible

Esta espera toma en consideración el tiempo que la perforadora de producción se encuentra sin energía eléctrica, ya sea después de una tronadura, por un cambio en la alimentación de energía debido al traslado a un nuevo sector, etc. Mientras que la espera de combustible se da en las perforadoras de control de pared.

Cabe destacar que como esta espera depende directamente de las áreas de alto voltaje y una empresa externa Copec, se recomienda revisar y hacer cumplir lo establecido por contrato, también es primordial ir evaluando la duración de esta demora y su frecuencia en los distintos rangos de tiempo, para ir exigiendo un mayor compromiso por parte de terceros cuando se aprecie un aumento en los valores. Además, se debe requerir que los operadores revisen constantemente el porcentaje de llenado del estanque de petróleo en el caso de las perforadoras de precorte para que éstos pidan el abastecimiento con anticipación a que el equipo quede detenido. También es de suma importancia, avisar con antelación al área de alto voltaje cuando una perforadora de producción esta pronta a ser trasladada, ya sea por librada de tronadura o por tener una nueva ubicación de trabajo.

La duración promedio por turno en espera de energía es de 2.4 horas lo que representa un 30% del turno y en espera por combustible es de 0.4 horas que corresponde a un 5% del turno. En los equipos de producción tiene a tener un promedio mayor en el turno C.

Esta demora es una de las más frecuentes en los equipos de control de pared, tendiendo siempre a rangos bajos, excepto en 2015 donde se presentan duración de 7.5-8.0 horas. La espera por energía es más frecuente en el turno B, esto puede explicarse principalmente a los traslados que se realizan, y a las tronaduras que se efectúan en este turno, dejando sin alimentación de energía a las perforadoras de producción.

7.1.3. Espera de agua

Esta demora corresponde al tiempo en que la perforadora se encuentra detenida esperando que llegue el camión de agua y su posterior abastecimiento. La empresa encargada del suministro de agua es Besalco la que cuenta con cuatro camiones aguateros para abastecer no solo a perforación sino que también a otros equipos dentro de la mina, su jornada de trabajo se realiza en turnos de 12 horas.

Tanto en los equipos de producción como en control pared esta demora es una de las más frecuentes, su promedio de duración por turno es de 0.7 horas que corresponde a un 9% en equipos de producción y de 0.9 horas que representa un 11% del turno.

Como esta demora depende directamente de un tercero, la gestión debe realizarse en la administración de contrato. Además, hacer hincapié en que se debe buscar que esta demora represente sólo el abastecimiento de agua en el equipo y se elimine la espera de los equipos por agua quedando en pana, por lo que debe continuar analizándose esta demora mediante un histograma, para observar que no se presente en rangos mayores a 1 hora, si se presentan casos contrarios se recomienda ponerse en contacto con Besalco para exigir un mayor compromiso de parte de ellos a favor de la operación.

Igualmente, es importante que los equipos de producción estén acondicionados con un medidor del porcentaje de llenado del estanque de agua, para que el operador pueda avisar con anterioridad que necesita abastecimiento y no se permita quedar en pana por falta de esta.

7.1.4. Revisión máquina

Esta demora corresponde a una actividad que debiese realizarse al inicio de cada turno por parte del operador especialista, que consiste en la inspección del buen estado y funcionamiento de los equipos y materiales involucrados en la operación, especialmente los elementos de izaje, este procedimiento es llamado la vuelta del perro. Como esta demora es una actividad que se debe realizar obligatoriamente por turno porque lo exige la ley, y dura en promedio por turno aproximadamente 24 min en equipos de producción y 18 min en control de pared, no necesita un mayor análisis ya que es el tiempo que debiese demorarse el operador en realizar esta actividad. Actualmente se cambió la clasificación de ésta a demora programada

Es importante destacar, que estas iniciativas se enfocan en la mejora de la gestión de los recursos, por lo tanto, se espera que reduzcan el tiempo de duración de las demoras cuando éstas presentan problemas de gestión, por ende, las reducciones de tiempo por turno se realizan cuando la demora es mayor o igual a cierta duración.

Por ejemplo, cuando la espera de sitio para perforar es mayor o igual a 2 horas en los equipos de control de pared se asume que existe un problema de gestión, por lo tanto, la iniciativa otorgada, puede reducir en 0.7-1.0 hora su duración.

TABLA 10. REDUCCIÓN DE DEMORAS NO PROGRAMADAS PARA EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

Equipos de control de pared				
Demora	Rango de reducción [h]	Valor máximo de duración Permitido [h]	Beneficios	Justificación
Espera sitio para perforar	0.7-1.0	2	Planificar traslados Revisión de zona de perforación con anticipación Avance del equipo en línea Verificar acceso a la nueva posición Evitar acciones de movimiento tierra y alto voltaje en turno de noche	Tiempo promedio de la llegada de recursos para acondicionar terreno o acceso al banco
Espera marca/malla	0.5-0.7	1.5	Marcas en terreno y mallas cargadas en sistema de navegación a tiempo, es decir, antes de que el equipo se mueva a una nueva posición	Tiempo en que el ingeniero diseña la malla o el tiempo de traslado del ingeniero de perforación, jefe de turno, o personal de topografía para realizar el marcado en terreno
Espera de sello	0.8-1.0	1.5	Evitar retrasos por espera de equipos de movimiento tierra	Tiempo que representa la llegada de los equipos de movimiento tierra al área de perforación
Traslado de perforadora	0.5-1.0	1.5	Planificar traslados Recursos disponibles a tiempo	Tiempo de llegada de los recursos a zona de traslado
Cambio de aceros	0.5-0.7	1.0	Estimar posible cambio de acero Gestión de recursos	Tiempo de llegada de los recursos a terreno
Espera tronadura	0.2-1.0	1.5	Ocupar tiempo en demora no programada	Tiempo de colación

Los beneficios y justificaciones son equivalentes tanto para los equipos de control de pared como para los equipos de producción.

TABLA 11. REDUCCIÓN DE DEMORAS NO PROGRAMADAS PARA EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

Equipos de producción		
Demora	Rango de reducción [h]	Valor máximo de duración Permitido [h]
Espera sitio para perforar	0.5-2.0	3
Espera marca/malla	0.5-1.0	1.5
Espera de sello	0.8-1.0	2
Traslado de perforadora	0.5-1.0	2
Cambio de aceros	0.7-1.0	1.5
Espera tronadura	0.4-0.6	1.0

7.2. Reducción de demoras no programadas

En seguida, se muestra la metodología usada para determinar la disminución de tiempo de cada demora en el mes,

$$\frac{\text{Reducción}}{\text{mes}} [h] = \frac{\text{Reducción DNP}}{\text{Turno (DNP} \geq X)} [h] \times \frac{\text{Turnos (DNP} \geq X)}{\text{Turnos nom/mes}} [\%] \times \frac{\text{N}^\circ \text{ de turnos nom}}{\text{mes}} \times \dots$$

$$\dots \frac{\text{N}^\circ \text{ de equipos (DNP} \geq X)}{\text{N}^\circ \text{ de equipos nom/mes}} [\%] \times \frac{\text{N}^\circ \text{ de equipos nom}}{\text{mes}}$$

ECUACIÓN 12. DISMINUCIÓN DE TIEMPO DE CADA DEMORA EN EL MES

donde,

$\frac{\text{Reducción DNP}}{\text{Turno (DNP} \geq X)}$	[h]	:	Reducción justificada en el turno cuando la demora tiene una duración mayor o igual a X
$\frac{\text{Turnos (DNP} \geq X)}{\text{Turnos nom/mes}}$	[%]	:	Porcentaje de turnos en el mes donde la demora tiene una duración mayor o igual a X
$\frac{\text{N}^\circ \text{ de turnos nom}}{\text{mes}}$	—	:	Número de turnos nominales en el mes por equipo
$\frac{\text{N}^\circ \text{ de equipos (DNP} \geq x)}{\text{N}^\circ \text{ de equipos nom/mes}}$	[%]	:	Porcentaje de número de equipos en el mes en los cuales la demora tiene una duración mayor o igual a X
$\frac{\text{N}^\circ \text{ de equipos nom}}{\text{mes}}$	—	:	Número de equipos nominales en el mes

Las consideraciones según la función del equipo son,

TABLA 12. CONSIDERACIONES DE EQUIPOS DE CONTROL DE PARED PARA CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE DEMORAS

Equipos de Control de Pared					
Demoras	Valor X	Rango de reducción justificada [h]		% Turnos con demora $\geq X$/mes	% N° de equipos con demora $\geq X$/mes
Espera sitio para perforar	2.0	0.7	1.0	1.2	53.2
Espera marca	1.5	0.5	0.7	2.0	74.0
Traslado de perforadora	1.5	0.5	1.0	4.3	81.8
Cambio de aceros	1.0	0.5	0.7	2.6	71.4
Espera de sello	1.5	0.8	1.0	1.5	58.4
Espera por tronadura (Turno B)	1.5	0.2	1.0	6.7	66.2

TABLA 13. CONSIDERACIONES DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN PARA CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE DEMORAS NO PROGRAMADAS

Equipos de Producción					
Demoras	Valor X	Rango de reducción justificada [h]		% Turnos con demora $\geq X$/mes	% N° de equipos con demora $\geq X$/mes
Espera sitio para perforar	3.0	0.5	2.0	6.8	78.6
Espera marca	1.5	0.5	1.0	2.7	78.6
Traslado de perforadora	2.0	0.5	1.0	4.7	92.9
Cambio de aceros	1.5	0.7	1.0	2.5	85.7
Espera de sello	2.0	0.8	1.0	3.2	81.4
Espera por tronadura (Turno B)	1.0	0.4	0.6	15.5	97.1

De esta manera junto con el número de equipos y turnos nominales mensuales, se procede a determinar la reducción mensual de cada demora en el mes, considerando el mínimo del rango de la reducción justificada como caso pesimista y el máximo como optimista.

TABLA 14. PROMEDIO MENSUAL DE REDUCCIÓN DE DEMORAS NO PROGRAMADAS

Reducción mensual [h]	Equipos de Control de Pared	Equipos de Producción
Caso pesimista	22	73
Caso optimista	40	157

Es así, como esta disminución de horas de demoras no programadas pasan a ser utilizadas como horas efectivas, por lo tanto, la utilización efectiva aumenta.

Para determinar la mejora de la utilización efectiva, se analiza estadísticamente que sus datos representan una distribución de probabilidad normal con media 48.8% y una desviación estándar de 7.3%, en los equipos de producción, y una distribución normal

de media 51.8% y una desviación estándar de 4.4%, en los equipos de control de pared (ver Gráfico 88 y Gráfico 89), en este último caso, se utiliza la distribución de los equipos antiguos de control de pared ya que para los nuevos no se tiene aún una cantidad de datos suficientes para realizar el análisis.

Por lo tanto, considerando la distribución de probabilidad y que el promedio 2015 observado corresponde a 48.2% y 47.1% en equipos de producción y control de pared respectivamente, las probabilidades de dar cumplimiento a la planificación de mediano plazo de 2016 se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 15. RESULTADOS DE MEJORAR LA UTILIZACIÓN EFECTIVA

Equipos	UEBD Promedio 2015 [%]	UEBD Planificada 2016 [%]	Probabilidad de cumplir plan [%]	UEBD Mejorada [%]	Probabilidad de cumplir plan [%]
Producción	48.2	51.2	32	50.1-52.3	44-56
Control de Pared	47.1	50.0	25	47.9-48.6	32-38

En los resultados se puede observar que debido a la mejora de la utilización efectiva la probabilidad de cumplir con la planificación de mediano plazo para el 2016 aumenta considerablemente, en el caso de los equipos de producción con la mejora es posible alcanzar la utilización efectiva planificada, en cambio, los equipos de control de pared no logran cumplirla.

A continuación, se determinan los metros perforados que se adicionan a la producción mensual gracias a la mejora en la utilización efectiva. Para esto, se utilizan los siguientes indicadores operacionales.

TABLA 16. INDICADORES OPERACIONALES DE EQUIPOS DE CONTROL DE PARED CONSIDERADOS

Indicadores operacionales Equipos de control de pared		
Utilización efectiva [%]	47.1 ± 8.0	Promedio enero-agosto 2015
Disponibilidad [%]	74.8	Planificada 2016
Rendimiento efectivo [m/h efectiva]	30.7	Planificado 2016

TABLA 17. INDICADORES OPERACIONALES DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN CONSIDERADOS

Indicadores operacionales Equipos de producción		
Utilización efectiva [%]	48.2 ± 9.2	Promedio enero-agosto 2015
Disponibilidad [%]	75.8	Planificada 2016
Rendimiento efectivo [m/h efectiva]	27.8	Planificado 2016

Cabe señalar que en la planificación 2016 se consideran tres equipos fuera de estudio, uno de control de pared y dos de producción, por lo que, sus indicadores se dejan con los valores planificados.

Para los equipos de control de pared las horas totales reducidas en el mes en el caso pesimista son de 22.0 ± 0.7 horas, mientras que en el caso optimista corresponden a 40.0 ± 1.3 horas, por lo tanto, la cantidad de metros que se pueden aumentar en el mes están dentro del intervalo de 665 a 1,248 metros.

Para los equipos de producción las horas totales que disminuyen en el caso pesimista son 73.0 ± 2.4 horas, mientras que en el caso optimista son 157 ± 5.16 horas, finalmente los metros que se pueden aumentar en el mes están en el rango 2,101 a 4,535 metros. Considerando que la utilización efectiva puede superar el valor planificado en los equipos de producción se estudia la posibilidad de prescindir del equipo 309 en la operación dado que este perfora 1,740 metros mensuales en promedio. Para esto, es necesario que la utilización efectiva de los equipos de producción aumente a 52.7% con la finalidad de cumplir con el programa de producción sin el equipo 309, finalmente, la probabilidad de que la utilización efectiva sea mayor a 52.7% es de 42%, considerando que el valor esperado a aumentado a 51.2% gracias a las iniciativas de gestión.

7.3. Estimación del rendimiento efectivo para asignar equipos en fases operativas

Uno de los indicadores operacionales que influye directamente en la producción es el rendimiento efectivo, el que depende del pull-down de los equipos, de la calidad de la roca, dimensión de la malla de perforación, etc. Dado que no es posible reunir la información suficiente sobre la malla de perforación durante el período de evaluación se deja fuera de estudio.

A medida que se profundiza en el rajo va aumentando la densidad de la roca y la calidad de esta suponiendo que no existen fracturas importantes que la reduzcan, es por esta razón que se realiza primero que todo un estudio del comportamiento del rendimiento efectivo de los equipos en los bancos de las distintas fases operativas, ver Gráfico 109, Gráfico 110 y Gráfico 111. Se concluye que no existe una tendencia clara de la disminución del rendimiento según se profundiza en la mina en las fases 42 y 49, debido principalmente a la presencia de fracturas que reducen su calidad. Mientras que en la fase 50 se observa una tendencia proporcional pero con una gran variabilidad de los datos, por esta razón es que se decide no realizar una diferenciación por banco.

Análogamente, se estudia el comportamiento del rendimiento efectivo de los equipos por fase operativa, a través de histogramas que muestran una distribución normal de los datos, a excepción del equipo 362 que presenta una tendencia cercana a una distribución weibull en las fases 42 y 49, ver Gráfico 118 y Gráfico 119. Además, se observa una clara diferencia en la tendencia de los rendimientos de los equipos en las distintas fases.

Por lo tanto, se realiza la determinación del rendimiento efectivo de cada equipo por fase y unidad geotécnica, con la finalidad de establecer en qué fase operativa el rendimiento del equipo es óptimo. Es importante destacar que la recomendación propuesta en esta sección sólo se basa en los resultados obtenidos sin considerar el largo máximo que puede perforar el equipo, lo que es transcendental para la toma de una decisión ya que dependiendo de la fase la altura del banco cambia.

Como alcance, los equipos de control de pared y 309 no fueron considerados en este análisis debido a que no se conoce su ubicación durante el período de evaluación.

Para el estudio del rendimiento efectivo se reduce la cantidad de datos eliminando outliers, es decir, dejando los valores de este en un rango acorde a condiciones operativas normales de 10 a 45 m/h efectiva, esta decisión se toma en conjunto con el instructor de los operadores.

Los primeros resultados corresponden al promedio de los rendimientos diarios de los equipos por fase, adicionalmente se grafica el número de datos considerados para determinar el promedio, con la finalidad de establecer si es un dato representativo de la población de muestras o no y su desviación estándar con respecto al promedio para conocer el margen de error a considerar.

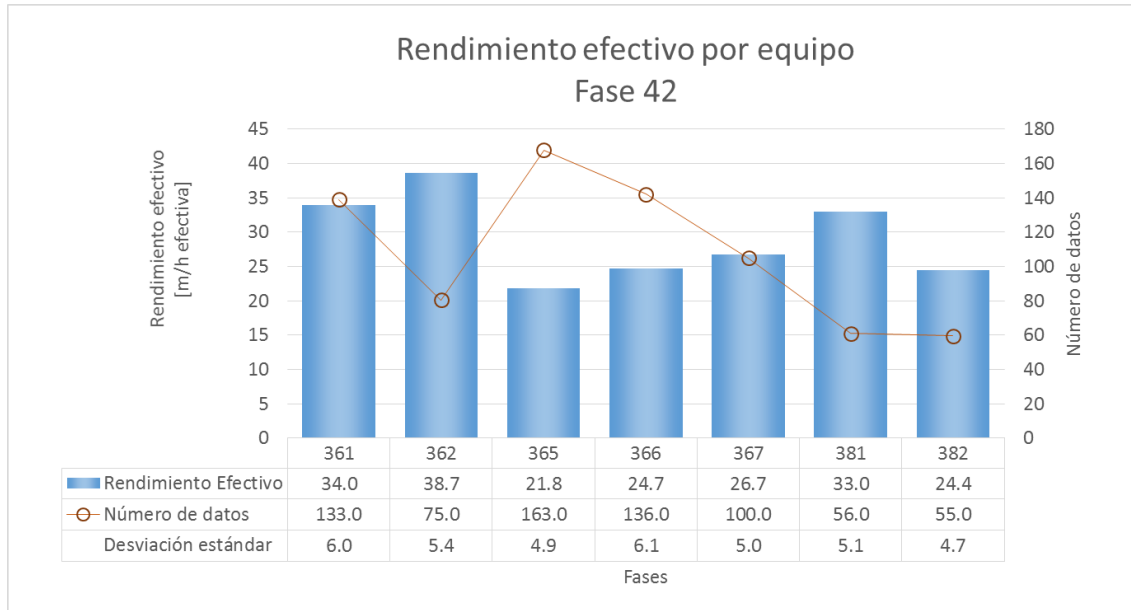


GRÁFICO 23. RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 42

En la fase 42, la flota DMH 2 y el equipo 382, muestran un menor rendimiento entre 21.8 y 26.7 m/h efectiva con un promedio de 24.4 ± 5.2 m/h efectiva. La fase 42 ubicada entre las cotas 2183-2515 se encuentra constituida principalmente por la unidad geotécnica Q=S que tiene una calidad de roca moderada debido a la presencia de diaclasas polidireccionales con una frecuencia de fracturamiento de 5-10 ff/m, además posee las unidades PEK y PEC en menor porcentaje, que corresponden a las más competentes de la mina. Los equipos con mejor rendimiento son 361, 362 y 381, con un promedio de 35.2 ± 5.5 m/h efectiva.

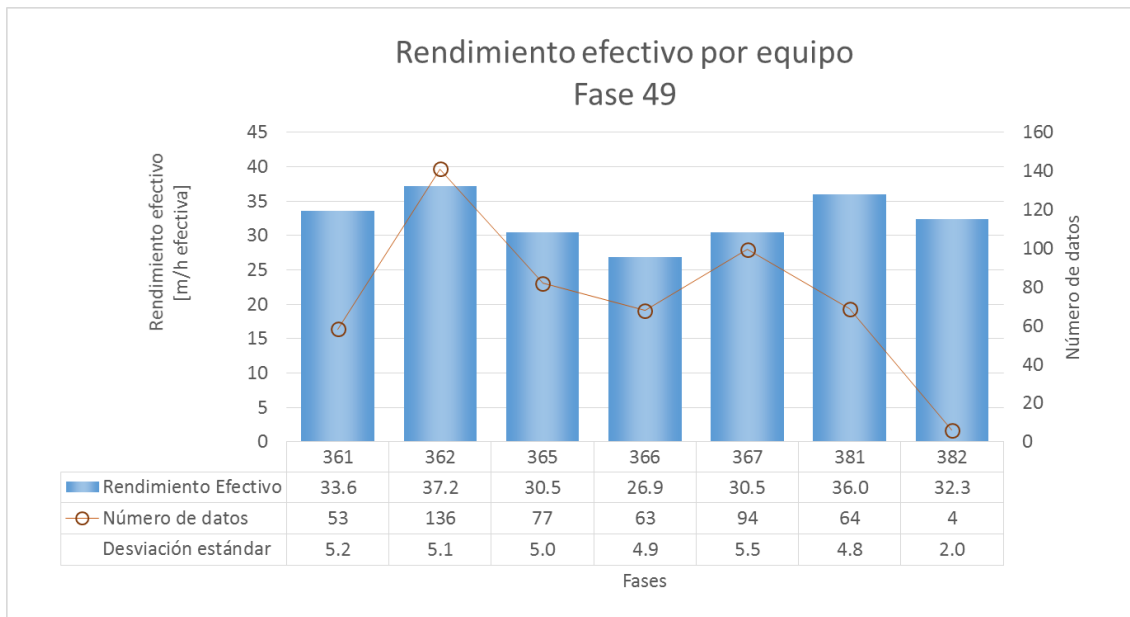


GRÁFICO 24. RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 49

En la fase 49 se observa una tendencia más homogénea de los rendimientos, a excepción del equipo 366 que posee un rendimiento de 26.9 ± 4.9 m/h efectiva, con respecto a las muestras tiene una menor confiabilidad el equipo 382. Los equipos con mejor rendimiento son 362 y 381 con un rendimiento promedio de 36.6 ± 5.0 m/h efectiva.

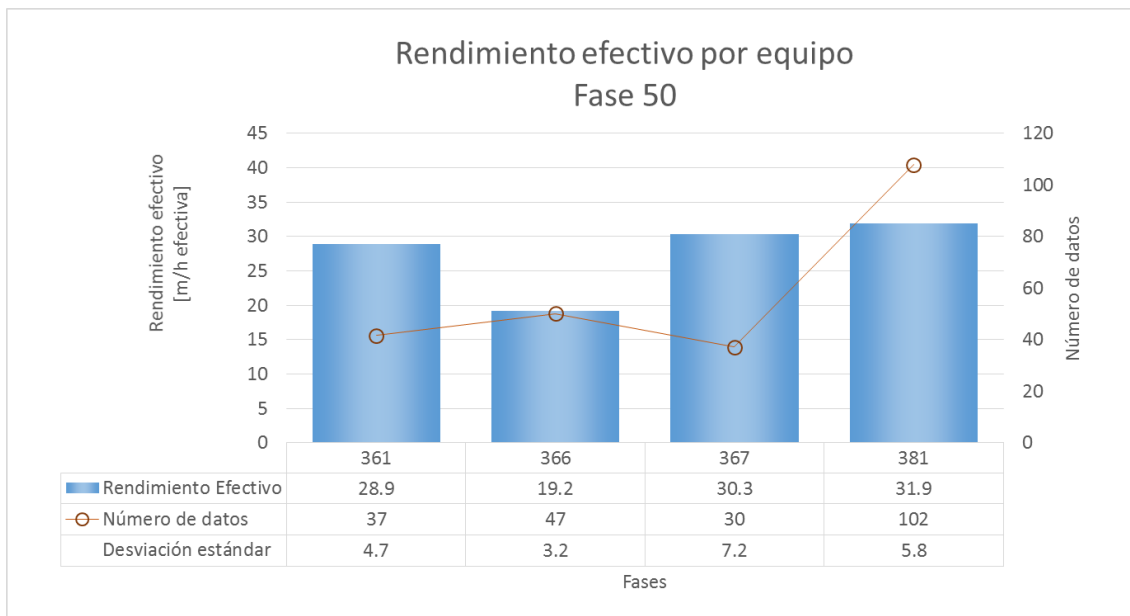


GRÁFICO 25. RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 50

En la fase 50 no se tienen muestras de todos los equipos, y el número de datos disminuye, el equipo con mayor rendimiento es el 381 con 31.9 ± 5.8 m/h efectiva, que posee una alta variabilidad.

Es importante señalar que estos resultados corresponden al promedio diario de los rendimientos, debido a que se utiliza la base de datos diaria para su análisis. Como se busca estudiar posteriormente el cumplimiento de la planificación mensual y analizar cómo cambia el valor mensual, se analiza la diferencia que existe entre el promedio del rendimiento diario y el promedio del rendimiento mensual por fase, en promedio la diferencia es de 0.1 m/h efectiva y el valor promedio de los rendimientos diarios tiende a ser menor que el mensual. Por lo tanto, en cuanto al promedio no hay gran diferencia y se utilizan los valores antes calculados, por el contrario, la desviación estándar presenta una alta diferencia, ya que al considerar los datos diarios la variabilidad aumenta considerablemente, finalmente, se determina la desviación estándar del rendimiento mensual por fase, que será entregada en los resultados finales de este ítem.

Como se puede apreciar en los gráficos anteriores, no hay muestras que permitan calcular el rendimiento en la fase operativa 49B, y en la fase 50 hay tres equipos de los cuáles no se tiene información, por esta razón, se determina un rendimiento ponderado que se calcula sumando el producto del rendimiento efectivo por unidad geotécnica por el porcentaje de cada unidad en la fase operativa. De esta forma es posible conocer rendimientos de los cuáles no se tiene información y a la vez corroborar que haya una similitud con los rendimientos conocidos por fase.

TABLA 18. PONDERADORES DE CADA UNIDAD GEOTÉCNICA POR FASE OPERATIVA

Fases	UNIDADES GEOTÉCNICAS									
	BEF	GDF	LIX HOM	MET	PEC	PEK	PES	Q=S	Q<S	ZCI
42	0.03	-	-	-	-	0.16	0.16	0.50	0.09	0.05
49	-	0.09	0.18	0.04	0.10	0.10	0.48	-	-	-
50	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
49B	-	-	0.74	0.26	-	-	-	-	-	-

A continuación se muestran los resultados de los rendimientos efectivos promedio por unidad geotécnica,

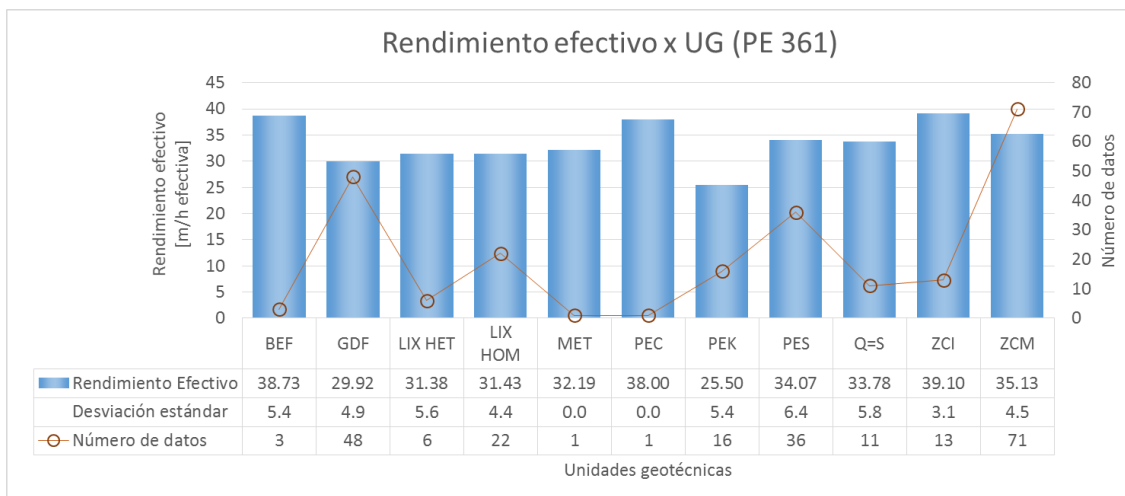


GRÁFICO 26. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 361

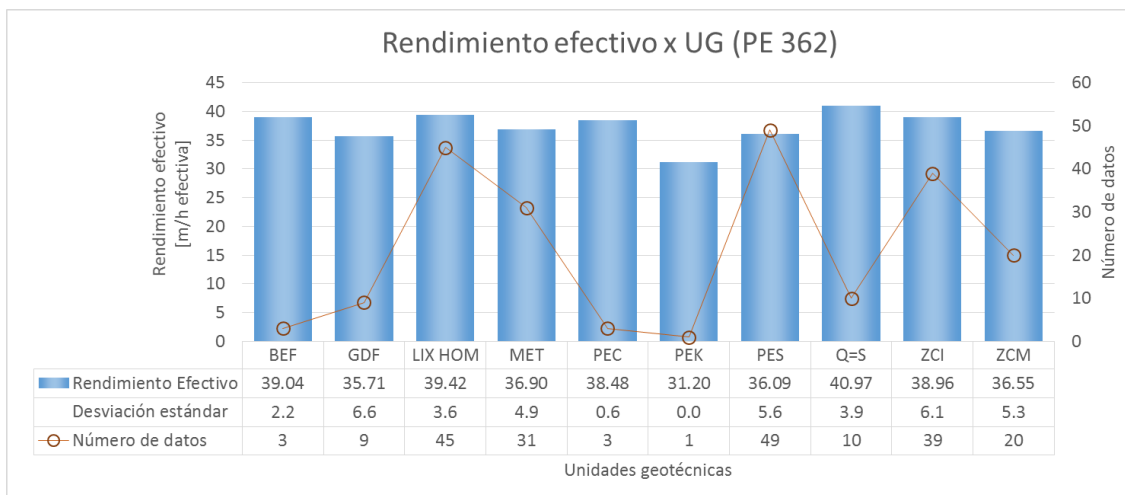


GRÁFICO 27. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 362

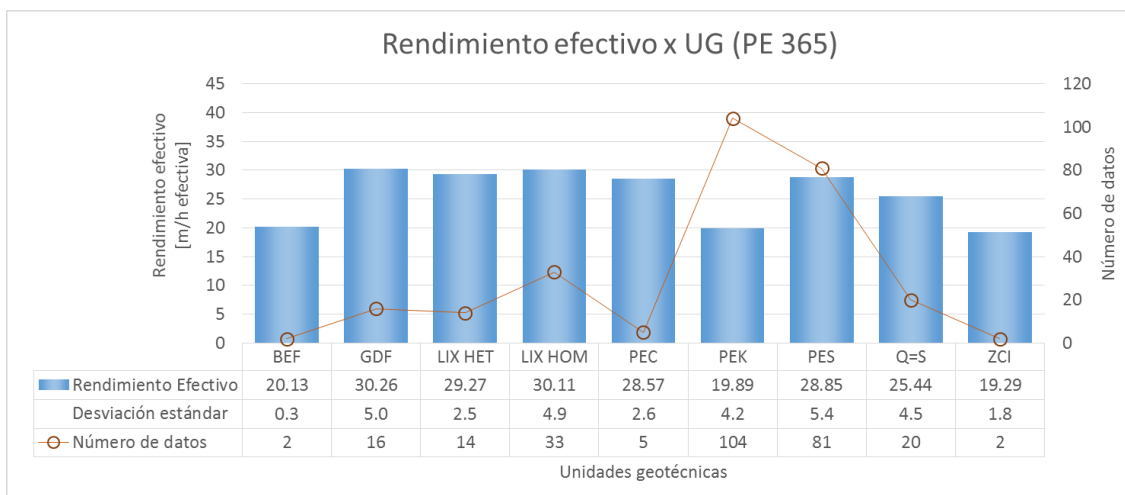


GRÁFICO 28. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 365

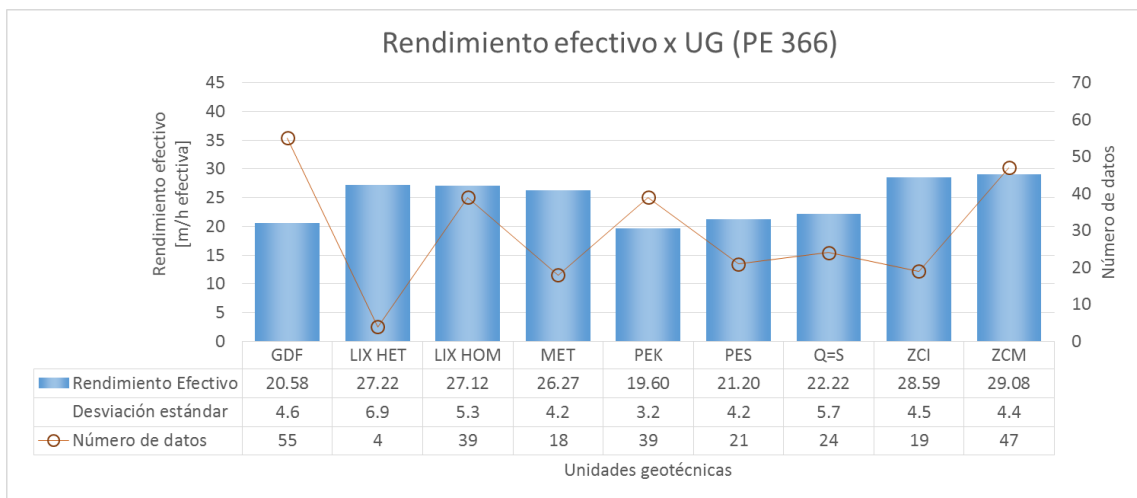


GRÁFICO 29. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 366

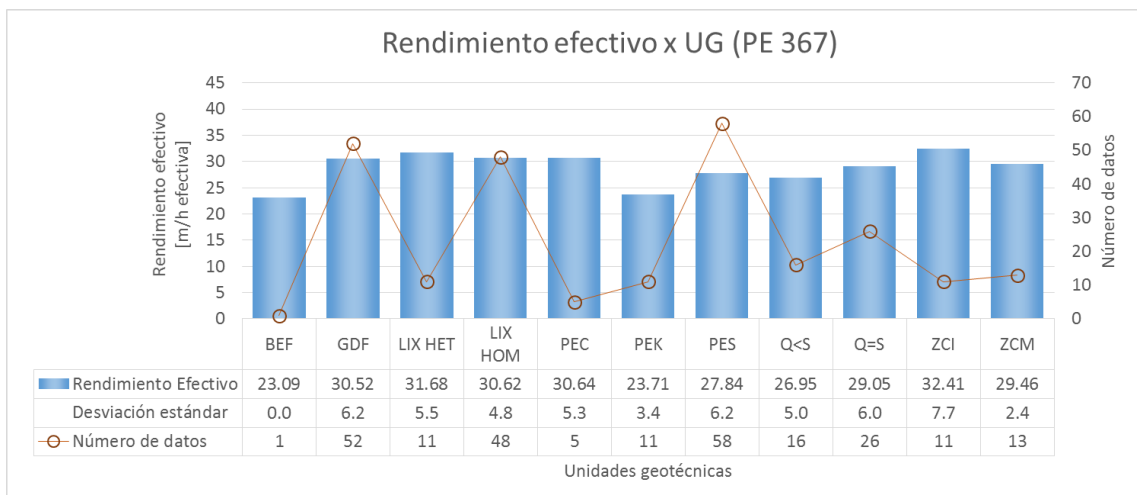


GRÁFICO 30. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 367

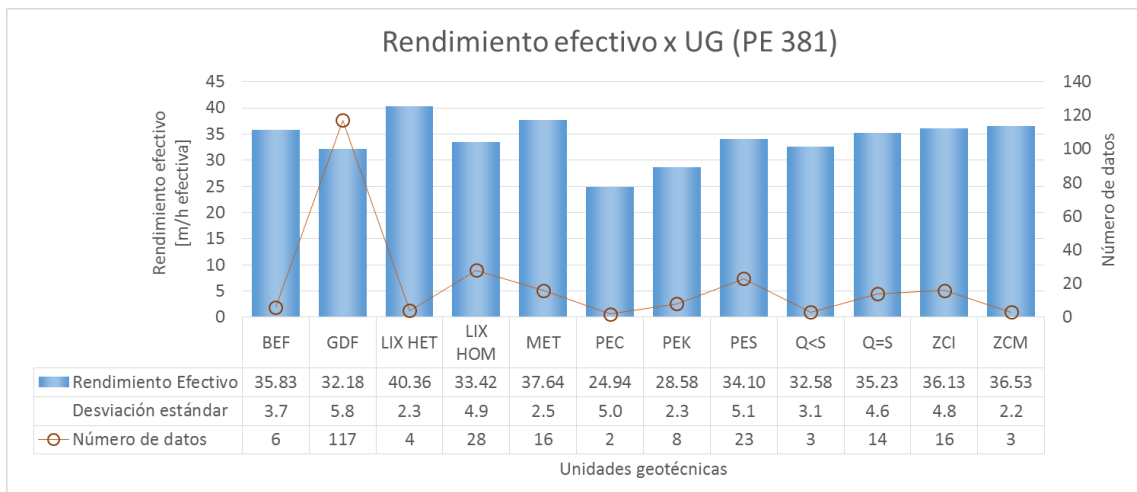


GRÁFICO 31. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 381

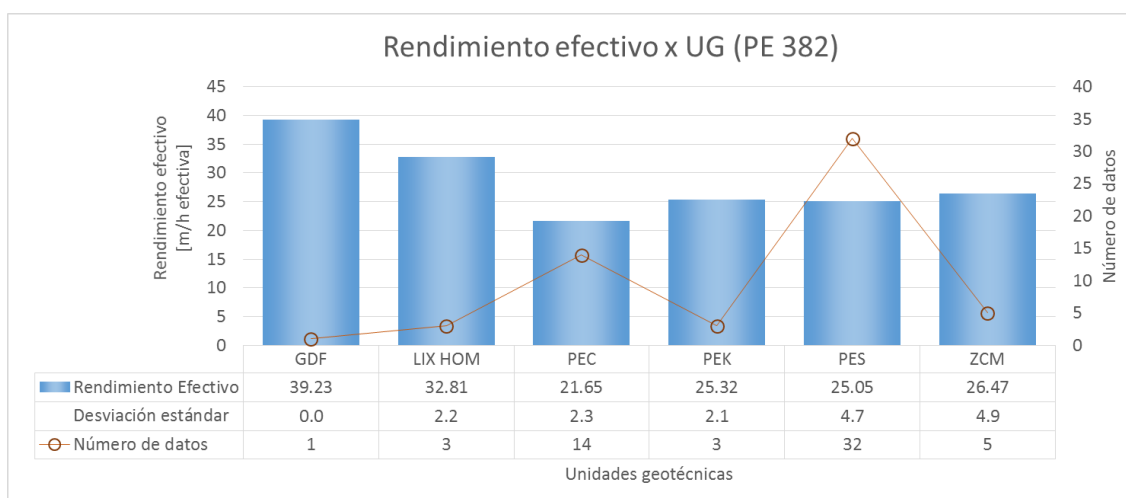


GRÁFICO 32. RENDIMIENTO EFECTIVO POR UNIDAD GEOTÉCNICA, EQUIPO 382

Finalmente, los rendimientos efectivos calculados por fase operativa son,

TABLA 19. RENDIMIENTO EFECTIVO DE CADA EQUIPO POR FASE OPERATIVA [M/H EFECTIVA]

Equipos	FASES			
	42	49	50	49B
361	-	32.4	29.9	31.6
362	-	36.2	35.7	38.8
365	-	26.8	30.3	-
366	-	-	20.6	26.9
367	27.8	27.1	30.5	-
381	33.8	32.2	32.2	34.5
382	-	26.2	39.2	-

Como primera observación, no es posible calcular los rendimientos ponderados para todos los equipos, debido a la falta de muestras en las unidades geotécnicas respectivas.

Al comparar los valores recién calculados con los rendimientos determinados en un comienzo del ítem, en la fase 42 se observa una diferencia de 0.8 m/h efectiva, en la fase 49 una diferencia promedio de 2.6 m/h efectiva y en la fase 50 de 0.7 m/h efectiva. Dado que estas diferencias no son significativas salvo en la fase 49, se prosigue en la metodología de asignación.

A modo general los mayores rendimientos en diversas unidades geotécnicas se observan en los equipos 361 y 362 que corresponden al modelo Pit Viper, principalmente porque este equipo presenta en sus características técnicas un mayor pull-down que corresponde a la fuerza de empuje que se ejerce en el terreno. Todos los equipos presentan una caída en el rendimiento en las unidades PEC y PEK.

Cabe señalar que además de ubicar los equipos conforme se obtenga su rendimiento efectivo óptimo, la prioridad es cumplir con la producción mensual que se tiene por fase en el año 2016, es por esta razón que hay diferentes números de equipos por fase. Además, se considera como valor esperado para el rendimiento el valor promedio en cada fase con su respectiva desviación, ya que la mayor parte de los equipos tienen una distribución normal y el equipo 362 presenta un número de datos mayor a 75, por lo que la esperanza de la distribución de probabilidad tiende a la media de los datos (Emery, 2011).

Finalmente, se recomienda ubicar:

- En fase 42 equipo 361, porque presenta un rendimiento promedio de 34.2 m/h efectiva con una desviación de 3.8 m/h efectiva.
- En fase 49 equipos 362, 365, 381 y 382, se ubican cuatro equipos debido a la gran producción mensual que debe lograr esta fase, la mayoría de los equipos escogidos presentan un mayor rendimiento, sus aportes en rendimiento efectivo son:
 - Equipo 362 : 37.4 m/h efectiva \pm 2.7 m/h efectiva
 - Equipo 365 : 30.1 m/h efectiva \pm 0.8 m/h efectiva
 - Equipo 381 : 36.0 m/h efectiva \pm 0.9 m/h efectiva
 - Equipo 382 : 32.3 m/h efectiva \pm 2.0 m/h efectiva
- En fase 50 equipo 367, esta fase se encuentra principalmente compuesta por Granodiorita Fortuna que posee una alta resistencia a la compresión uniaxial, el equipo 367 se ubica principalmente porque presenta un rendimiento de 30.3 m/h efectiva con una cantidad de 30 muestras que lo avalan y una desviación estándar de 5.0 m/h efectiva.
- En fase 49 B equipo 366, esta fase tiene una producción baja de alrededor de 3,600 metros mensuales, que puede ser lograda con un solo equipo, su

rendimiento ponderado es de 26.9 m/h efectiva y una desviación de 5.0 m/h efectiva.

Según un análisis estadístico mensual, el promedio mensual del rendimiento de los equipos de producción tiende a una distribución de probabilidad normal con media 30.9 y desviación estándar 2.2 m/h efectiva, ver Gráfico 90. Dadas las ubicaciones recomendadas el rendimiento mensual esperado para los equipos de producción tiende a una distribución normal con media 32.5 y desviación estándar 3.5 m/h efectiva, de acuerdo con la propiedad de suma de distribuciones normales (Lejarza & Lejarza, 2016). Inmediatamente, con estos análisis es posible observar que el rendimiento aumenta con la propuesta de mejora.

A continuación se analiza la probabilidad de cumplir con el plan mensual de 2016.

TABLA 20. RESULTADOS DE MEJORAR EL RENDIMIENTO EFECTIVO

Rendimiento Efectivo [m/h efectiva]	Promedio 2015	Planificado 2016	Probabilidad de cumplir plan [%]	Mejorado	Probabilidad de cumplir plan [%]
Producción	31.7	28.7	83	32.5	85

A continuación, se estudia la variación en la producción debido al aumento del valor esperado del rendimiento efectivo mensual. Para realizar un análisis mesurado no se considera un aumento del rendimiento efectivo del equipo 382, ya que su valor tiene poca confiabilidad por la cantidad de muestras, entonces se utiliza su valor planificado. Además, se consideran los valores planificados para el equipo 309 y un equipo arrendado.

Al considerar un promedio de rendimiento mensual de 32.5 m/h efectiva en los equipos de producción, la holgura de metros con respecto a la planificación es de 6,600 con un 50% de probabilidad de que se cumpla. Dada esta gran diferencia, se estudia la posibilidad de prescindir del equipo 309 de la operación, para esto es necesario que se cumpla con un rendimiento efectivo de 29.7 m/h efectiva, por lo tanto, la probabilidad de lograr la producción aumenta a 79%.

Por lo tanto, sería posible dejar el equipo 309 en estado stand-by y utilizarlo cuando hayan requerimientos más específicos en la operación, como ir a perforar a un sector de difícil acceso, sacando ventaja de que este equipo es neumático, también es importante considerar que su costo operacional es más alto en comparación con los otros equipos.

TABLA 21. COSTOS DE OPERACIÓN POR TIPOS DE EQUIPOS

Costo operacional [USD/m]	Equipos de control de pared	Equipo T4 BH (309)	Equipos de producción
Año 2015 (Enero-Agosto)	17.6	83.9	32.0
Año 2014	32.3	40.1	37.7
Año 2013	16.7	47.8	31.2

Las alzas de los costos de 2013 a 2014 en los equipos de control de pared y producción se deben en gran parte al aumento del gasto de mantención y reparación, mientras que la caída del costo del equipo 309 se debe a una baja en las remuneraciones.

En el año 2015 disminuyen los costos en equipos de producción y control de pared, mientras que el modelo T4 BH aumenta considerablemente, a causa de los gastos por mantención y reparación. Considerando que un 30% del costo operacional corresponde a costos variables, y que el equipo 309 perfora 1,740 metros mensuales, se podría reducir alrededor de USD 43,796 mensuales.

A medida que aumentan los metros perforados, el costo operacional de los equipos reduce. Esto se puede observar en los gráficos siguientes.

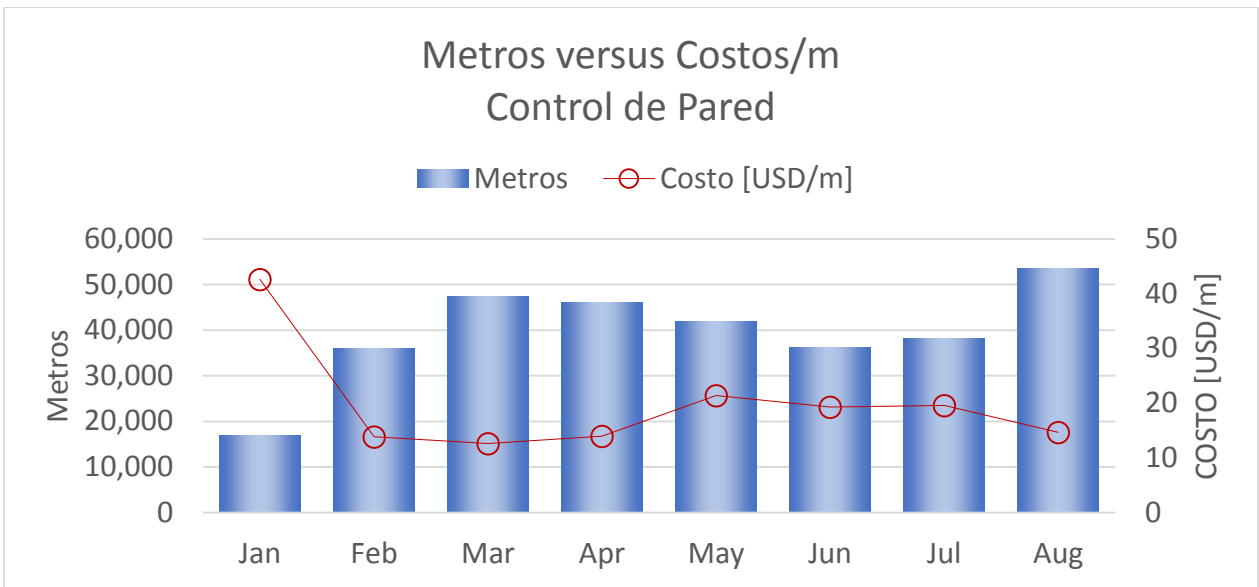


GRÁFICO 33. METROS VERSUS COSTOS/M, EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

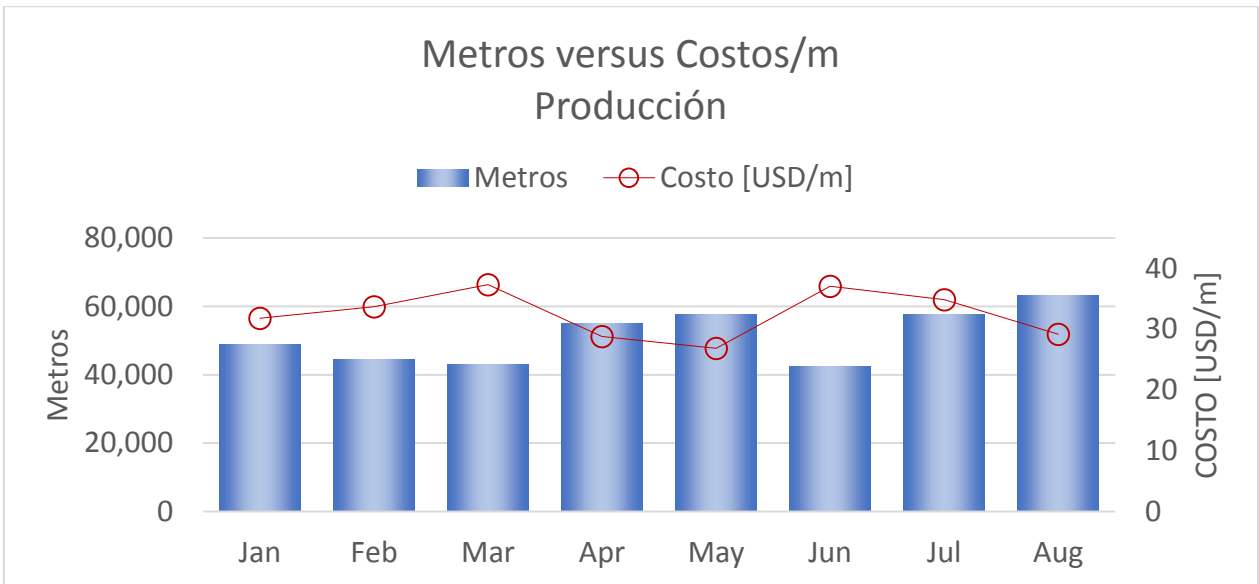


GRÁFICO 34. METROS VERSUS COSTO/M, EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

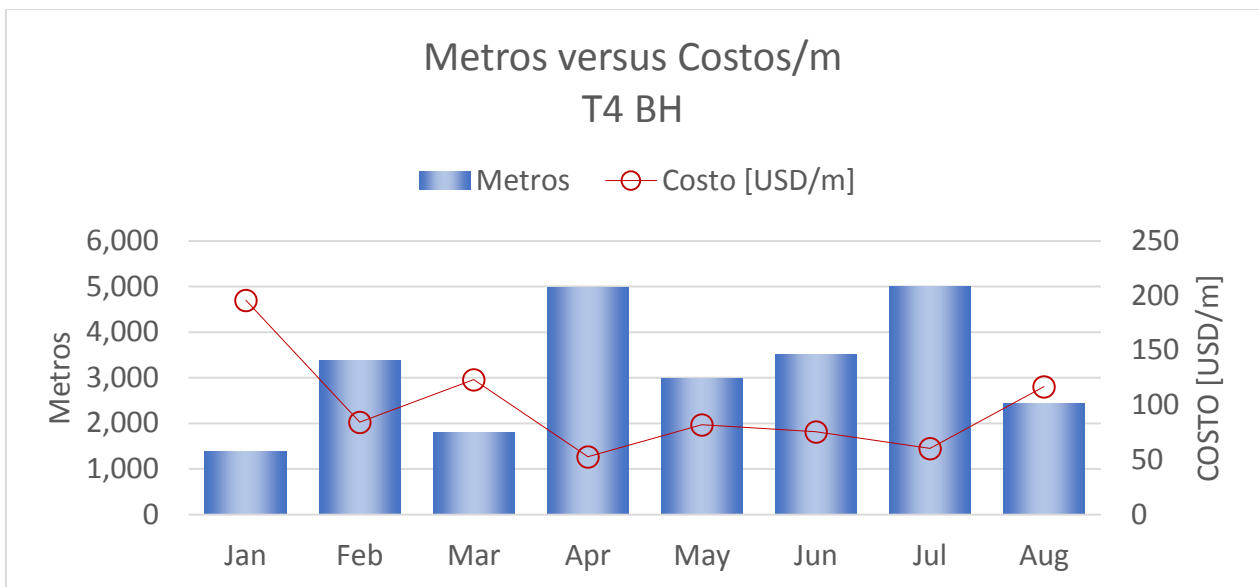


GRÁFICO 35. METROS VERSUS COSTOS/M, EQUIPOS T4 BH

En los párrafos anteriores se estudió la probabilidad de cumplir el plan de producción variando uno de los indicadores operacionales y dejando los otros con los valores planificados, es decir, suponiendo que se cumplirían con probabilidad de 100%. A continuación, se analiza la situación en que ambos indicadores varían.

La probabilidad de que el rendimiento efectivo y utilización efectiva sean mayores a los valores planificados y que ocurran simultáneamente, se determina multiplicando sus probabilidades individuales, dado que son variables independientes. Por lo tanto, en el caso sin mejora la probabilidad de lograr el plan es de 27%, en cambio, en el caso con mejora la probabilidad de cumplir el plan aumenta a 43%.

Si se considera que el rendimiento efectivo toma su valor esperado, para cumplir la planificación es necesario lograr una utilización efectiva de 45.4% de Enero a Julio y de 46.7% de Agosto a Diciembre, además si se incluye la mejora de la utilización efectiva la probabilidad de cumplir con el plan en los primeros meses es de 40% y en los últimos meses de 37%.

Análogamente, en el caso opuesto, si el valor esperado de la utilización efectiva es de 51.2%, entonces el rendimiento efectivo promedio para cumplir el plan es de 28.7 m/h efectiva, por lo tanto la probabilidad de cumplir el plan es de 43%.

Considerando un rendimiento efectivo de 30.5 ± 0.3 m/h efectiva y una utilización efectiva de $50.0 \pm 0.6\%$, es posible prescindir del equipo 309, cumpliendo la planificación mensual de 2016 con una probabilidad de $41\% \pm 3.9\%$, que representa la combinación óptima que maximiza el producto de las probabilidades de ocurrencia de ambos casos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Bajo el escenario actual que enfrenta la minería con respecto al descenso del precio de los metales en general, y más específicamente la caída en el precio del cobre que afecta directamente a empresas productoras de este metal, como lo es Codelco, se deben tomar medidas que impulsan la disminución de costos y aumento de productividad.

En una primera instancia la aplicación conceptual del modelo Balanced Scorecard permite conocer los objetivos de la operación que hacen referencia al cumplimiento de la producción, disminución de costos, cumplimiento de indicadores operacionales, etc. Además, se identifican como clientes de la operación el área de Ingeniería de Mantenimiento, Gerencia Mina, y Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, las cuales poseen objetivos que requieren de una implementación adecuada de la malla de perforación en terreno, entrega de área perforada a tiempo y uso de sistema auditable MineOPS por parte de perforación. Luego, se definen en los procesos internos de la operación las iniciativas para el logro de éstos objetivos, las cuales se centran en la disminución de demoras no programadas y aumento del rendimiento efectivo.

Posteriormente, se realiza un análisis de los indicadores operacionales principales por modelo de equipo, la disponibilidad en la mayor parte de los equipos no se logra en 2015, y posee una alta variabilidad, las caídas abruptas de disponibilidad se producen cuando un equipo de la flota queda fuera de servicio por períodos de tiempo prolongados. Dado que en este estudio la disponibilidad se deja fuera de los alcances, se recomienda analizar las causas que provocan un incumplimiento de ésta. La utilización operativa es alta de aproximadamente 93%, por lo tanto, el porcentaje de reservas es bajo, cerca de un 7%, lo que es bueno ya que reduce en menor medida las horas efectivas de los equipos. La utilización efectiva mayormente no se cumple y tiene una variabilidad alta, debido principalmente a la presencia de demoras no programadas. El porcentaje de demoras programadas en el tiempo disponible es de 8% aproximadamente, mientras que las demoras no programadas representan alrededor de un 32% del tiempo disponible.

Por lo tanto, el enfoque principal del estudio son las demoras no programadas principales, es decir, aquellas que al sumar sus tiempos de duración representan el 80% del total de demoras no programadas, y corresponden a 9 de un total de 22. Éstas son: espera sitio para perforar, traslado de perforadora, revisión máquina, espera marca/malla, cambio de aceros, espera energía/combustible, espera de sello, espera de agua y espera por tronadura. Luego, se proponen iniciativas que ayudan a disminuir los tiempos asociados a problemas de planificación y gestión de recursos. Es por esto, que cada iniciativa posee un límite mínimo para que su duración se vea afectada por un problema de gestión.

Las principales iniciativas son: la generación de un nuevo reporte que permite ver el avance del equipo en la malla de perforación, árboles de decisión que ayudan con la gestión de recursos, creación de semáforo que posibilita prever cambios de aceros y finalmente el reemplazo de tiempo de una demora no programada por una demora programada existente.

Con estas propuestas, es posible mejorar el valor esperado de la utilización efectiva de 48.2% a 51.2% en equipos de producción, y de 47.1% a 48.3% en equipos de control de pared. Además, la probabilidad de cumplir con el plan de producción variando sólo la UEBD, aumenta de 32% a 50% y de 25% a 35% en equipos de producción y control de pared, respectivamente. La cantidad de metros que se pueden aumentar en el mes son de 665 a 1,248 metros en equipos de control de pared y de 2,101 a 4,535 metros en equipos de producción.

Otra iniciativa de mejora corresponde a la estimación del rendimiento efectivo por fase operativa, para definir las ubicaciones que debiesen tomar los equipos con la finalidad de alcanzar sus rendimientos óptimos. Principalmente, los equipos que presentan un mayor rendimiento son los que poseen un mayor pull-down y corresponden a los equipos Pit Viper, por el contrario, los más bajos rendimientos se presentan en la flota DMH. Dadas las recomendaciones propuestas en esta iniciativa, el valor esperado del rendimiento efectivo en los equipos de producción aumenta de 31.7 a 32.5 m/h efectiva, y la probabilidad de cumplir con el plan de producción variando sólo el rendimiento efectivo aumenta de 83% a 85%.

Posteriormente, se analiza la probabilidad de cumplir con el plan de producción considerando que ambos indicadores cambian independientemente, en el caso sin mejora la probabilidad de lograr el plan de producción es de 27%, en el caso con mejora esta aumenta a 43%. Luego, se evalúa la posibilidad de prescindir del equipo 309, la probabilidad de cumplir con el plan es de 41%, con un rendimiento efectivo de 30.5 m/h efectiva y 50.0% de utilización efectiva.

En conclusión, se recomienda dejar el equipo 309 en estado stand-by, dado que no existe gran diferencia entre la probabilidad de cumplir con el plan con o sin este equipo, y por su alto costo operacional, lo que podría resultar en una disminución de USD 43,796.

Se recomienda realizar semanalmente un análisis factorial, tanto en los equipos de producción como control de pared, para controlar y gestionar de forma oportuna, ya que en éstos se muestra claramente el foco del incumplimiento del programa de producción, y es posible ir identificando inmediatamente sus causas. Además, se recomienda ir llevando un registro de éstas últimas para identificar cuáles son las más frecuentes y resolverlas.

La generación de un reporte que muestra el avance del equipo en la malla de perforación, tiene también por finalidad observar la implementación de la malla en terreno, es decir, se pueden medir las desviaciones de los pozos perforados y programados en el plano, identificar pozos cortos y pozos sobreperforados, que generan sobrepisos y sobreexcavación, respectivamente. Con esta información y los resultados granulométricos de la tronadura es posible analizar el efecto de la perforación, por lo que se recomienda realizar un estudio en base a esto.

La construcción de un semáforo en el reporte de cambio de aceros, también tiene por finalidad contrastar los estados de pagos de los proveedores en tiempo real.

Finalmente, la aplicación de estas iniciativas permiten aumentar la probabilidad de lograr el plan minero, aumentar la producción, mejorar el uso de recursos disponibles, aumentar los indicadores operacionales de rendimiento efectivo y utilización efectiva, generando valor en la operación sin gasto adicional y posibilitando que las operaciones aguas abajo se desarrollen normalmente.

CAPÍTULO 9. GLOSARIO

Barros anódicos: son los componentes del ánodo que no se disuelven y se depositan en el fondo de las celdas electrolíticas. El barro anódico está formado por metales tales como: oro, plata, selenio, platino y paladio, por lo que constituye un subproducto valorizado.

Bolones: rocas de gran tamaño resultantes de una tronadura, no son posibles de ser cargadas ni transportadas, por lo que deben reducirse de tamaño con un equipo pica rocas o por tronadura secundaria.

Fase de descarga: corresponde a una fase operativa que se realiza con la finalidad de reducir los esfuerzos in-situ del rajo, evitando problemas geomecánicos y asegurando la seguridad de las operaciones.

Ley de cobre: es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra.

Ley de corte: corresponde a la ley más baja que puede tener un cuerpo mineralizado para ser extraído con beneficio económico. Todo el material que tiene un contenido de cobre sobre la ley de corte se clasifica como mineral y es enviado a la planta para ser procesado, en tanto el resto, que tiene un contenido de cobre más bajo, se considera estéril o lastre y debe ser enviado a botaderos.

Malla de perforación: plano que identifica la disposición de los pozos de perforación en una zona determinada de la mina. Muestra la información de la zona, número de perforaciones, profundidad, inclinación y diámetro de perforación.

Mineral: término minero que se refiere a la masa rocosa mineralizada o recurso que es susceptible de extraerse y procesarse con beneficio económico. De esta manera, se diferencia entre mineral y estéril o lastre, que no tiene valor económico.

Reserva: es la parte económicamente explotable de un recurso mineral. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material.

Sello: superficie sobre la cual el equipo ejecuta la función para la cual fue diseñado, por lo que, requiere estar en condiciones operacionales aptas, por ejemplo: piso nivelado sin rocas de gran tamaño.

Sobrepiso: material remanente por sobre la superficie planificada post tronadura (Matulic Ríos, 2015).

CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Chacón F, J. (2008). Perforación de tronadura. *Apunte de Clases MI-47A. Depto. Ingeniería de Minas, U. de Chile.*
- 2.- Cifuentes Ceballo, D., & Muñoz Pérez, F. (Enero de 2010). Modelo de Gestión Balanced Scorecard aplicado a la Escuela de Graduados Facultad de Odonotología de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- 3.- Codelco-Chuquicamata. (Octubre de 2013). Manual de procedimiento de perforación.
- 4.- Cogno, J. A., & Steinberg, R. (s.f.). El sistema internacional de unidades SI.
- 5.- Comisión Chilena del Cobre. (2016). *Cochilco*. Obtenido de <http://www.cochilco.cl/>
- 6.- Cortes Ardiles, M. A. (Agosto de 2013). Diseño de un modelo de gestión y control para variables críticas en la cadena de valor de la operación minera Mantos Blancos. Santiago, Chile.
- 7.- Emery, X. (2011). Análisis estadístico de datos. Santiago.
- 8.- Gerencia Técnica (ENAEX). (s.f.). *Manual de Tronadura ENAEX S.A.*
- 9.- Kaplan, R., & Norton, D. (January - February de 1992). The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance. Harvard Business School Publishing.
- 10.- Kaplan, R., & Norton, D. (2007). Usar el Balanced Scorecard como un sistema de gestión estratégica. Harvard Business School Publishing Corporation.
- 11.- Lejarza, J., & Lejarza, I. (Julio de 2016). www.uv.es. Obtenido de <https://www.uv.es/ceaces/pdf/normal.pdf>
- 12.- Matulic Ríos, M. (2015). Beneficios económicos asociados a la implementación de la metodología QA/QC en perforación de operación Los Bronces. Santiago, Chile.
- 13.- Vásquez, A., Galdames, B., & Le-Feaux, R. (s.f.). Diseño y operaciones de minas a cielo abierto. Chile.
- 14.- Wetherelt, A., & Van der Wielen, K. (s.f.). Introduction to Open-Pit Mining.

ANEXO A. GEOTECNIA

A.1. Unidades geotécnicas

El yacimiento se encuentra dividido y clasificado en once unidades geotécnicas, las cuáles se describen a continuación.

A.1.1. Granodiorita Fortuna (GDF)

Esta unidad geotécnica está compuesta exclusivamente por la unidad litológica del mismo nombre. Representa la unidad de mayores dimensiones y se distribuye a todo lo largo de del talud occidental de la mina. Su macizo rocoso se caracteriza por tener una alta resistencia a la compresión uniaxial (mayor a 100 MPa), con fracturas predominantemente irregulares, selladas a ligeramente abiertas (espaciamientos menores a 1 mm); y bloques de tamaños que varían entre 10 cm a 2 m de lado, con un promedio 30 cm, que generalmente se encuentran en buen estado. Estas características permiten asignarle un RQD en el rango de 50% a 75%.

A.1.2. Zona de Cizalle Intenso (ZCI)

Esta unidad se presenta como una franja longitudinal adherida a la pared del bloque occidental de la Falla Oeste (desde el límite sur del yacimiento hasta la coordenada local N=5,500), encontrándose justamente en la zona de cizalle de dicha falla. Por su ubicación corresponde al sector de mayor grado de deformación que ha experimentado la Granodiorita Fortuna. Esta deformación es tan intensa que la textura original se encuentra prácticamente destruida, quedando sólo material de composición similar a una brecha, con numerosas discontinuidades y algunos bloques no mayores a 10 cm de lado, inmersos en una matriz arcillosa que comprende el 15% del volumen total. Estas características hacen que este material se comporte como un tipo suelo, prácticamente sin cohesión.

El macizo rocoso que compone esta unidad presenta una baja resistencia a la compresión uniaxial (entre 5 MPa a 25 MPa). Por tratarse de un material arcilloso tipo suelo se considera una frecuencia de fracturamiento superior a 16 ff/m, y un RQD entre 0% y 50%.

A.1.3. Zona de Cizalle Moderado (ZCM)

Al igual que la ZCI, esta unidad también forma parte de la zona de cizalle adosada a la traza occidental de la Falla Oeste, pero corresponde a la zona que presenta un menor grado de deformación sobre la Granodiorita Fortuna. Su macizo rocoso presenta una moderada resistencia a la compresión uniaxial (entre 25 MPa a 50 MPa). El

fracturamiento es polidireccional, y la frecuencia de fracturas varía de acuerdo al grado de deformación de los sectores (1 ff/m a 3 ff/m para los sectores de menor deformación y de 6 ff/m a 10 ff/m para los mayores). Los bloques tienen un tamaño de lado que varía de 5 cm a 1.5 m y un promedio de 25 cm. Se estima un RQD entre 50% y 70%.

A.1.4. Roca Cuarzo Sericita (RCS)

Es el resultado de la sobreimposición de la unidad de alteración Cuarzo Sericítica a la unidad litológica Pórfido Este y geológicamente se define como una roca fuertemente alterada, con cuarzo como mineral dominante el que se presenta en forma de ojos recristalizados y en vetilleos polidireccionales, esto en un agregado fino de sericita. De acuerdo al porcentaje de cuarzo y sericita en su composición se puede distinguir tres subunidades geotécnicas distintivas: Cuarzo Mayor Sericita, Cuarzo Igual Sericita, y Cuarzo Menor Sericita.

A.1.4.1. *Subunidad geotécnica Cuarzo Mayor Sericita (Q>S)*

Como su nombre hace mención, en la composición de estas rocas predomina el contenido de cuarzo sobre la sericita (con un porcentaje de cuarzo sobre el 60%). Esta subunidad se presenta en forma de vetas en la zona central de la mina (cuerpo cuarzo-sericítico) como una franja N-S, que ocupa la parte inferior del talud oeste. El macizo rocoso tiene una moderada resistencia a la compresión uniaxial. En algunos sectores se observa fracturas polidireccionales normalmente selladas, que no superan los 5 ff/m. Su RQD se estima en 75% a 90%.

A.1.4.2. *Subunidad geotécnica Cuarzo Igual Sericita (Q=S)*

Esta subunidad se presenta a todo lo largo del cuerpo cuarzo-sericítico, exhibiéndose como la de mayor extensión. Su característica principal es que el contenido de cuarzo (25% a 60%) es equivalente al de la sericita. El macizo rocoso es moderadamente resistente a la compresión uniaxial. Asimismo, en determinados sectores se observa diaclasas polidireccionales con 5 ff/m a 10 ff/m, y espaciamientos de 2 mm a 3 mm. La relativa competencia de su macizo rocoso permite asignarle un RQD entre 50% a 75%.

A.1.4.3. *Subunidad geotécnica Cuarzo Menor Sericita (Q<S)*

La presencia de cuarzo, en esta subunidad, es muy inferior a la sericita (contenido de sericita superior al 75%). Se distribuye como una franja alargada con dirección N-S, principalmente en el flanco oriental de la Falla Oeste. Su macizo rocoso posee una baja resistencia a la compresión. Se observa fracturas con frecuencias de 15 ff/m a 20 ff/m, y

aberturas de 3 mm a 5 mm, con relleno arcilloso. Debido a la mala calidad de la roca, se estima su RQD en el rango de 0% a 25%.

A.1.5. Pórfido Este Sericítico (PES)

Es el resultado de la sobreimposición de la unidad de alteración Sericítica-Potásica a la unidad litológica Pórfido Este. Se presenta como una franja N-S en el sector central Sur del yacimiento, mientras que por el sector norte no define alguna orientación preferencial. Su macizo rocoso es moderadamente resistente a la compresión uniaxial (75 MPa a 100 MPa). El fracturamiento es intenso y en direcciones no ortogonales, con bloques entre 15 cm y 35 cm de lado, y aberturas de 2 mm a 3 mm. Se estima su RQD en el rango de 50% a 75% en zonas competentes, y de 25% a 50% en zonas de mayor fracturamiento.

A.1.6. Pórfido Este Potásico (PEK)

Esta unidad es el resultado de la sobreimposición de la alteración Potásica a la unidad litológica Pórfido Este. Se distribuye en la zona central Sur como una franja discontinua con orientación noreste, mientras que hacia el Norte se presenta como porciones aisladas instruidas en la unidad geotécnica Pórfido Este Sericítico. El macizo rocoso se caracteriza por ser muy resistente a la compresión uniaxial, hecho que posiciona a la unidad como una de las más competentes de la mina. Su fracturamiento es irregular y polidireccional, con frecuencia de fracturamiento entre 1 ff/m a 3 ff/m, y bloques de 30 cm a 2 m de longitud de lado. En general, la alternancia entre sectores con fracturamientos y otros masivos, así como el alto contenido de feldespatos potásicos (de dureza superior), permiten la alta competencia geomecánica de esta unidad, cuyo RQD alcanza valores entre 75% y 90%.

A.1.7. Pórfido Este Clorítico (PEC)

Se genera como resultado de la sobreimposición de la unidad de alteración clorítica a la unidad litológica Pórfido Este. Se distribuye casi exclusivamente en la zona Sur, mientras que por el norte sólo se presenta como una franja N-S, ubicada en la parte superior del talud. Por el Oeste se pone en contacto con las unidades PES y PEK, y por el Este con los Metasedimentos y la Granodiorita Elena. Su macizo rocoso se presenta resistente a la compresión uniaxial (100 MPa). El fracturamiento es escaso, con bloques de 50 cm de lado, y casi sin presencia de fracturas abiertas. El valor de su RQD se estima entre 75% y 90%.

A.1.8. Metasedimentos (MET)

Esta unidad se compone de una asociación de rocas de origen sedimentario e ígneo (volcánicas e ígneas) afectadas por un metamorfismo de contacto y dinámico, que resultaron en rocas parcialmente metamorizadas, milonitizadas y totalmente silicificadas. Se distribuye sobre el talud Este como una franja N-S de forma continua e irregular, entre las coordenadas locales N=2,650, y N=5,050.

El macizo rocoso es moderadamente resistente a la compresión uniaxial (sobre 50 MPa). El fracturamiento es intenso sin orientaciones preferenciales, con 15 ff/m a 20 ff/m y bloques de 8 cm a 15 cm de lado. Se estima su RQD entre 25% y 50%.

A.1.9. Granodiorita Elena Sur (GES)

Está compuesta exclusivamente de la unidad litológica Granodiorita Elena. Se distribuye como una franja N-S al lado Este del rajo, y representa el límite oriental del yacimiento. Su macizo rocoso es resistente a la compresión uniaxial (sobre 100 MPa). El fracturamiento se manifiesta en direcciones bien definidas, pero no ortogonales entre sí, con bloques de 25 cm de lado y casi sin presencia de aberturas. EL RQD varía entre 50% y 75%.

A.1.10. Lixiviada (LIX)

Dentro de esta unidad se agrupan todas aquellas rocas afectadas por los procesos de lixiviación parcial o pervasiva producto de sucesivas mineralizaciones. Por el desarrollo de la mina, esta unidad sólo se presenta en afloramientos locales en sectores marginales hacia el Norte del rajo. El macizo rocoso de esta unidad se presenta resistente a la compresión uniaxial. Su fracturamiento es poldireccional con espaciamientos entre 1 mm y 2 mm, con bloques de 15 cm de lado. Se estima su RQD en el rango de 50% a 58%.

A.1.11. Brecha entre Falla (BEF)

La unidad geotécnica BEF está compuesta exclusivamente por mega brechas tectónicas producto de reactivaciones en la Falla Oeste. Se distribuye como una franja alargada N-S de espesor variable (20 m a 40 m de sección E-W), limitada por las trazas de la Falla Oeste y entre las coordenadas locales N=3,200 y N=5,000. El valor de su RQD se encuentra en el rango de 10% a 60%.

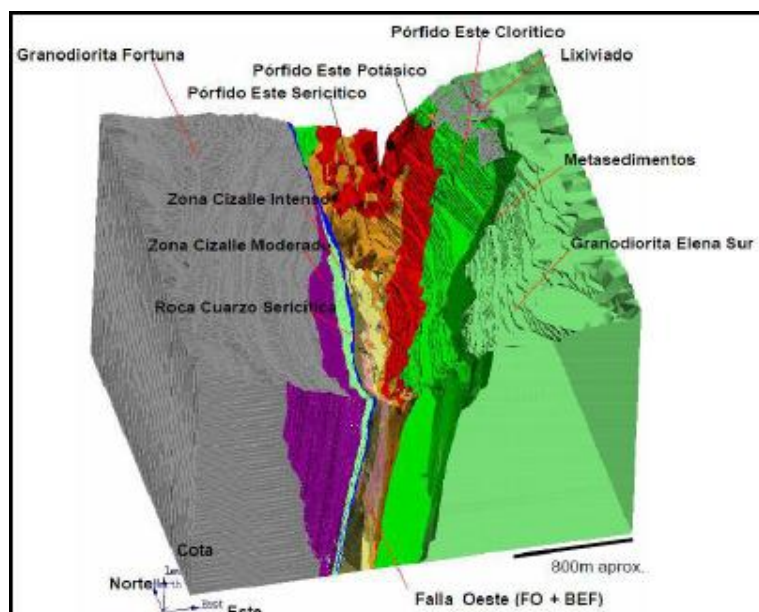


ILUSTRACIÓN 13. UNIDADES GEOTÉCNICAS DEL YACIMIENTO (FUENTE: DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA MINA CHUQUICAMATA)

TABLA 22. PROPIEDADES DE LAS UNIDADES GEOTÉCNICAS (FUENTE: DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA MINA CHUQUICAMATA)

UGTB	ρ [t/m ³]	Sc [MPa]	St [MPa]	E [GPa]	IT	Calidad
GES	2.63	100	10	33.2	50-57	Buena
GEN	2.62	70	10.3	41.4	-	Buena
MET	2.65	50	7.3	28.3	46-50	Buena
PEC	2.63	80	9.3	46	46-50	Buena
PEK	2.59	90	5.6	28.4	55-65	Buena-Muy Buena
PES	2.55	35	3.2	18.6	48-60	Buena-Muy Buena
Q>S	2.67	60	6.9	25.7	-	Buena
Q=S	2.63	40	6	17.5	50-60	Buena
Q<S	2.59	20	2	13.2	42-52	Buena
BEF	2.51	45	-	22.7	30-40	Media-Buena
ZCI	2.31	7.5	1.5	6.3	26-29	Media
ZCM	2.47	50	2.8	29.2	44-49	Media-Buena
GDF	2.59	110	11.1	46	50-58	Buena-Muy Buena
LIX	2.49	60	4.5	21.9	46-53	Buena

ρ : densidad de la roca, Sc: Resistencia a la compresión, St: resistencia a la tracción, E: módulo de Young, IT: índice de tronabilidad

TABLA 23. CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL (FUENTE: DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA MINA CHUQUICAMATA)

Resistencia a la Compresión Uniaxial [MPa]	
Extremadamente resistente	> 250
Muy resistente	100 – 250
Resistente	50 – 100
Moderadamente resistente	25 – 50
Débil	5 – 25
Muy débil	1 – 5
Extremadamente débil	0.25 – 1

A.2. Unidades geotécnicas principales por fase operativa

UNIDADES GEOTECNICAS BASICAS	
COMPLEJO CHUQUICAMATA	
	Q=S CUARZO IGUAL SERICITA
	Q>S CUARZO MAYOR SERICITA
	Q<S CUARZO MENOR SERICITA
	PES PORFIDO ESTE SERICITICO
	PEK PORFIDO ESTE POTASICO
	PEC PORFIDO ESTE CLORITICO
	MET METASEDIMENTOS
	LIX LIXIVIADO HETEROGENEO
	LIX LIXIVIADO HOMOGENEO
	GES GRANODIORITA ELENA SUR
COMPLEJO INTRUSIVO FORTUNA	
	ZCM CIZALLE MODERADO
	ZCI CIZALLE INTENSO
	GDF GRANODIORITA FORTUNA
FALLA OESTE	
	BEF BRECHA ENTRE FALLA

ILUSTRACIÓN 14. SIMBOLOGÍA UNIDADES GEOTÉCNICAS

A.2.1. Fase 42 (Banco 2219)

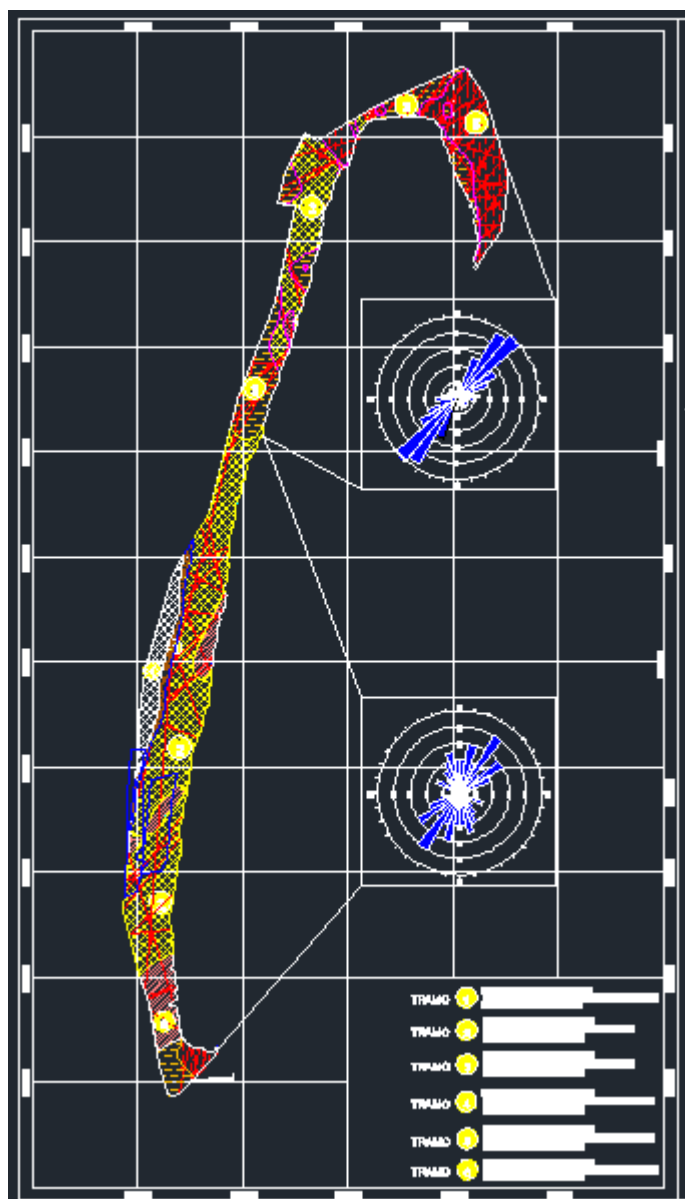


ILUSTRACIÓN 15. UNIDADES GEOTÉCNICAS FASE 42 BANCO 2219

A.2.2. Fase 49 (Banco 2705)

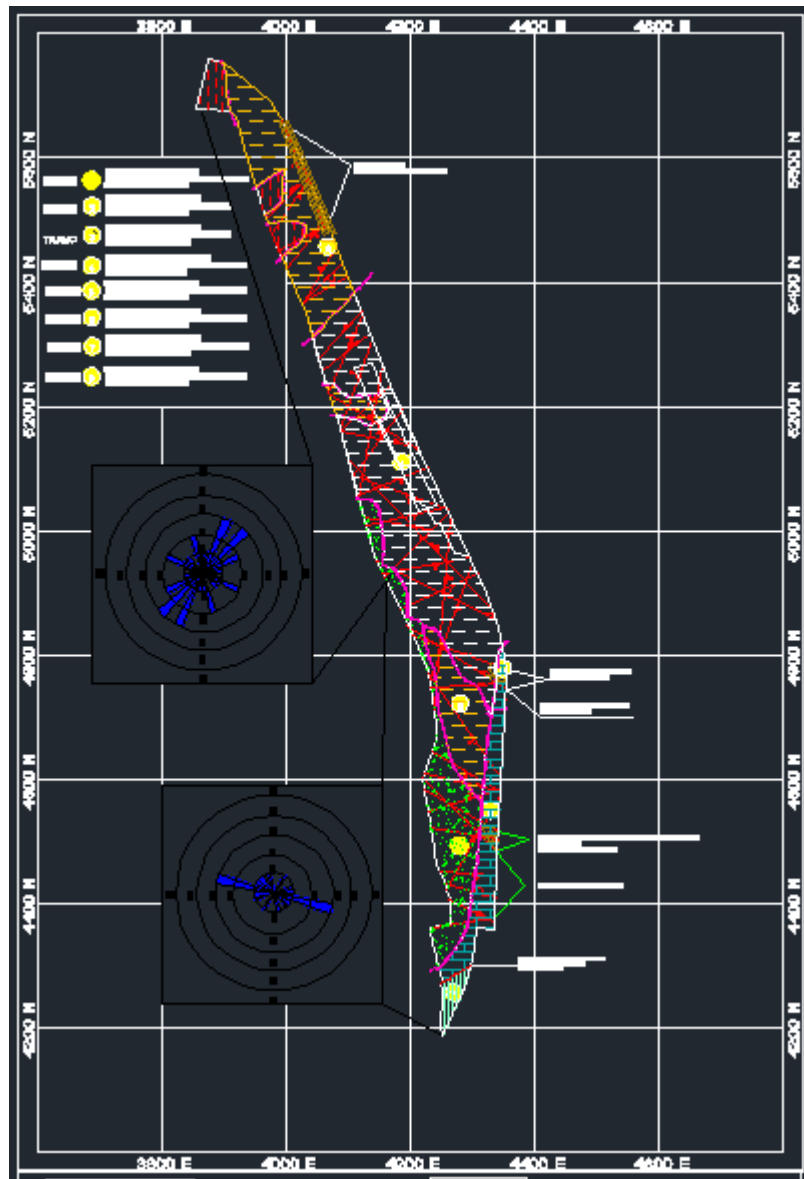


ILUSTRACIÓN 16. UNIDADES GEOTÉCNICAS FASE 49E BANCO 2705

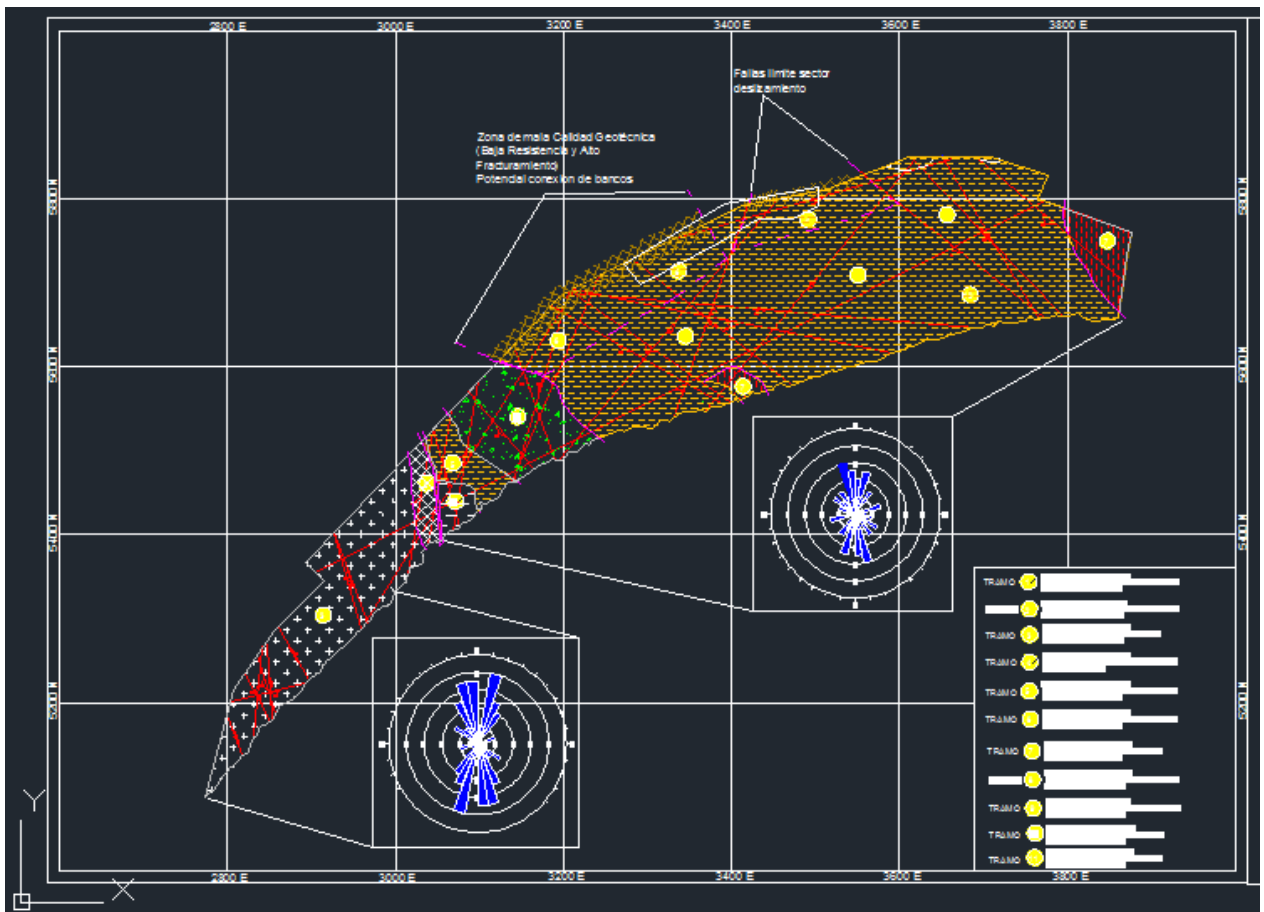


ILUSTRACIÓN 17. UNIDADES GEOTÉCNICAS FASE 49N BANCO 2705

A.2.3. Fase 50 (Banco 2866)

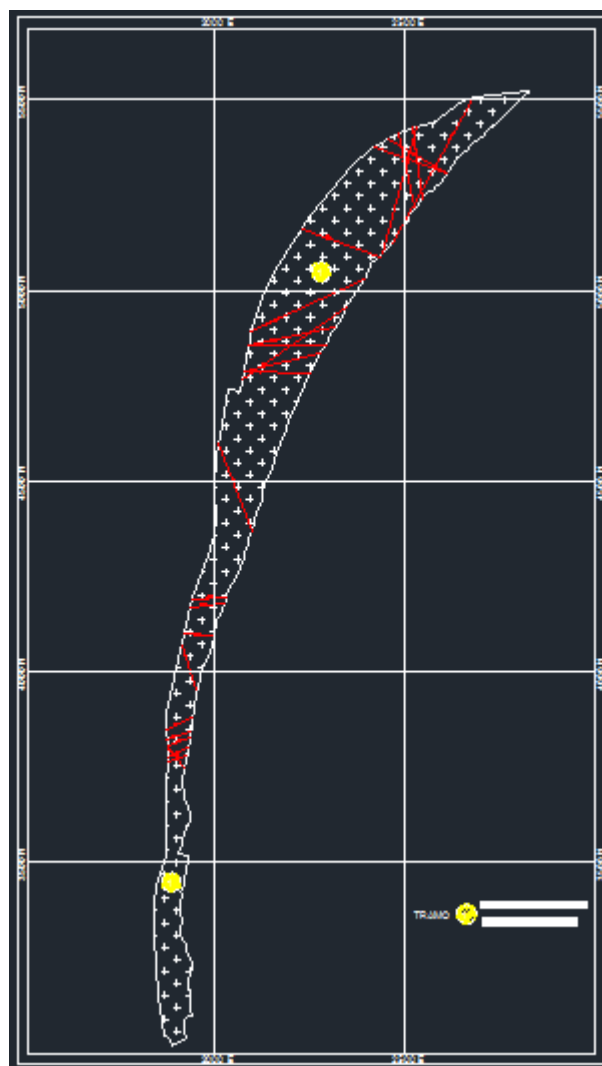


ILUSTRACIÓN 18. UNIDADES GEOTÉCNICAS FASE 50 BANCO 2866

A.2.4. Fase 49B (Banco 3019)

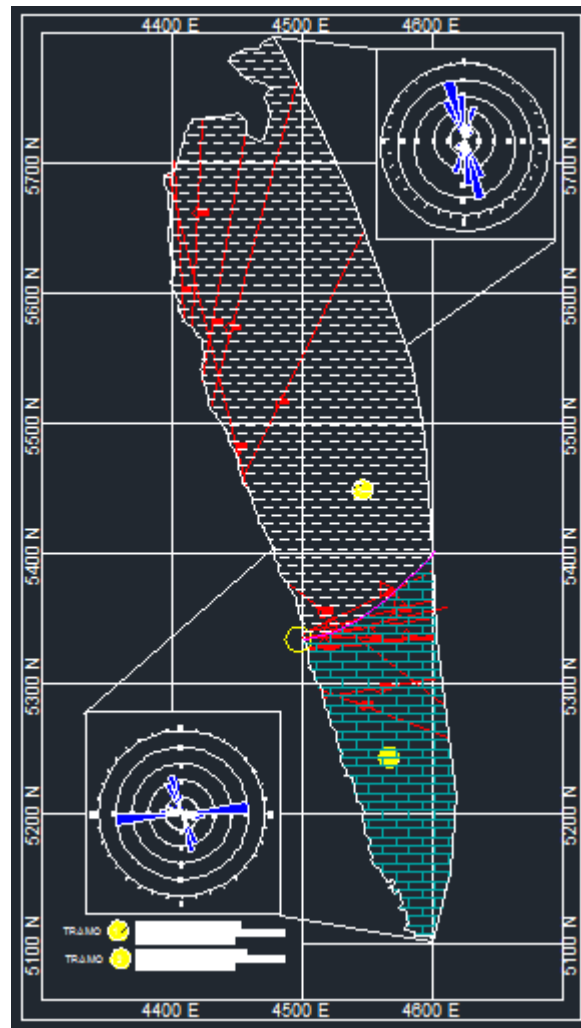


ILUSTRACIÓN 19. UNIDADES GEOTÉCNICAS FASE 49B BANCO 3019

ANEXO B. PERFORACIÓN Y TRONADURA

B.1. Características técnicas de los equipos de perforación

Existen características técnicas que diferencian a los equipos de perforación y que influyen en su rendimiento, además permiten conocer cuáles son sus ventajas y desventajas en estos términos.

TABLA 24. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PERFORADORAS (FUENTE: MANUALES DE OPERACIÓN)

	Rotación			DTH		
Especificaciones	DMH 2	Pit Viper	49 HR	Roc L8	T4 BH	DR 560
Diámetro de perforación [pulg]	9 - 12 1/4	10 5/8 - 16	10 5/8 – 12 1/4	4 1/2 - 7	5 1/8 – 7 7/8	6 1/2 - 8
Peso de operación [lb]	117,000	172,727	145,000	18,600	26,000	23,600
Capacidad pull-down [lb]	90,000	125,000	90,000	15-60 bar	13,620	10,600
Capacidad pull-up [kg]	33,750	34,091	38,250	15-60 bar	7,264	
Torque [Nm]	17,890	14,236			10,575	5,730
Velocidad máxima de rotación [rpm]	150	170	150	15-60	107	100
Cómo se utiliza	Multipass	Multipass	Multipass			Multipass
Capacidad porta barras	Cuatro barras	Dos barras	Dos barras	Ocho barras	Cinco barras	Seis barras
Motor principal	Eléctrico, 830 HP	Eléctrico, 1,200 HP	Eléctrico, 600 HP	Diesel, 820 HP	Diesel, 820 HP	Diesel, 860 HP
Motor camión	-	-	-	-	Diesel, 700 HP	-
Flujo de aire [cfm] (Compresor)	2,600	3,800 y 3,200	2,950	858	1,250	1,350
Velocidad de movilización sin barras [km/h]	2.04	2.5	2.2	3.4	1-70	Hasta 5

B.2. Tronadura

El objetivo de la tronadura es fracturar y remover el material requerido por el programa de producción, a una granulometría adecuada para su posterior manejo (carguío, transporte, chancado o botaderos).

B.2.1. Tronadura Controlada

Es importante destacar que en la Mina Chuquicamata se lleva a cabo el concepto de Tronadura Controlada, ya que al ir aumentando la altura de los bancos, tener diámetros de perforación más grandes y mayor potencia de los explosivos, esto ha significado un incremento de la concentración de energía de las tronaduras. En caso de que esta energía no sea controlada, se necesitará una disminución del ángulo de talud, lo que generaría consecuencias económicas indeseables (aumento de la razón estéril/mineral), y de seguridad como roca suelta en la cara del banco y planeación de bermas menos seguras.

Entonces, la tronadura controlada tiene por objetivo controlar la energía explosiva desencadenada por la tronadura. Las técnicas que se utilizan en la Mina Chuquicamata corresponden a tronadura de precorte y tronadura amortiguada.

B.2.1.1. Tronadura de Precorte

Consiste en una serie de tiros de una sola fila de excavación, con el objetivo de generar una discontinuidad o plano de fractura para atenuar las vibraciones de la tronadura principal. Los pozos son del mismo diámetro, 6 ½", sin pasadura y desacoplados. Su ejecución se basa en la "*Teoría del Precorte*" que consiste en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en tiros adyacentes, la colisión de las ondas de choque procedentes de los tiros, coloca la pared intermedia en tensión y origina grietas que forman el corte entre los tiros, previniendo que haya un daño mayor en la pared del banco.

Los beneficios del precorte pueden ser los siguientes: formación de una pared de banco más estable, generar el límite de penetración de la pala, obtener las bermas programadas, crear una percepción de seguridad (Gerencia Técnica (ENAEX)).

B.2.1.2. Tronadura Amortiguada

La tronadura amortiguada se define como el diseño que genera el mínimo daño posible detrás de la última fila, permitiendo que el equipo de carguío realice su operación solo hasta la línea de programa definida por dicho diseño. Para este propósito se plantea

como regla general diseñar tronadura amortiguada para las dos últimas filas, las cuáles varían principalmente con respecto a la tronadura de producción, en el diámetro a utilizar, y en la dimensión de la malla. (Gerencia Técnica (ENAEX))

En tronadura de amortiguación se tiende a utilizar diámetros menores de perforación, y mallas más reducidas con respecto a la tronadura de producción, sin embargo, existen casos que se diseñan con igual diámetro de producción pero con mallas más reducidas. Las perforadoras clasificadas en el método mecánico de percusión neumática con martillo de fondo son las encargadas del precorte y buffer o amortiguación.

B.2.2. Tronadura de Producción

Es una tronadura convencional en la que no se aplica ningún sistema de control de daño en las últimas filas, sus objetivos son separar el mineral de interés del macizo rocoso o en otro caso el material estéril para llegar al mineral y reducir el tamaño de las rocas para hacer posible su carguío, transporte y proceso de conminución. Las perforadoras utilizadas en esta tronadura son las clasificadas en el método mecánico de rotación y poseen un diámetro de 12 ¼”.

La empresa externa ENAEX es la encargada de realizar desde la primera etapa hasta el entacado de los pozos con detritus, luego la tronadura, revisión de seguridad y quema de tiros quedados.

La planificación de la secuencia de salida de los tiros y el amarre de éstos es llevada a cabo por la empresa externa Orica, mientras que la aprobación de la secuencia de salida es otorgada por supervisor de tronadura de Codelco.

Las revisiones de seguridad en el sector, librada de equipos, primer aviso y avisos posteriores y últimos, son ejecutadas por un Ingeniero de producción de Codelco.

B.3. Informe diario de perforación



**GERENCIA
MINA CHUQUICAMATA**

INFORME DIARIO DE PERFORACION

TURNO	A	B	C	
PERFORADORA				
OPERADOR				
Nº DE ARCHIVO				
FECHA				
PULVORIZADO				

Nº SERIE BROCA	
DIÁMETRO	
FABRICANTE	
TIPO DE BROCA	

NO OLVIDE DEDICAR EL NÚMERO DE SERIE DE LA BROCA EN FORMA LEGIBLE

ACOPLE DESAC BARRAS	Nº DE POZO	TIEMPO		METROS		EFECTIVO	DESCRIPCIÓN	DIRER	HASTA	TOTAL	DESE	HASTA	TOTAL	DESE	HASTA	TOTAL	DESE	HASTA	TOTAL	
		MEDIO POZO	TERMINO POZO	TIEMPO	DESTACA															PERFORADO
							PERFORANDO EFECTIVO NETO													
							ACOP. Y DESAC. BARRA													
							P.O. LIMPIEZA POZO													
							MEDIO TURNO (PROGRA)													
							CAMBIO TURNO (PROGRA)													
							REV. MAQUINA Y HERRAMIENTA													
							DEMORA POR TRONADURA													
							TRASLADO DE EQUIPO													
							ACEROS PEGADOS													
							INCIDENTE/ACCIDENTE													
							ESP. SITO PERFORAR													
							ESP. ACCESO Y/O BELLO													
							ARRESTO DE AGUA													
							ESP. MARCAWALLA													
							ESP. ENERGIA/COMBUST.													
							CAMBIO DE ACEROS													
							DEBT. BROCA O HERRAM.													
							ATENCIÓN SUPERVISOR													
							CON OPERADOR													
							SIN OPERADOR													
							REUNIONES													
							CONDICIONES CLIMATICAS													
							ELECTRICA													
							MECANICA													
							OTROS													
OBSERVACIONES																				

ILUSTRACIÓN 20. INFORME DIARIO DE PERFORACIÓN

B.4. Cálculo de equipos mina Chuquicamata

El número de equipos de perforación necesario para dar cumplimiento al plan minero, es determinado en las áreas de planificación de mediano plazo, largo plazo y perforación en operaciones mina. El cálculo que se explica a continuación es el utilizado por planificación de mediano plazo de la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, este consta de dos etapas una realizada por Geotecnia y otra por Planificación.

B.4.1. Primera parte: Geotecnia

El departamento de geotecnia define los metros de control de pared (CP) necesarios por fase para lograr el plan minero anual, para esto como primer paso se dividen las fases por zonas geotécnicas, luego se determinan los metros lineales de cada banco y su altura para llegar a piso.

Aparte por zona geotécnica se define la inclinación, diámetro y espaciamiento de los pozos de precortes, al mismo tiempo se asocia un diámetro, número de filas y espaciamiento de los pozos buffer. Con esta información y los metros lineales es posible determinar el número de perforaciones de precorte y buffer que se requieren por banco y luego con la altura de banco se calculan los metros a perforar.

TABLA 25. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA MALLA DE PERFORACIÓN

Fase	Zona geotécnica	Precorte			Buffer		
		Inclinación (α)	Diámetro	Espaciamiento [m]	Diámetro	N° filas	Espaciamiento [m]
38	7A y 1B	70°	6.5"	1.5	6.5"	2	5
	1A Y ZCI	69°	-	-	6.5"	1	5°
41	6B	75°	6.5"	1.5	6.5"	2	5
	6C (D)	75°	6.5"	2	6.5"	2	5
42 y 49	5A	70°	6.5"	2	6.5"	2	5
	5A (met)	70°	6.5"	1.5	6.5"	2	5
	5C (D)	75°	6.5"	1.5	6.5"	2	5
	4A	-	6.5"	-	6.5"	2	5
	4C	-	6.5"	-	6.5"	1	5
44	5C (D)	70°	6.5"	2	6.5"	2	5
47	2B (D)	70°	6.5"	2	6.5"	2	5
	3B (D)	70°	6.5"	2	6.5"	2	4
48	6A	70°	6.5"	2	6.5"	2	5

$$N^{\circ} \text{ de pozos (fase, banco)} = \frac{\text{Metros lineales por banco}}{\text{Espaciamiento entre pozos}}$$

ECUACIÓN 13. NÚMERO DE POZOS DE PRECORTE, 1RA FILA BUFFER Y 2DA FILA BUFFER

$$\text{Metros a perforar (fase, banco)} = \frac{N^{\circ} \text{ de pozos} \times \text{Altura de banco}}{\text{sen } \alpha}$$

ECUACIÓN 14. METROS A PERFORAR DE PRECORTE, 1RA FILA Y 2DA FILA BUFFER

$$\begin{aligned} \text{Metros anuales a perforar (fase, banco)} \\ = m \text{ precorte} + m \text{ 1ra fila buffer} + m \text{ 2da fila buffer} \end{aligned}$$

ECUACIÓN 15. METROS ANUALES A PERFORAR POR FASE

B.4.2. Segunda parte: Planificación mediano plazo

En esta etapa se determinan los metros mensuales a perforar por fase para perforaciones de control de pared y producción. Primero se recalculan los metros de control de pared incorporando un 5% debido a reperforaciones y un 20% en que se ocupan los equipos de control de pared en pozos de producción, finalmente se determinan los metros mensuales por fase.

$$\text{Metros de CP mensuales (fase)} = \frac{\text{Metros de CP anuales (fase)}}{362.5} \times \frac{\text{días nominales}}{\text{mes}}$$

ECUACIÓN 16. METROS CONTROL DE PARED MENSUALES POR FASE

Para cálculos posteriores es necesario definir el tonelaje mensual de CP por fase, para esto se determinan los metros lineales mensuales.

$$\text{Metros lineales de CP mensuales (fase)} = \frac{\text{Metros de CP mensuales}}{362.5} \times \frac{\text{días nominales}}{\text{mes}}$$

ECUACIÓN 17. METROS LINEALES DE CONTROL DE PARED MENSUALES POR FASE

Tonelaje mensual (fase)

$$= \frac{\text{Metros lineales de CP} \times \text{Ancho corrida [m]} \times \text{Altura banco [m]} \times \rho_{\min} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{1000}$$

ECUACIÓN 18. TONELAJE A EXTRAER MENSUALMENTE POR FASE PARA CONTROL DE PARED

donde,

$$\rho_{\min} = \text{Densidad de mineral, } 2.66 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Una vez conociendo el plan minero mensual por fase, que corresponde al tonelaje a extraer por Perforación y Tronadura (P&T), se calcula el tonelaje a extraer solo en producción restando al plan minero el tonelaje asociado a control de pared.

El tonelaje a extraer en producción corresponde a mineral y estéril, por lo que se dividen las fases según tipo de material; fase 42 es de mineral, mientras que las fases D50 y D49 son estéril, excepto la fase 49 que contiene de ambos. Una vez conociendo el tonelaje a extraer de mineral y estéril en cada fase se continúa calculando los metros a perforar en cada caso.

Primero se determinan los kilogramos a extraer por metro para la malla de lastre (10x10) y para malla de mineral (8x8).

Kilogramos (mineral, estéril)

Metro

$$= \frac{B \times S \times \frac{\sum_{i=1}^4 \text{Altura banco} \times \text{Tonelaje de producción}}{\sum_{i=1}^4 \text{Tonelaje de producción}} \times \rho_{\min, \text{est}}}{\left(\frac{\sum_{i=1}^4 \text{Altura banco} \times \text{Tonelaje de producción}}{\sum_{i=1}^4 \text{Tonelaje de producción}} + 2 \right)}$$

ECUACIÓN 19. TONELAJE DE MINERAL/ESTÉRIL POR METRO

Metros mensuales a perforar (tipo de material, fase)

$$= \frac{\text{Tonelaje a perforar mensual}}{\frac{\text{Kilogramos}}{\text{Metro}}} \times 1000$$

ECUACIÓN 20. METROS DE PRODUCCIÓN MENSUALES MINERAL/ESTÉRIL POR FASE

Metros de producción mensuales (fase) = Metros de mineral + Metros de estéril

ECUACIÓN 21. METROS DE PRODUCCIÓN MENSUALES POR FASE

Posteriormente se incorpora un 5% por concepto de reperfusión. Finalmente, se determinan los metros mensuales a perforar en control de pared y producción considerando los equipos actuales e indicadores como disponibilidad, rendimiento efectivo, utilización efectiva y días nominales por mes, para compararlos con la meta mensual, si no se alcanza se evalúa la incorporación de un nuevo equipo y si se cumple se continúa con la flota actual.

ANEXO C. COMPARACIÓN SISTEMA MINEOPS (JIGSAW) Y AIDP

Antes de comenzar la recopilación de datos es necesario definir qué sistema de recolección se va a utilizar, estableciendo como característica principal que provea información fidedigna y cercana a la realidad.

Para esto, se realizan gráficos en donde se comparan los promedios de los indicadores operacionales medidos por cada sistema en el período de evaluación correspondiente al año 2014 y Enero y Febrero de 2015, este análisis sólo se realiza para las perforadoras de producción, ya que en éstas se ocupan ambos sistemas.

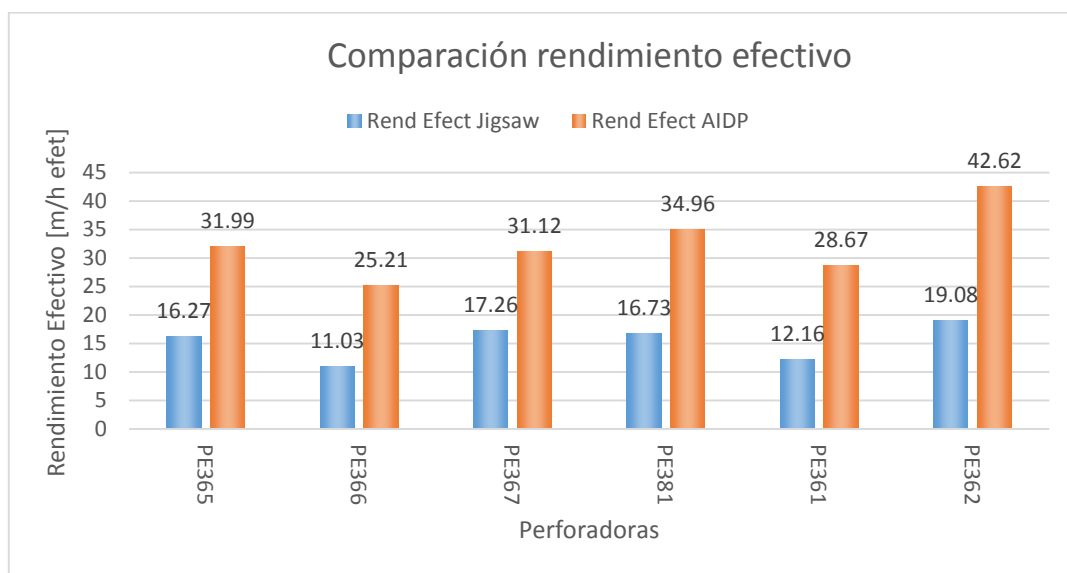


GRÁFICO 36. COMPARACIÓN PROMEDIO MENSUAL RENDIMIENTO EFECTIVO

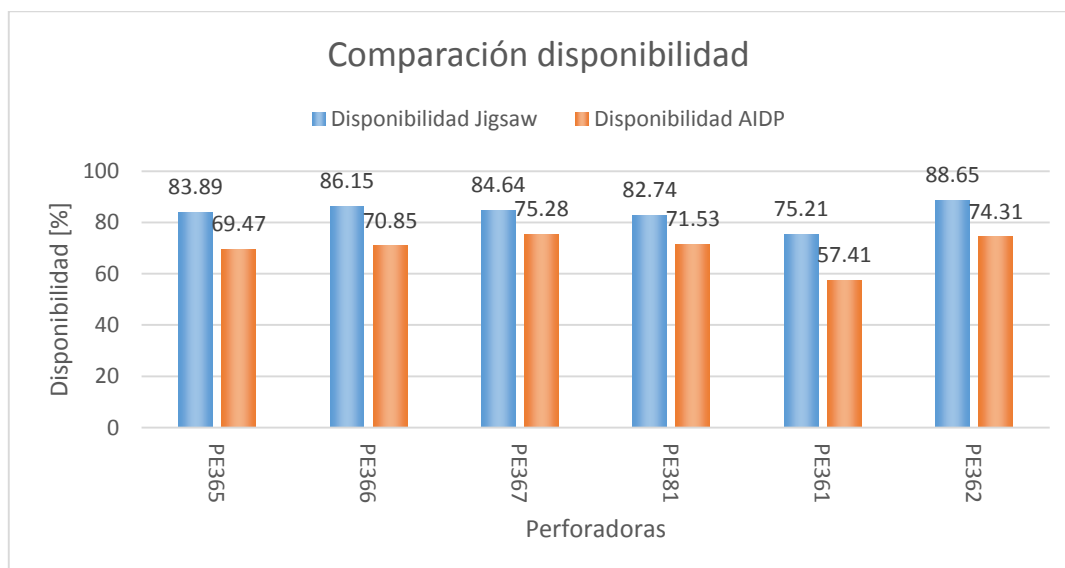


GRÁFICO 37. COMPARACIÓN PROMEDIO MENSUAL DISPONIBILIDAD

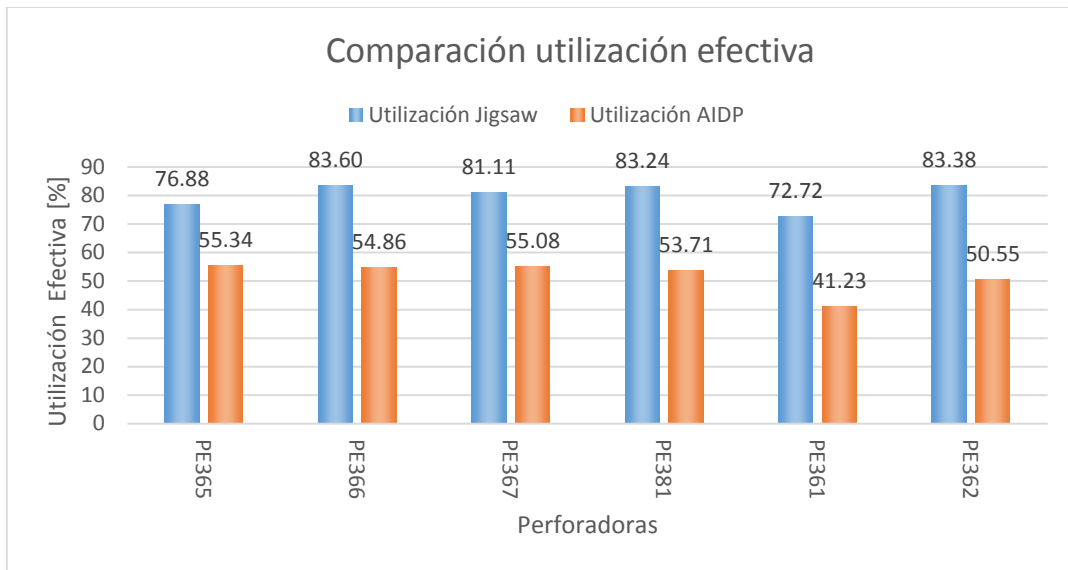


GRÁFICO 38. COMPARACIÓN PROMEDIO MENSUAL UTILIZACIÓN EFECTIVA

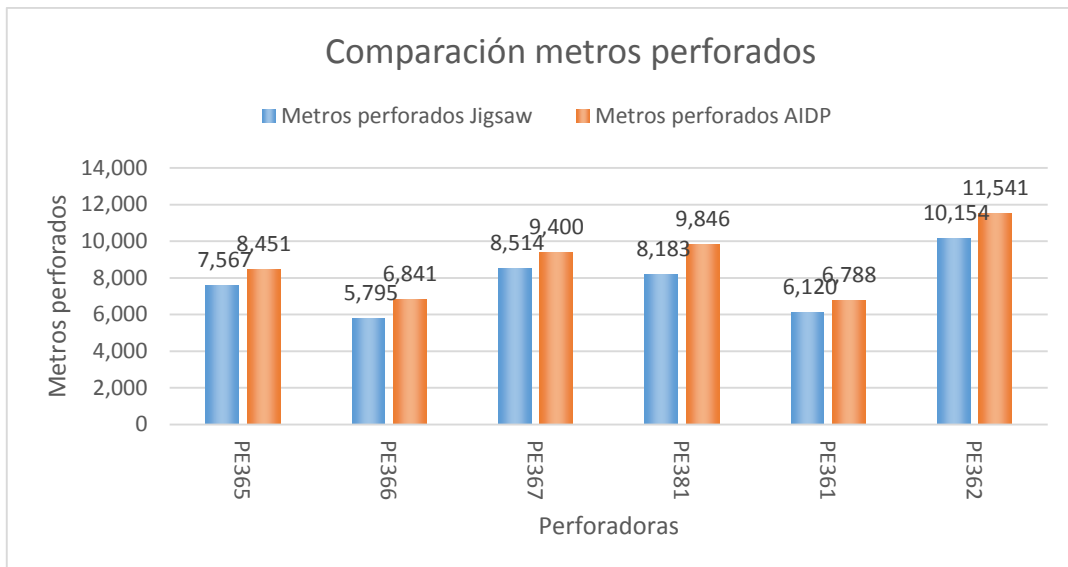


GRÁFICO 39. COMPARACIÓN PROMEDIO MENSUAL METROS PERFORADOS

Como es posible observar, existen diferencias entre ambos sistemas, teniendo mayor brecha el rendimiento efectivo y utilización efectiva. El sistema MineOPS tiende a sobreestimar la utilización y subestimar el rendimiento, debido principalmente a que este entrega mayor cantidad de horas efectivas. Como se muestra a continuación,

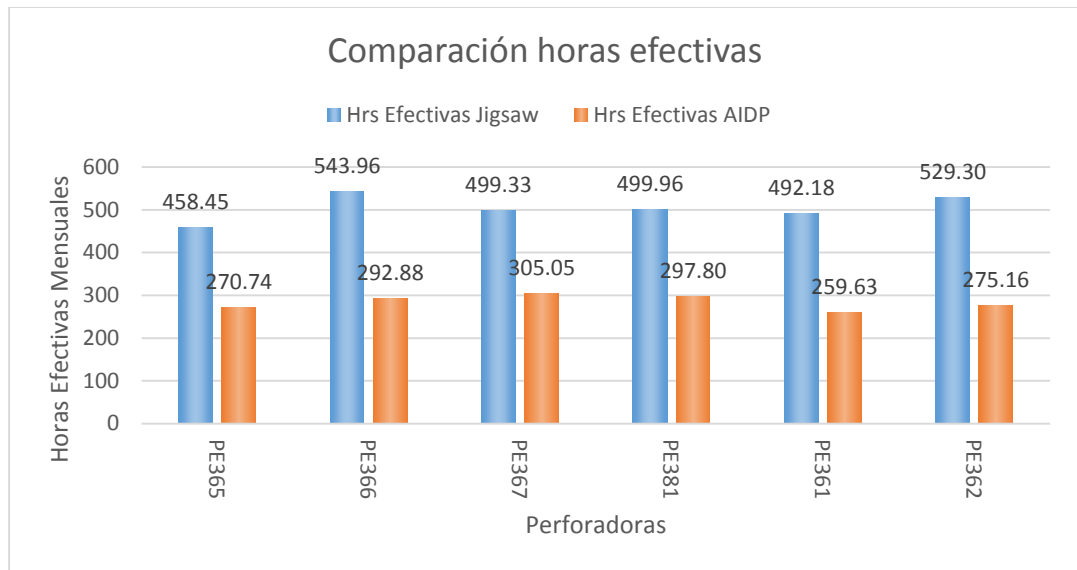


GRÁFICO 40. COMPARACIÓN PROMEDIO MENSUAL HORAS EFECTIVAS

La razón principal recae en el bajo ingreso de los otros estados como son las demoras no programadas.

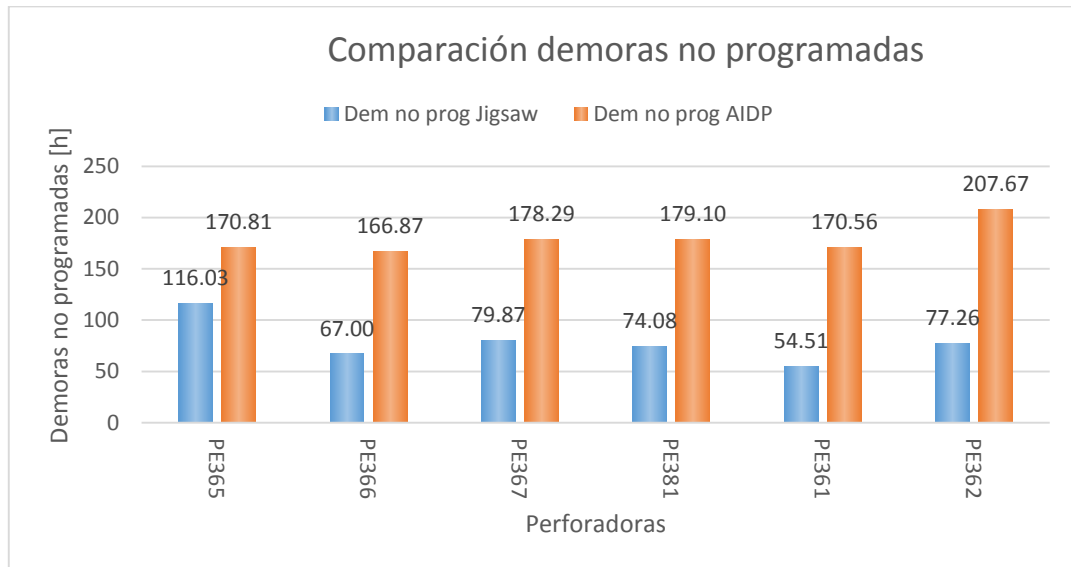


GRÁFICO 41. COMPARACIÓN PROMEDIO MENSUAL DEMORAS NO PROGRAMADAS

Finalmente, se decide utilizar el sistema AIDP, ya que tiene una mayor confiabilidad en los datos, y es el que se usa comúnmente por las personas tanto del área de perforación, como también por Mantenimiento, y Gerencia Mina.

ANEXO D. BASES DE DATOS

En este ítem se describe el procedimiento de la recopilación y consolidación de datos de las diferentes bases de datos que se utilizan para los análisis.

D.1. Base de datos mensual

Una vez descargados los datos y calculados los indicadores, es posible observar que existen equipos que han salido y/o entrado en la operación durante el período de evaluación, es por esto, que se realiza un gráfico para observar la cantidad de equipos en cada flota durante un período de tiempo determinado.

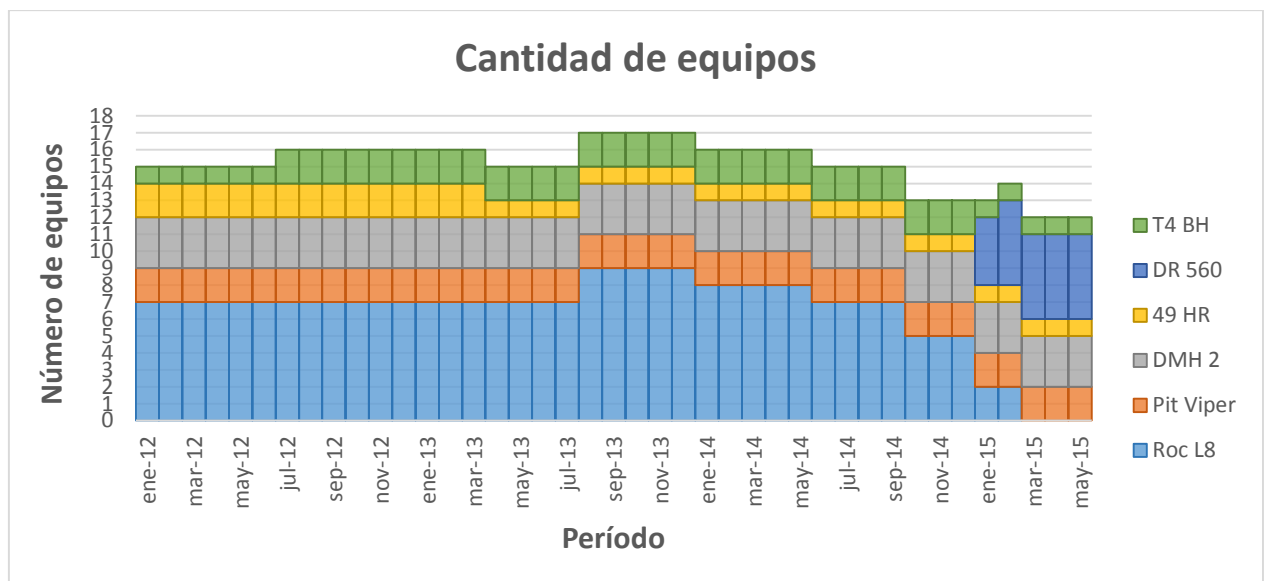


GRÁFICO 42. CANTIDAD DE EQUIPOS POR PERÍODO DE TIEMPO

Como es posible observar en el gráfico anterior, la flota DR560 entra en operación a inicios de 2015, por lo que se decide dejarla fuera de análisis debido a la poca información y validez de esta, ya que los operadores se encuentran en capacitaciones para el uso de los equipos.

Los gráficos resultantes por flota de equipos para los indicadores operacionales son,

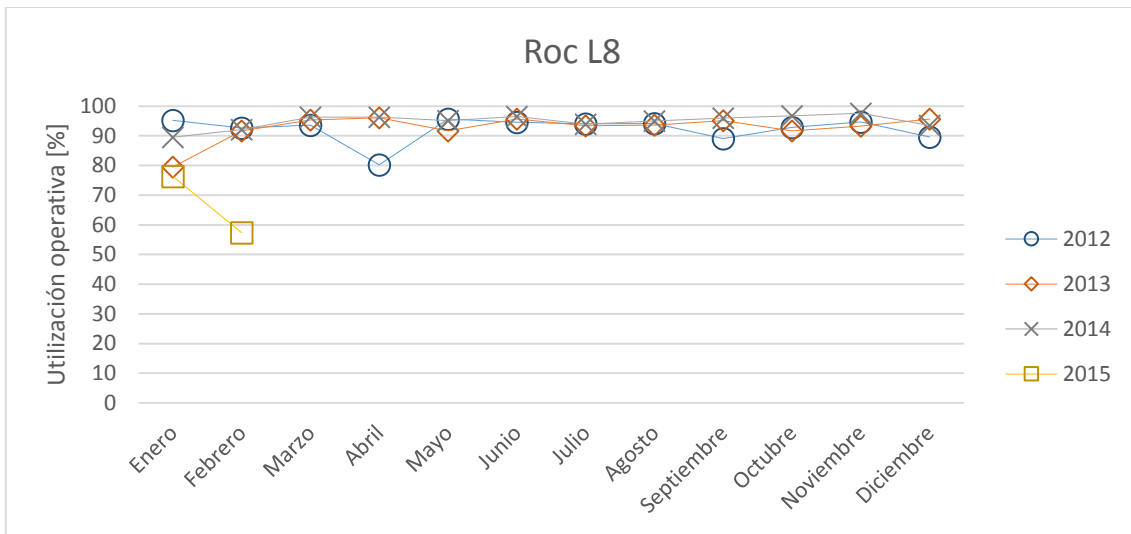


GRÁFICO 43. UTILIZACIÓN OPERATIVA FLOTA ROC L8

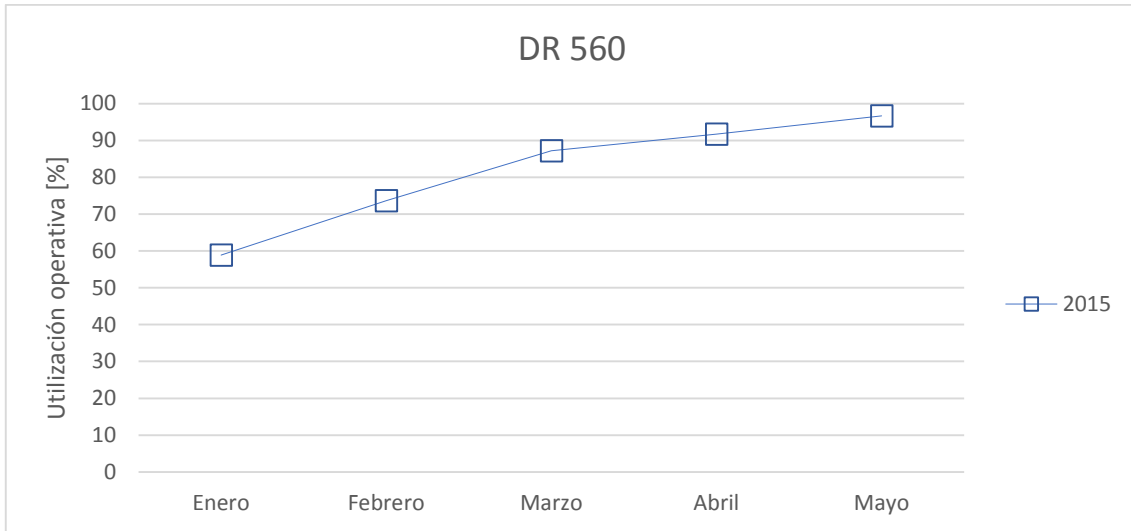


GRÁFICO 44. UTILIZACIÓN OPERATIVA FLOTA DR 560

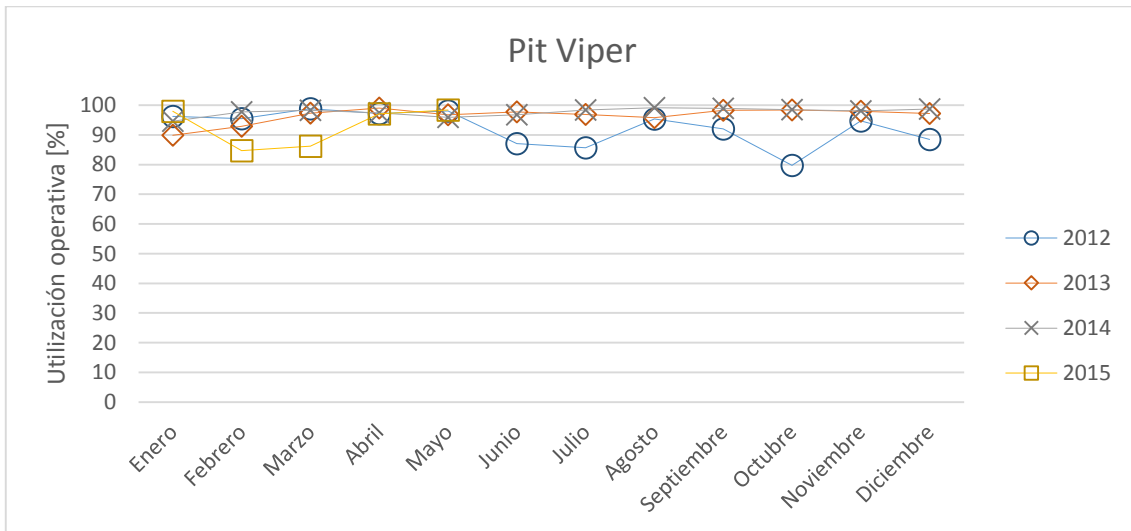


GRÁFICO 45. UTILIZACIÓN OPERATIVA FLOTA PIT VIPER

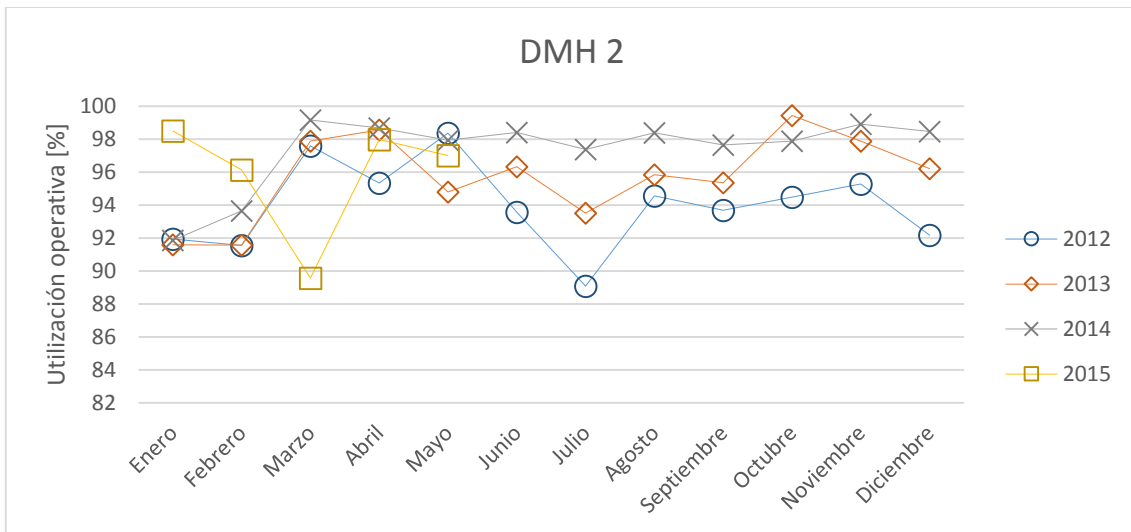


GRÁFICO 46. UTILIZACIÓN OPERATIVA FLOTA DMH 2

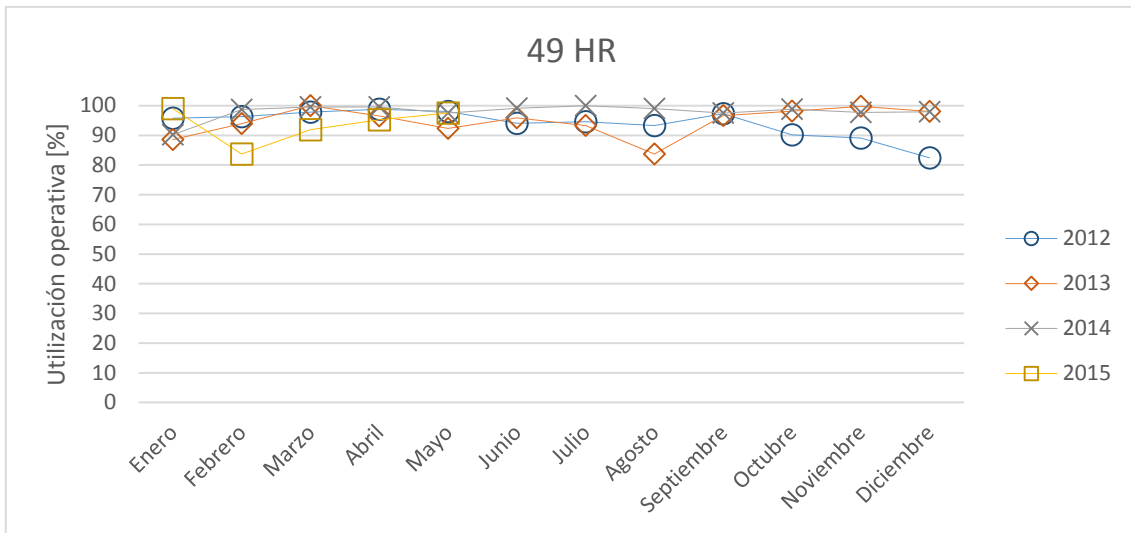


GRÁFICO 47. UTILIZACIÓN OPERATIVA FLOTA 49 HR

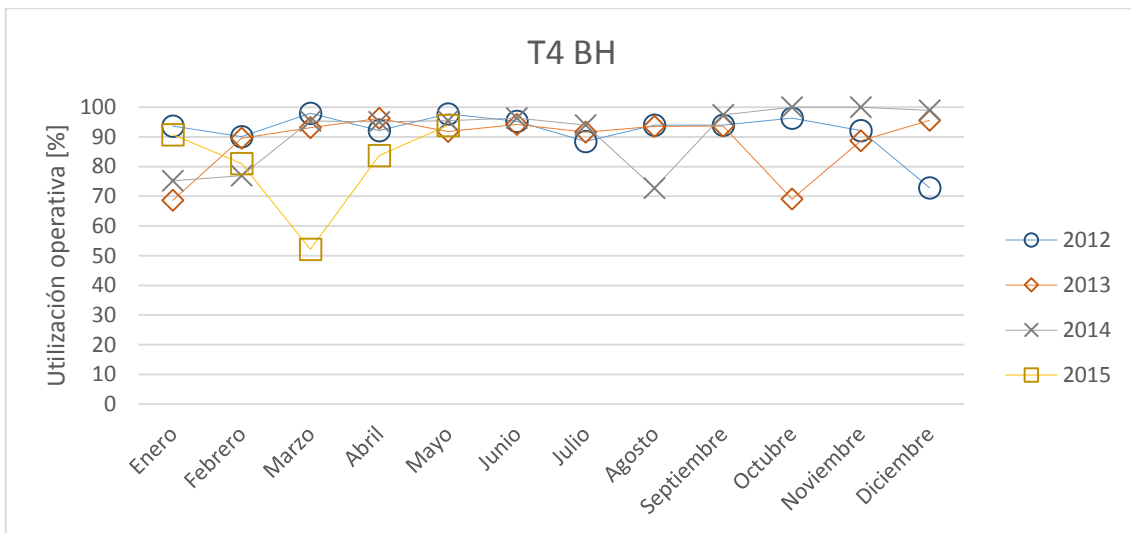


GRÁFICO 48. UTILIZACIÓN OPERATIVA FLOTA T4 BH

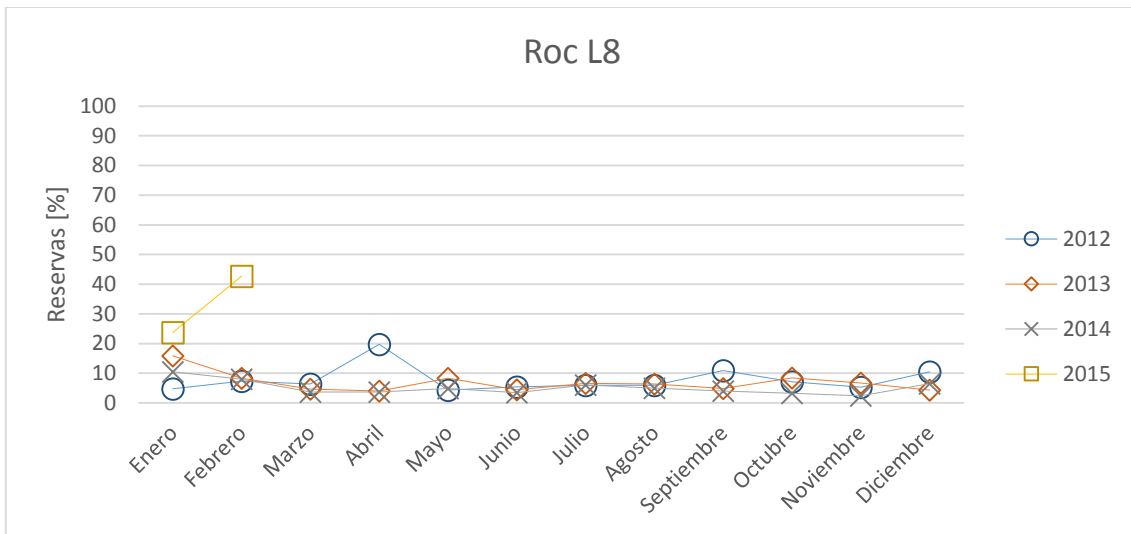


GRÁFICO 49. RESERVAS BASE DISPONIBLE FLOTA ROC L8

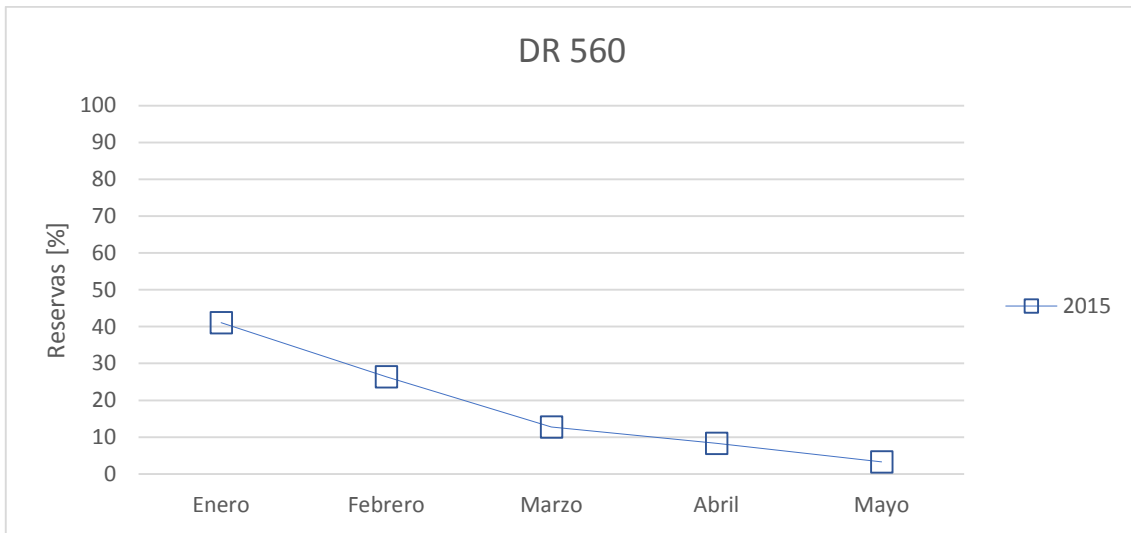


GRÁFICO 50. RESERVAS BASE DISPONIBLE FLOTA DR 560

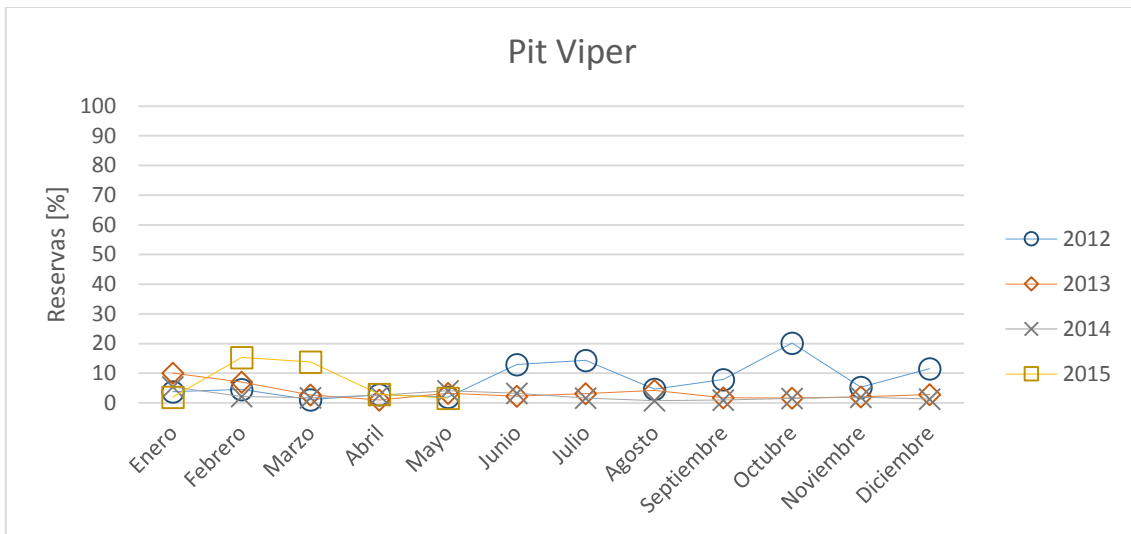


GRÁFICO 51. RESERVAS BASE DISPONIBLE FLOTA PIT VIPER

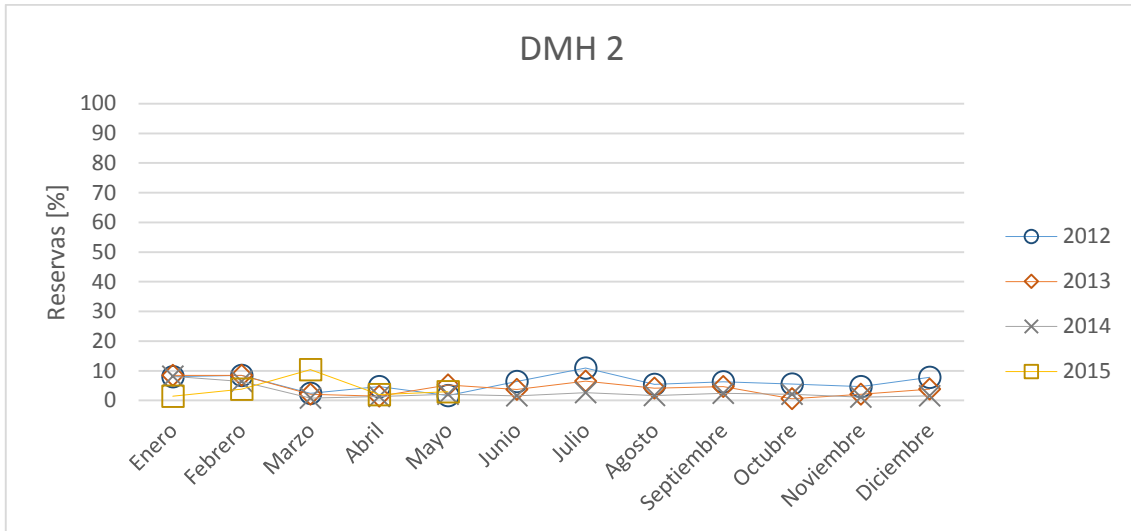


GRÁFICO 52. RESERVAS BASE DISPONIBLE FLOTA DMH 2

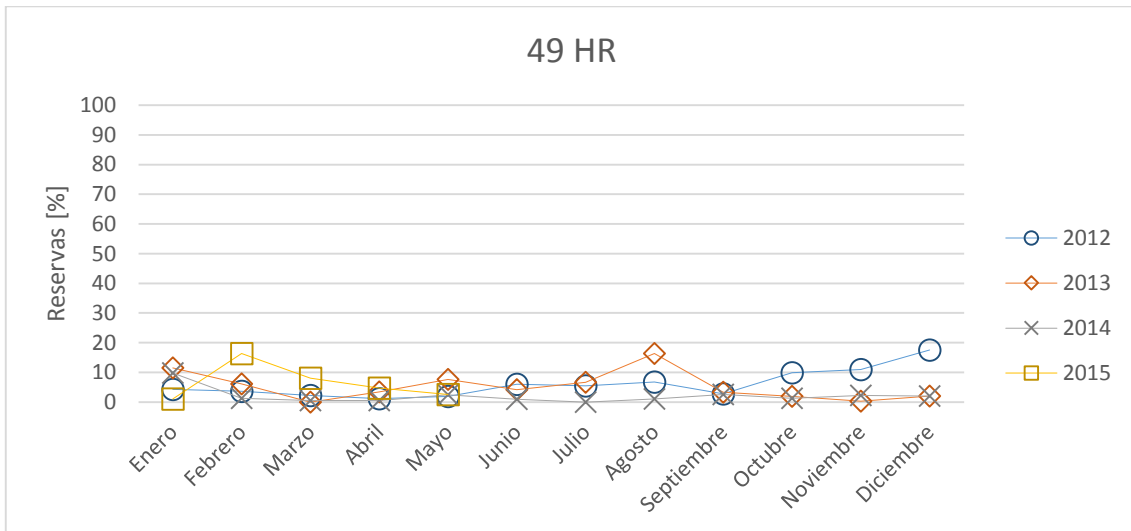


GRÁFICO 53. RESERVAS BASE DISPONIBLE FLOTA 49 HR

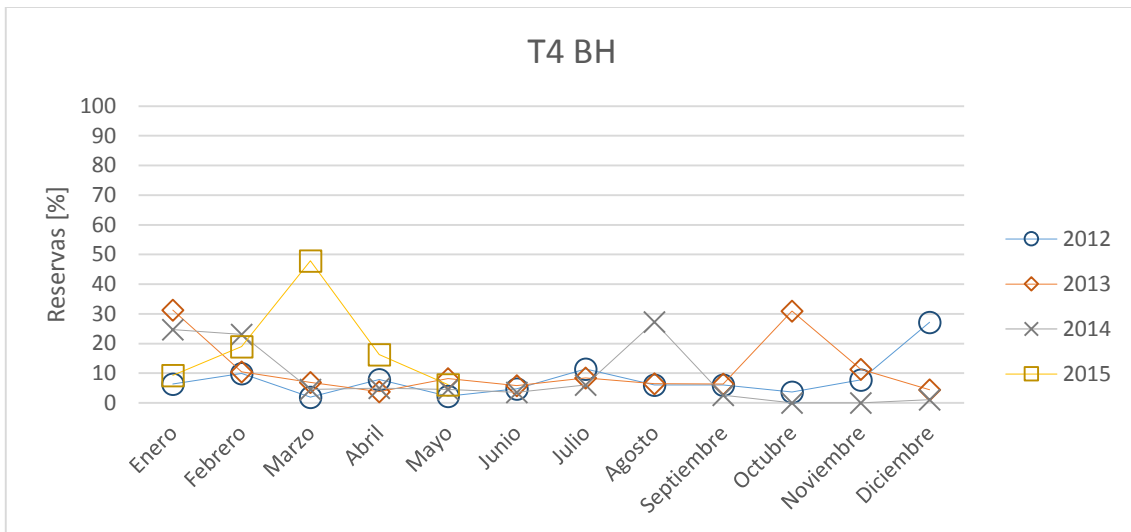


GRÁFICO 54. RESERVAS BASE DISPONIBLE FLOTA T4 BH

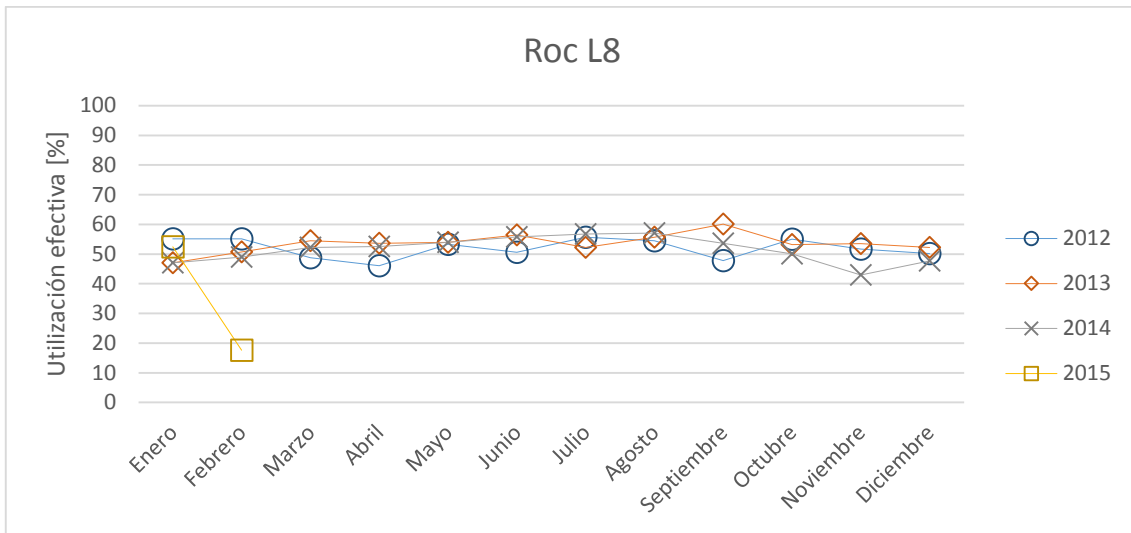


GRÁFICO 55. UTILIZACIÓN EFECTIVA FLOTA ROC L8

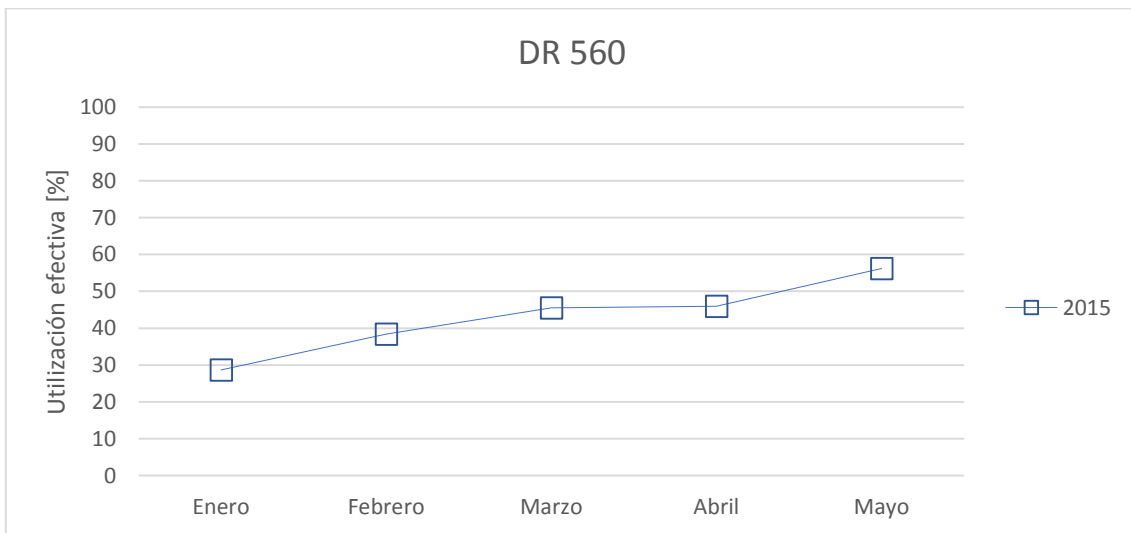


GRÁFICO 56. UTILIZACIÓN EFECTIVA FLOTA DR 560

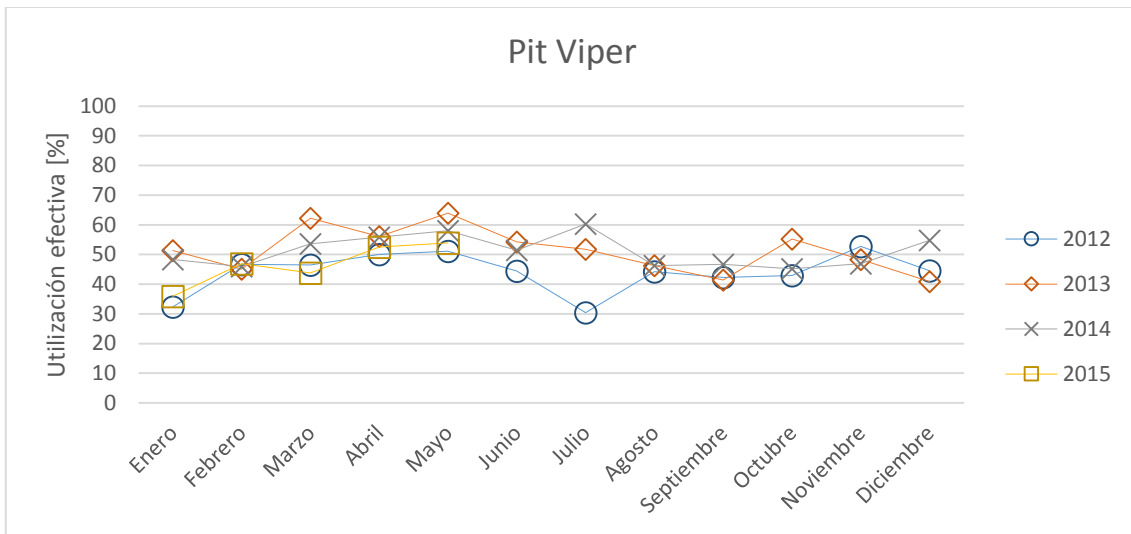


GRÁFICO 57. UTILIZACIÓN EFECTIVA FLOTA PIT VIPER

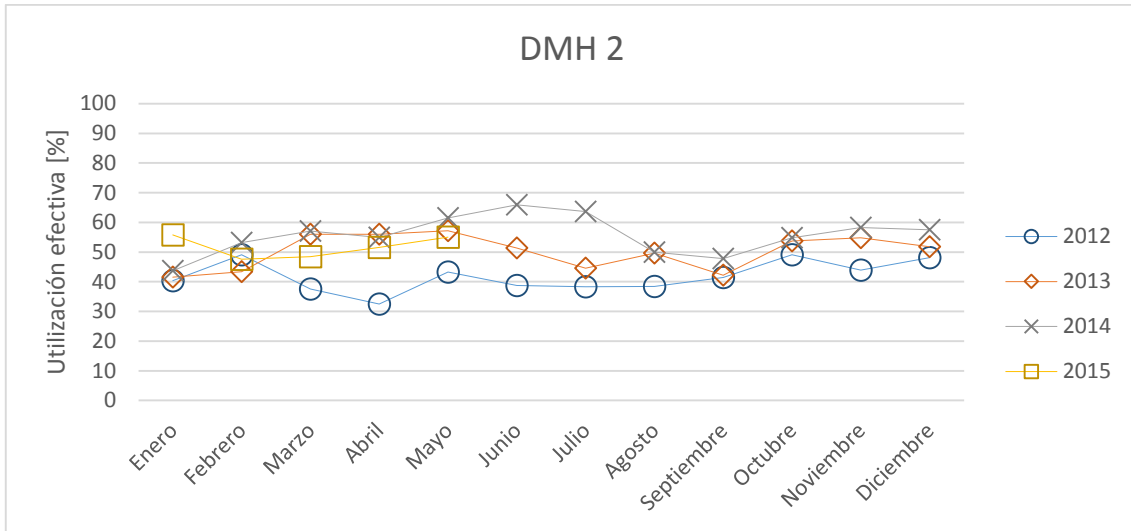


GRÁFICO 58. UTILIZACIÓN EFECTIVA FLOTA DMH 2

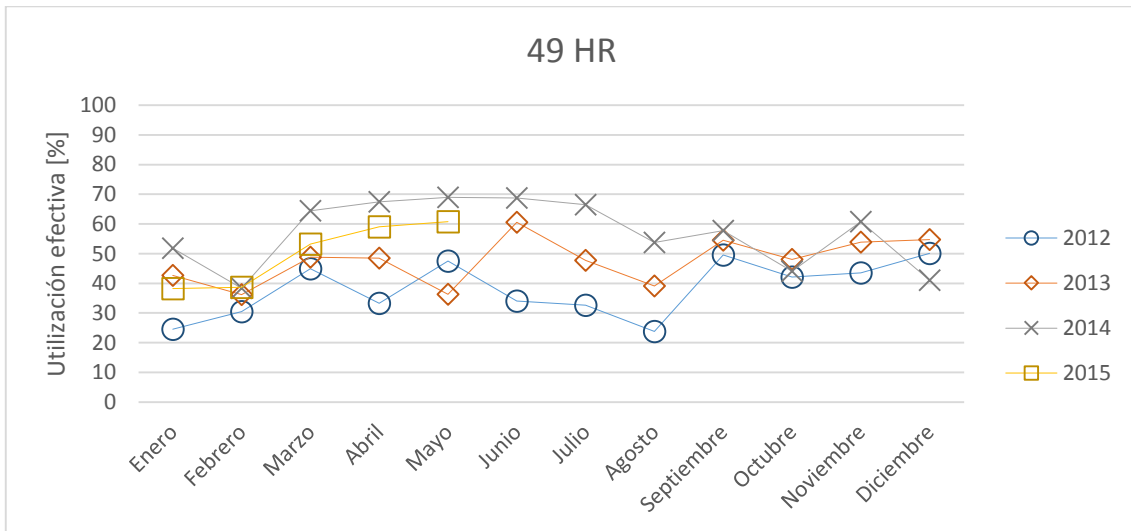


GRÁFICO 59. UTILIZACIÓN EFECTIVA FLOTA 49 HR

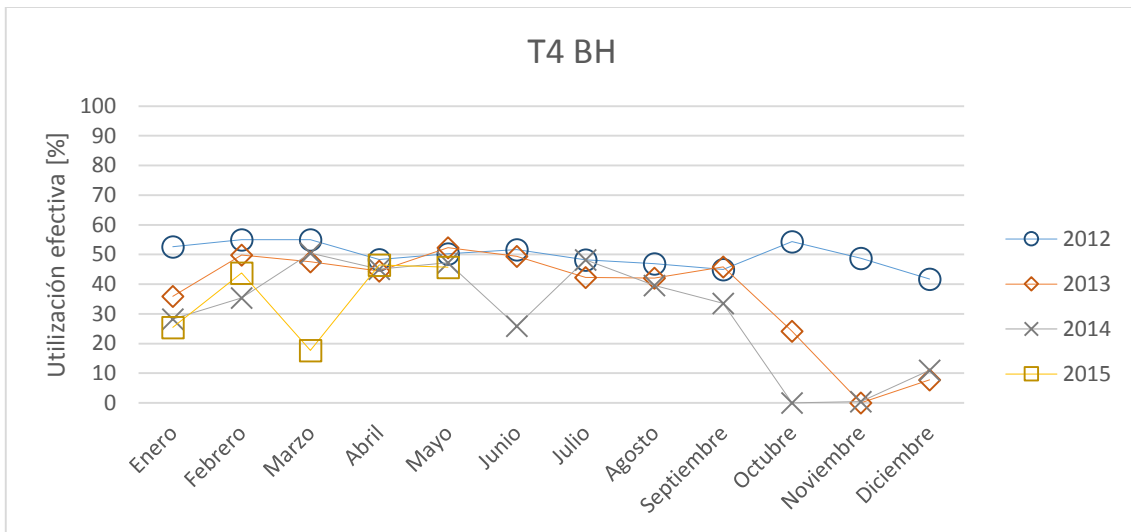


GRÁFICO 60. UTILIZACIÓN EFECTIVA FLOTA T4 BH

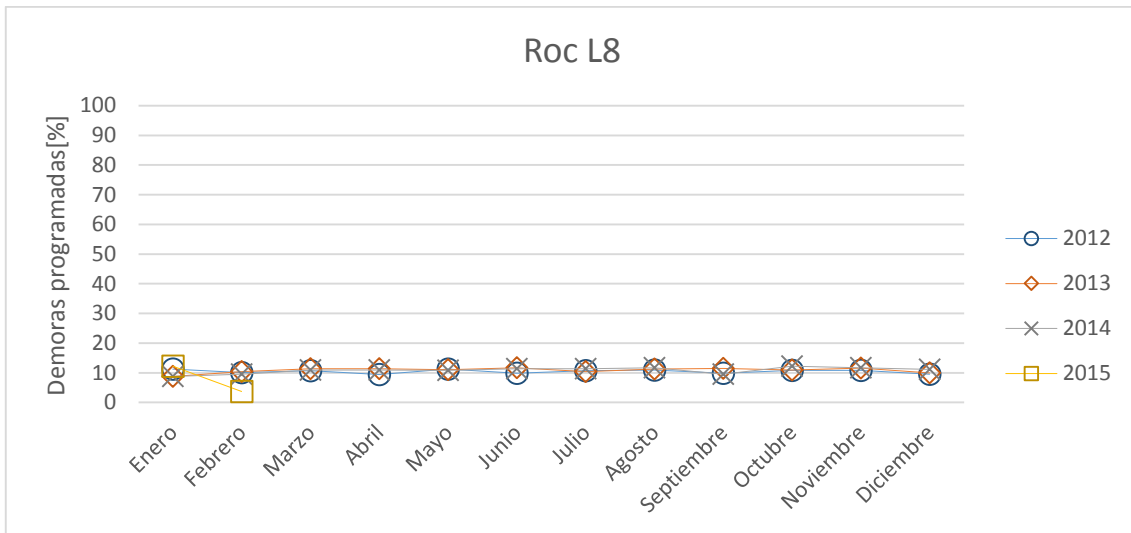


GRÁFICO 61. DEMORAS PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA ROC L8

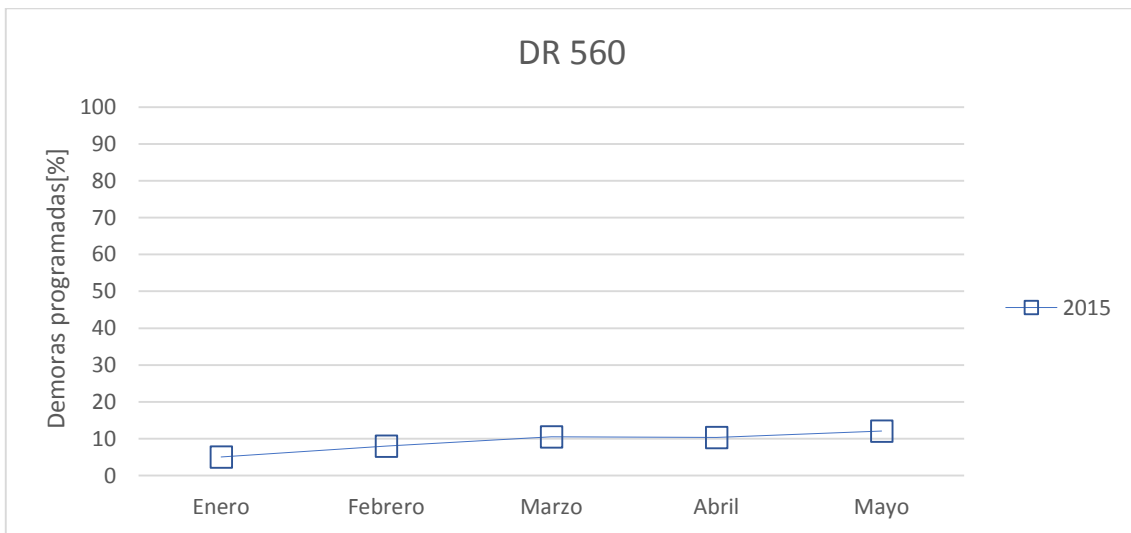


GRÁFICO 62. DEMORAS PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA DR 560

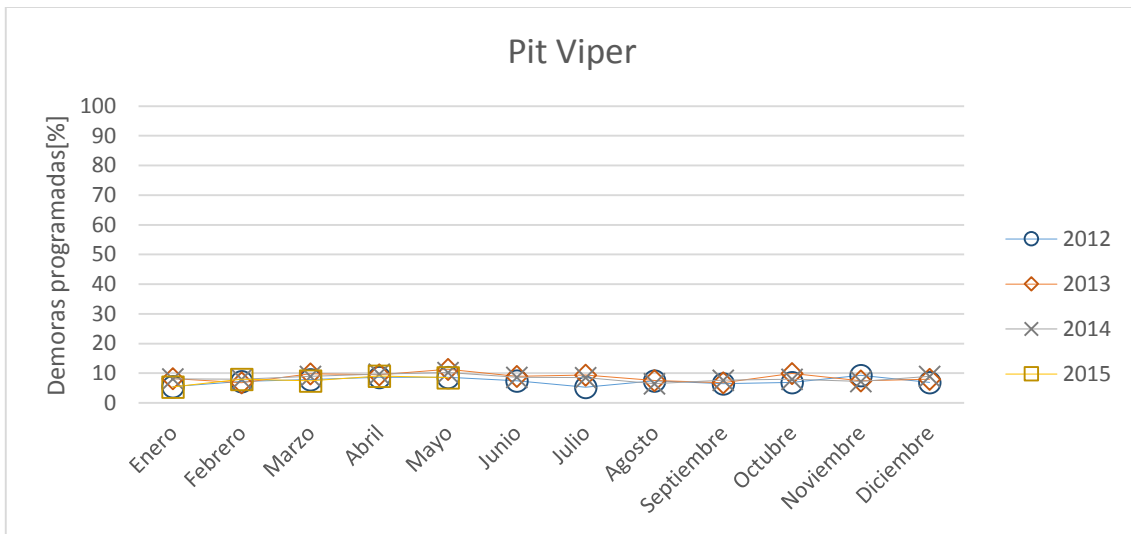


GRÁFICO 63. DEMORAS PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA PIT VIPER

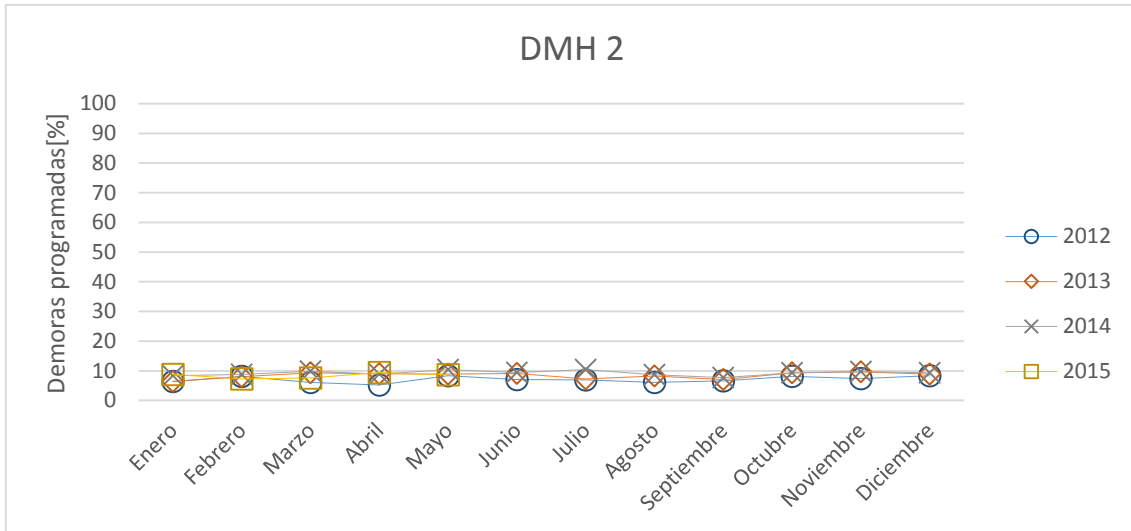


GRÁFICO 64. DEMORAS PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA DMH 2

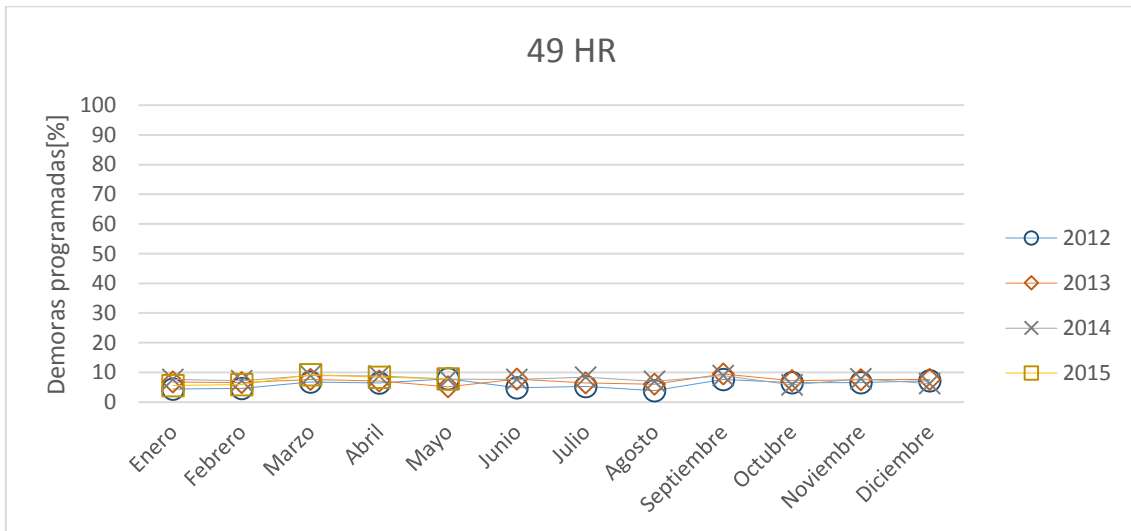


GRÁFICO 65. DEMORAS PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA 49 HR

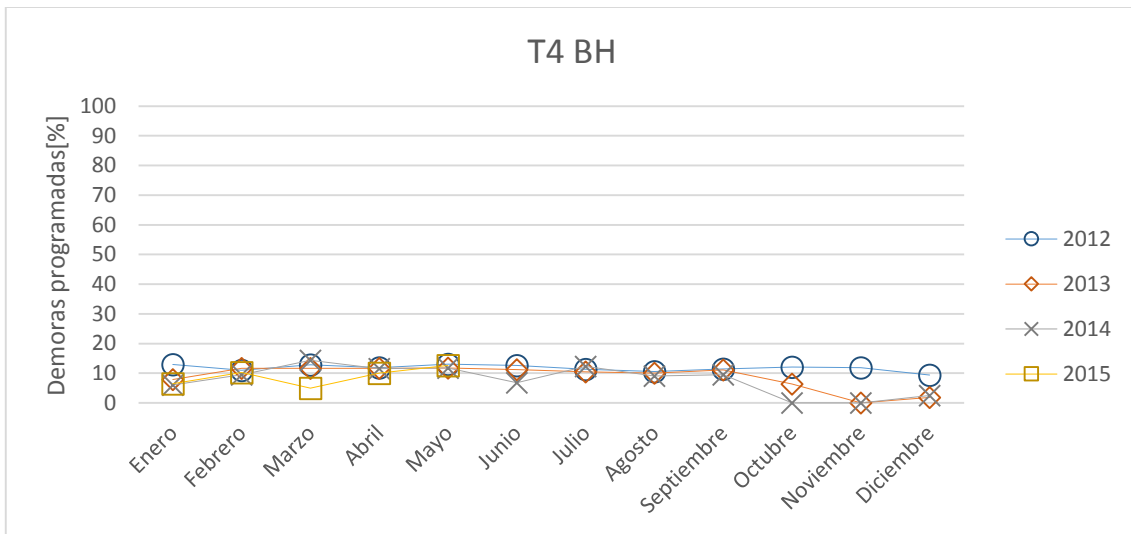


GRÁFICO 66. DEMORAS PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA T4 BH

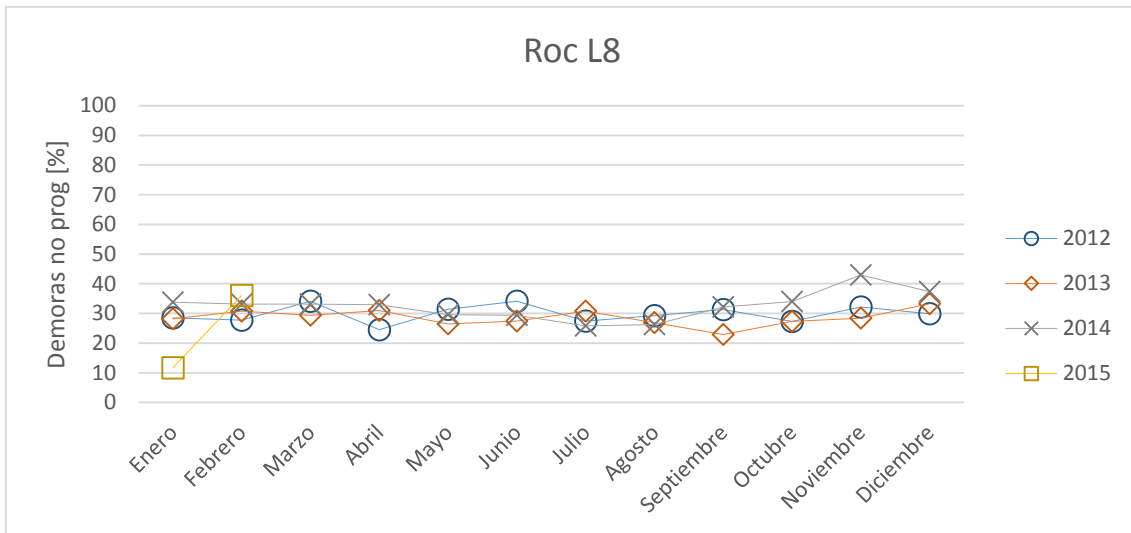


GRÁFICO 67. DEMORAS NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA ROC L8

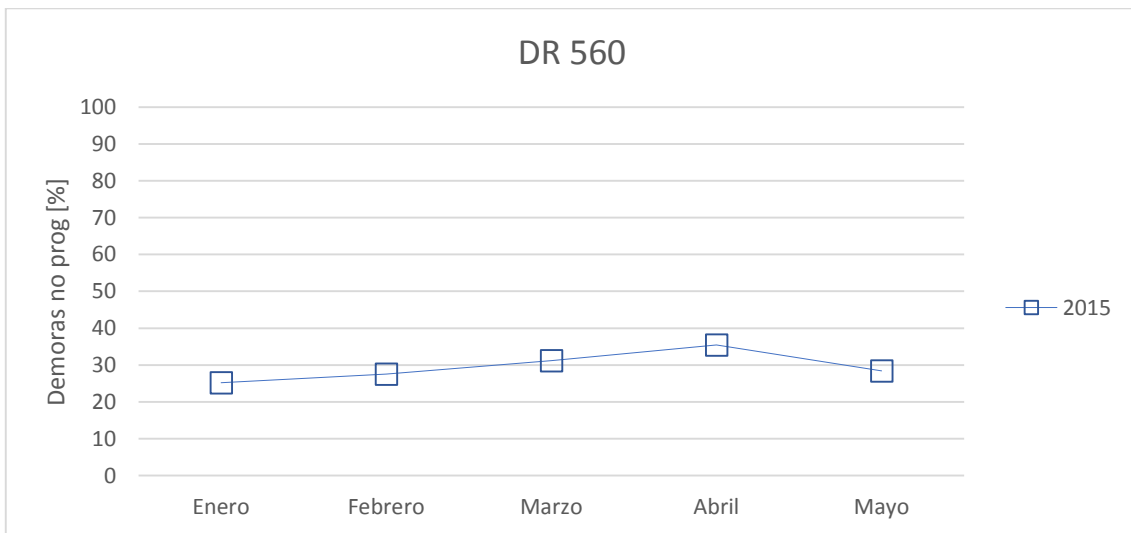


GRÁFICO 68. DEMORAS NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA DR 560

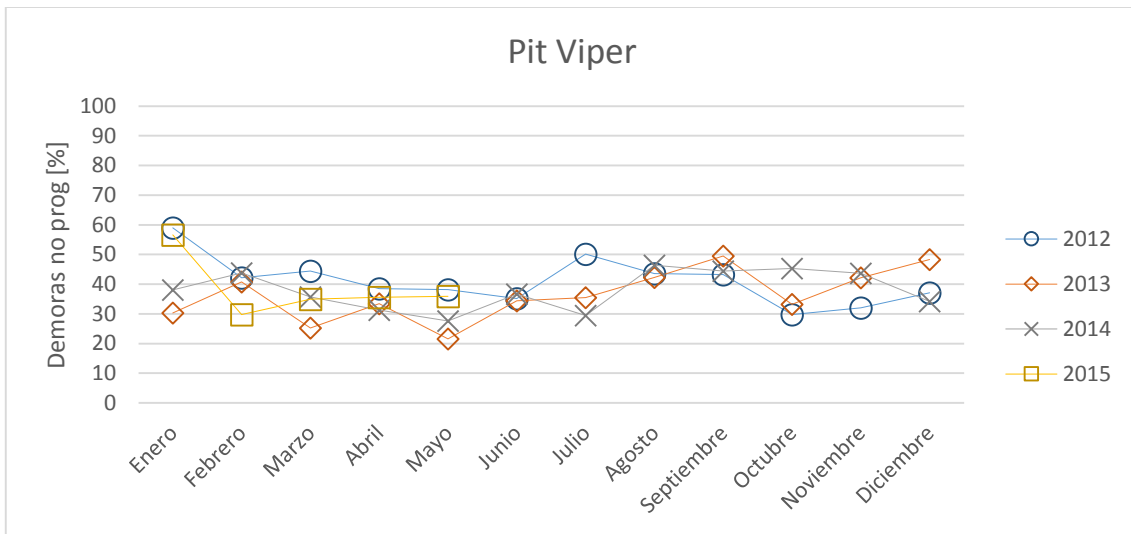


GRÁFICO 69. DEMORAS NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA PIT VIPER

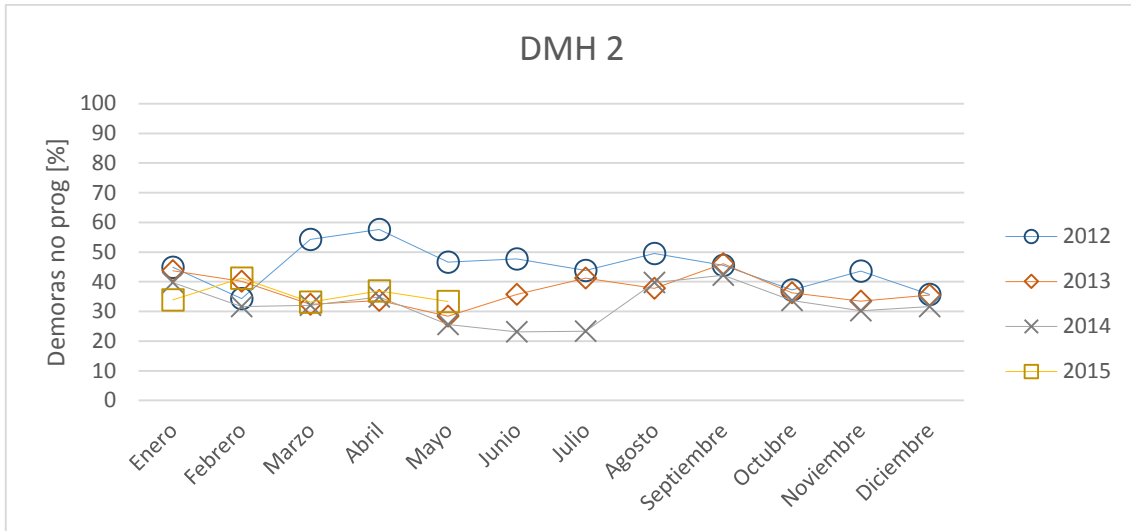


GRÁFICO 70. DEMORAS NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA DMH 2

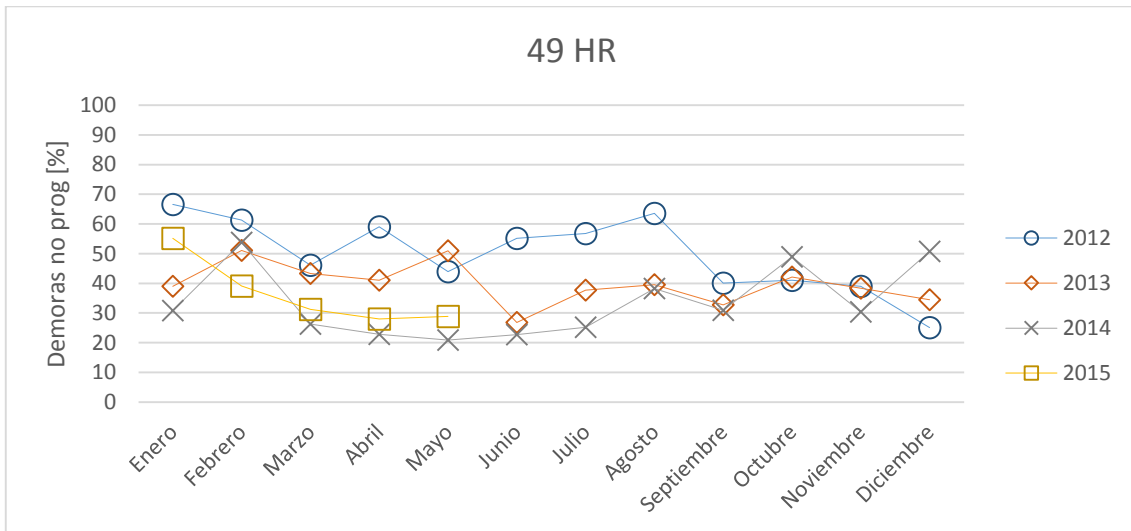


GRÁFICO 71. DEMORAS NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA 49 HR

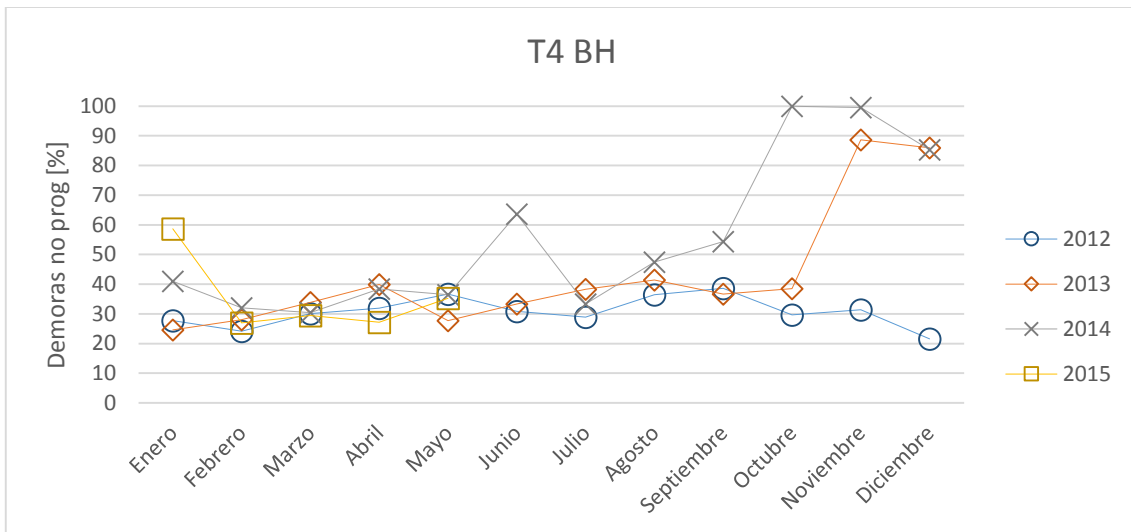


GRÁFICO 72. DEMORAS NO PROGRAMADAS BASE DISPONIBLE FLOTA T4 BH

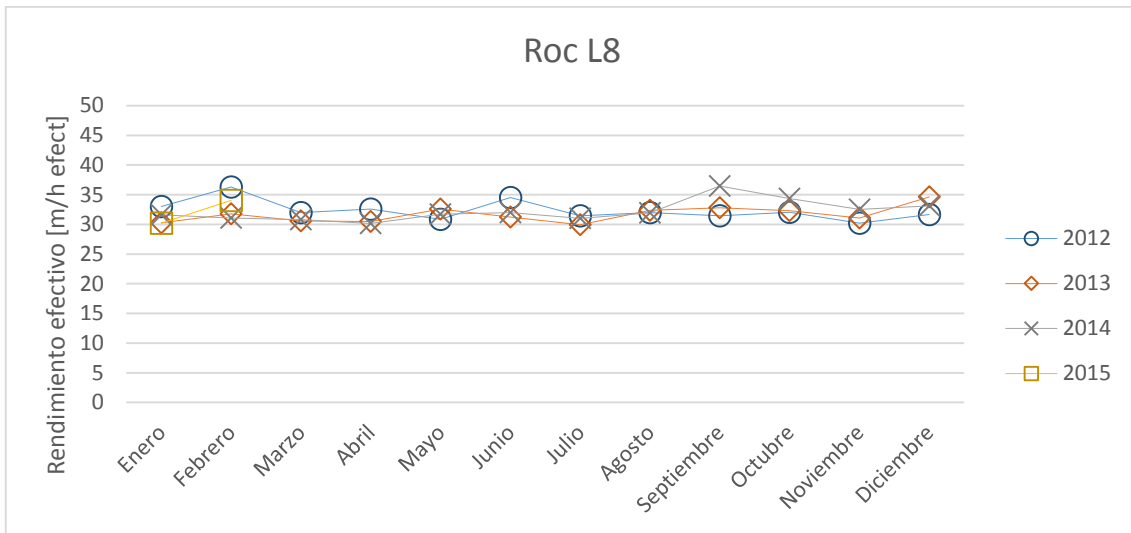


GRÁFICO 73. RENDIMIENTO EFECTIVO FLOTA ROC L8

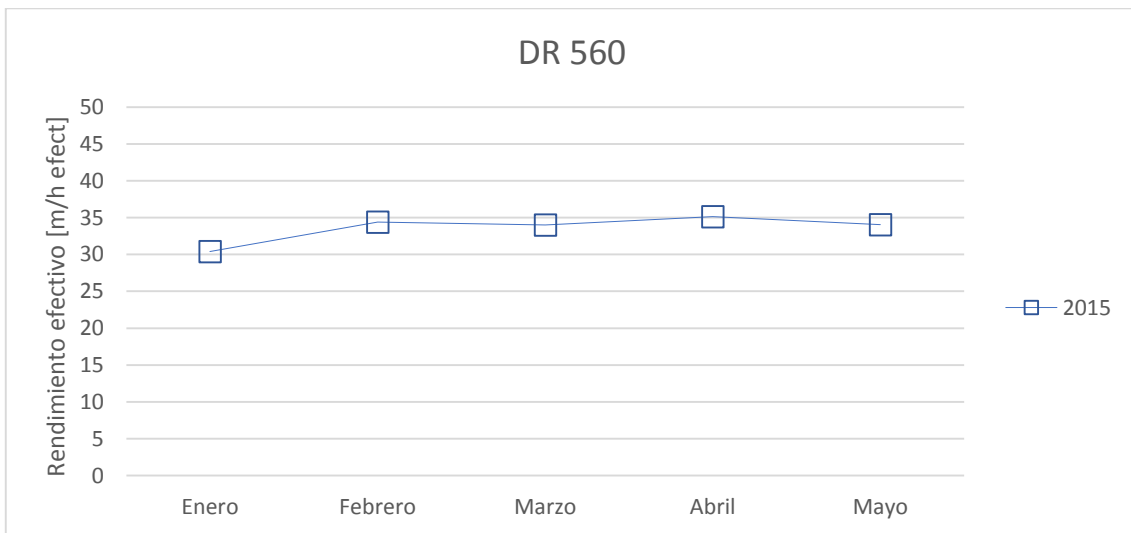


GRÁFICO 74. RENDIMIENTO EFECTIVO FLOTA DR 560

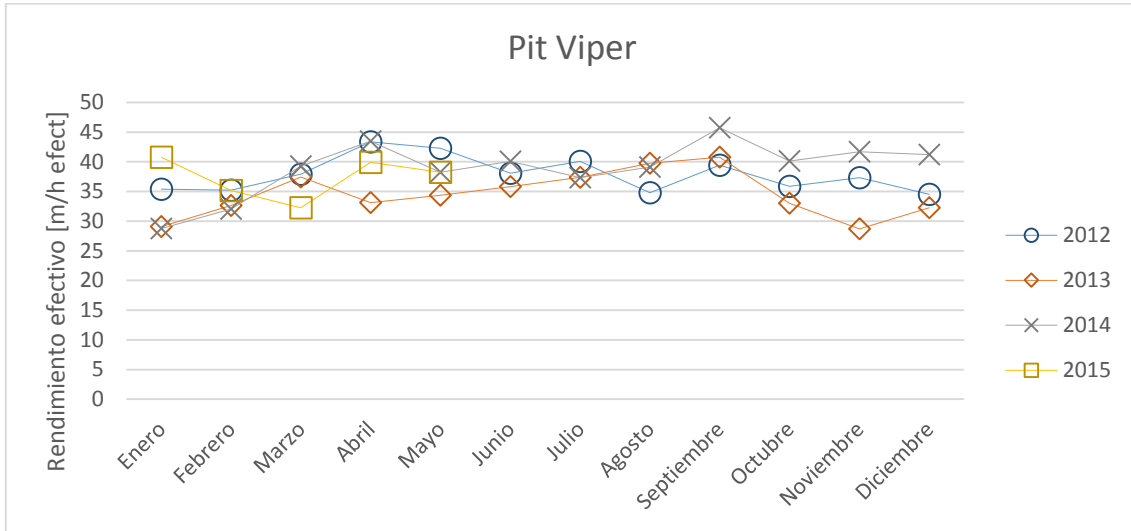


GRÁFICO 75. RENDIMIENTO EFECTIVO FLOTA PIT VIPER

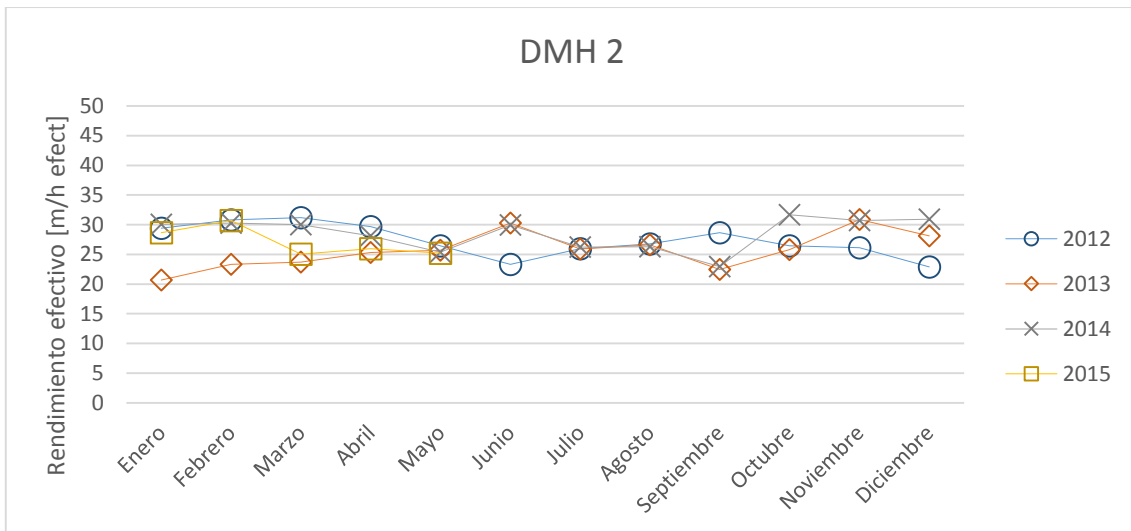


GRÁFICO 76. RENDIMIENTO EFECTIVO FLOTA DMH 2

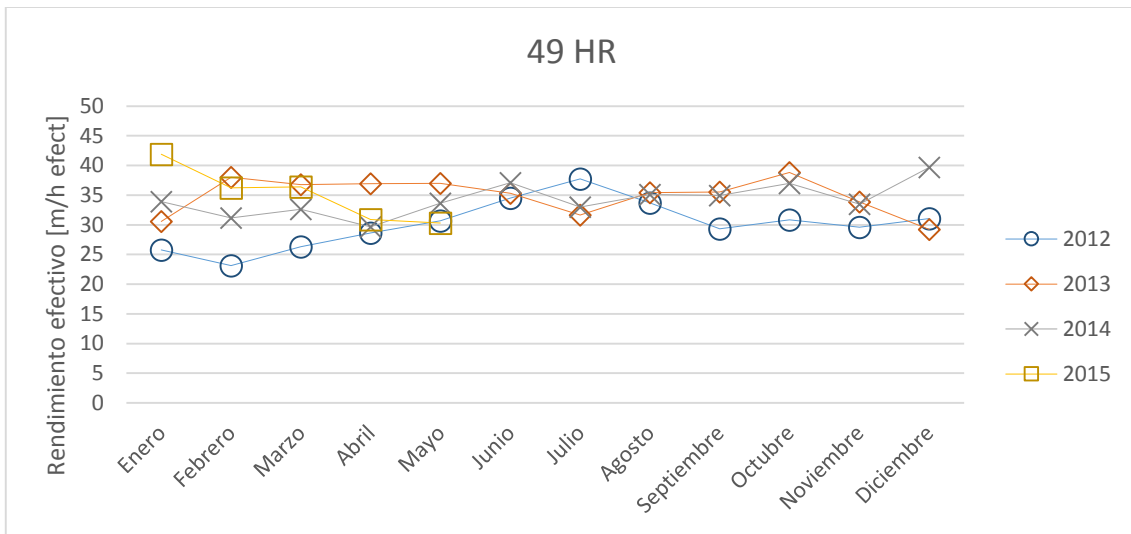


GRÁFICO 77. RENDIMIENTO EFECTIVO FLOTA 49 HR

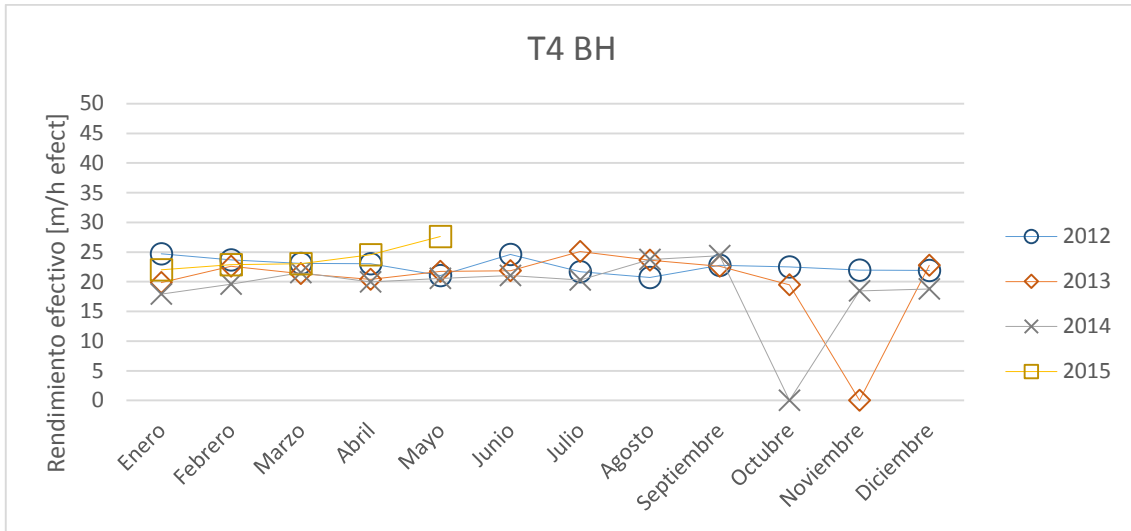


GRÁFICO 78. RENDIMIENTO EFECTIVO FLOTA T4 BH

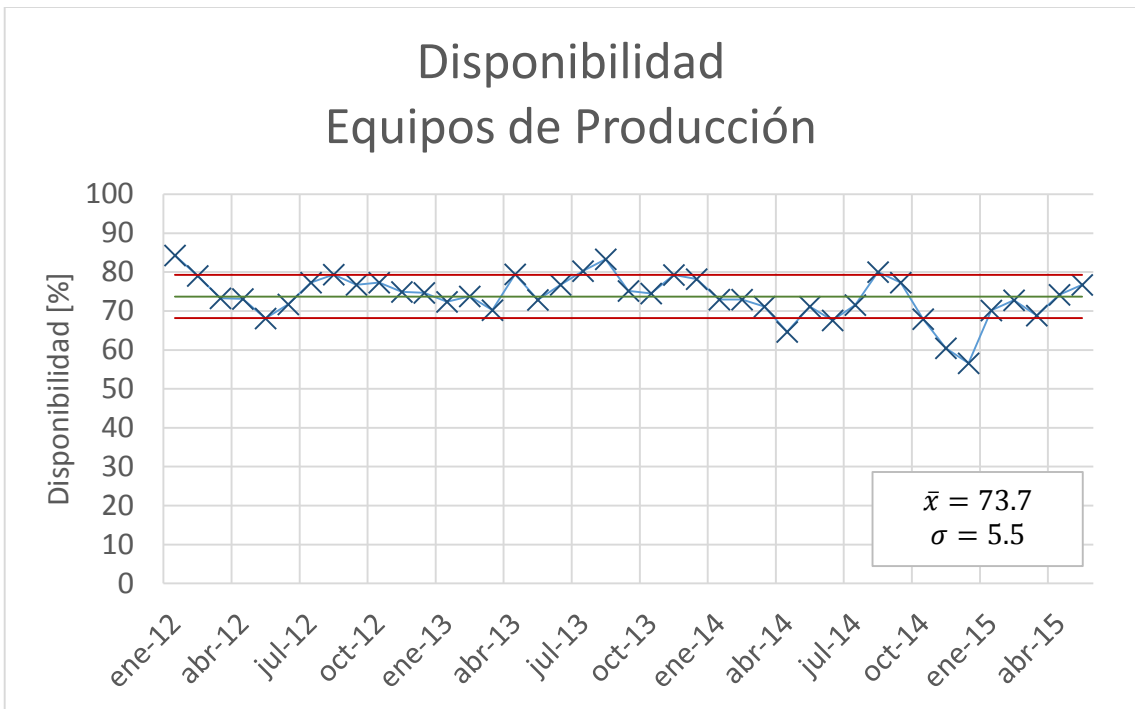


GRÁFICO 79. DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

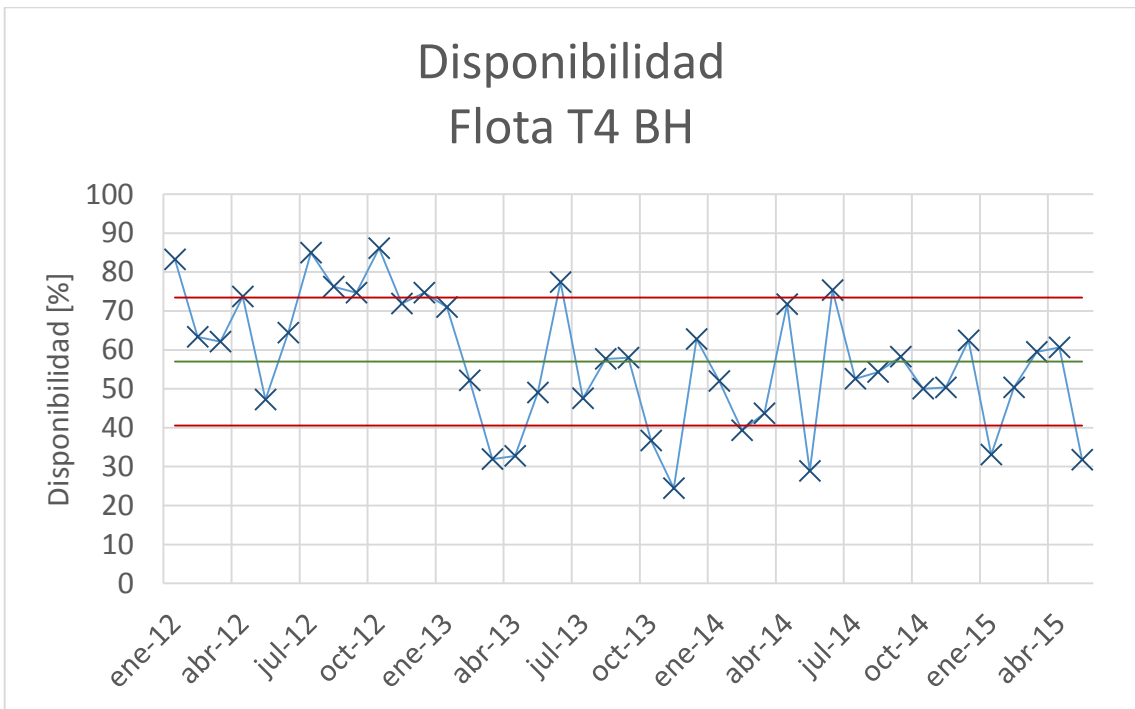


GRÁFICO 80. DISPONIBILIDAD DE FLOTA T4 BH

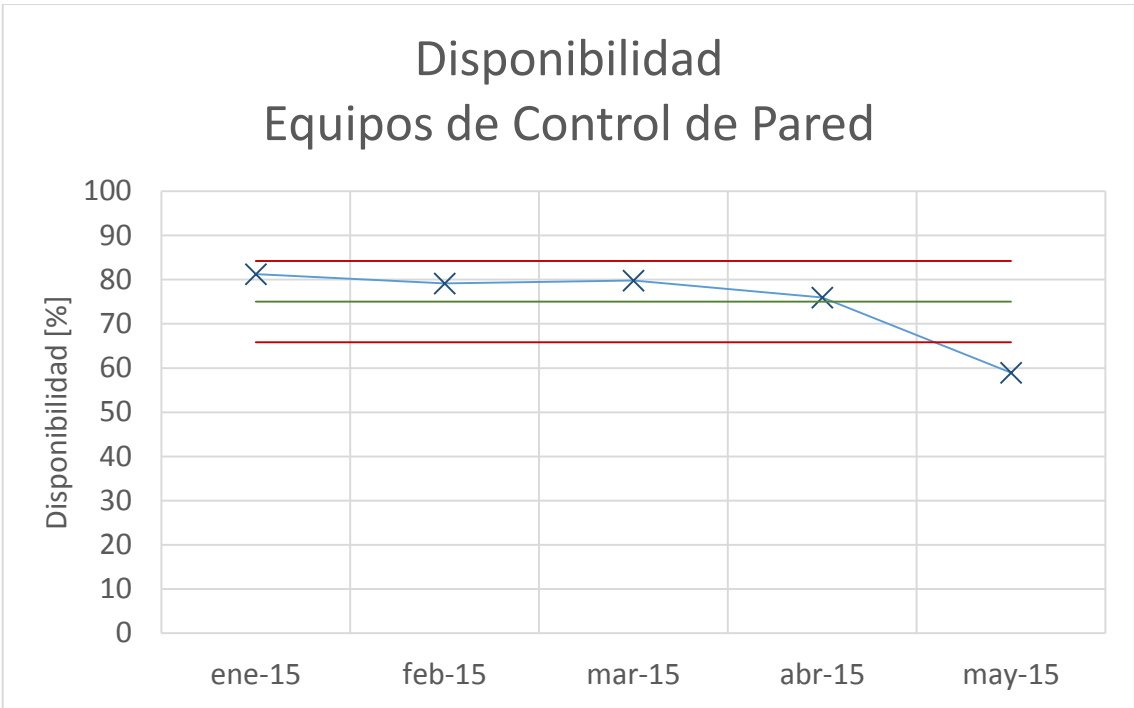


GRÁFICO 81. DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

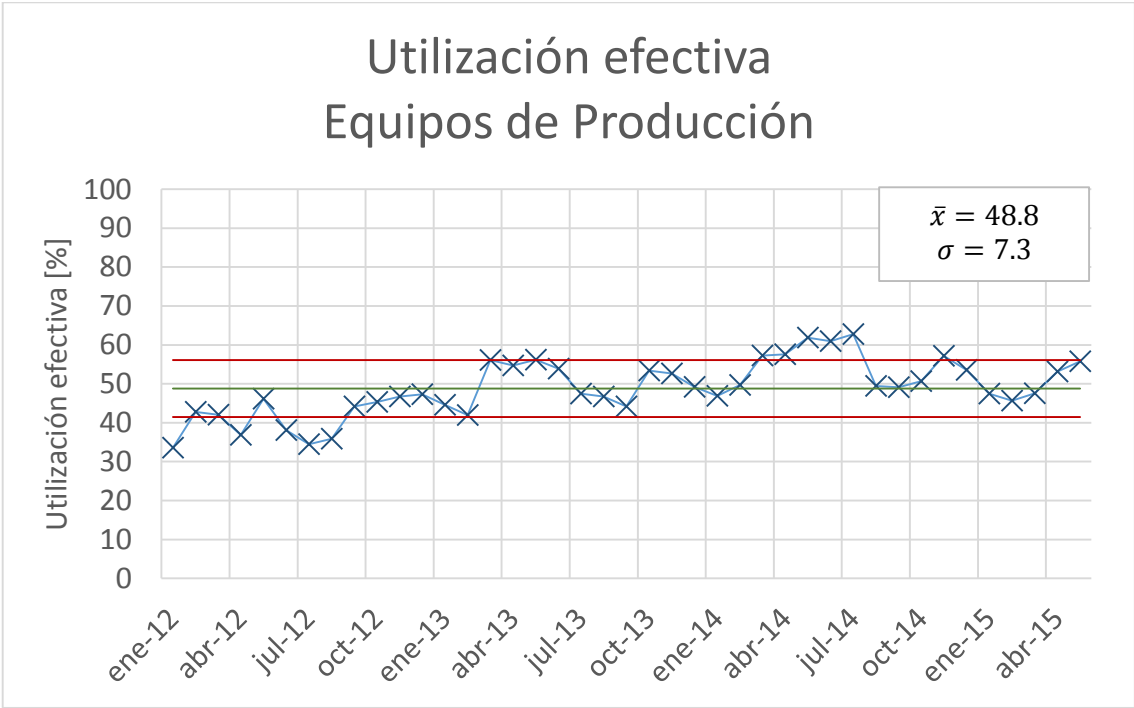


GRÁFICO 82. UTILIZACIÓN EFECTIVA DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

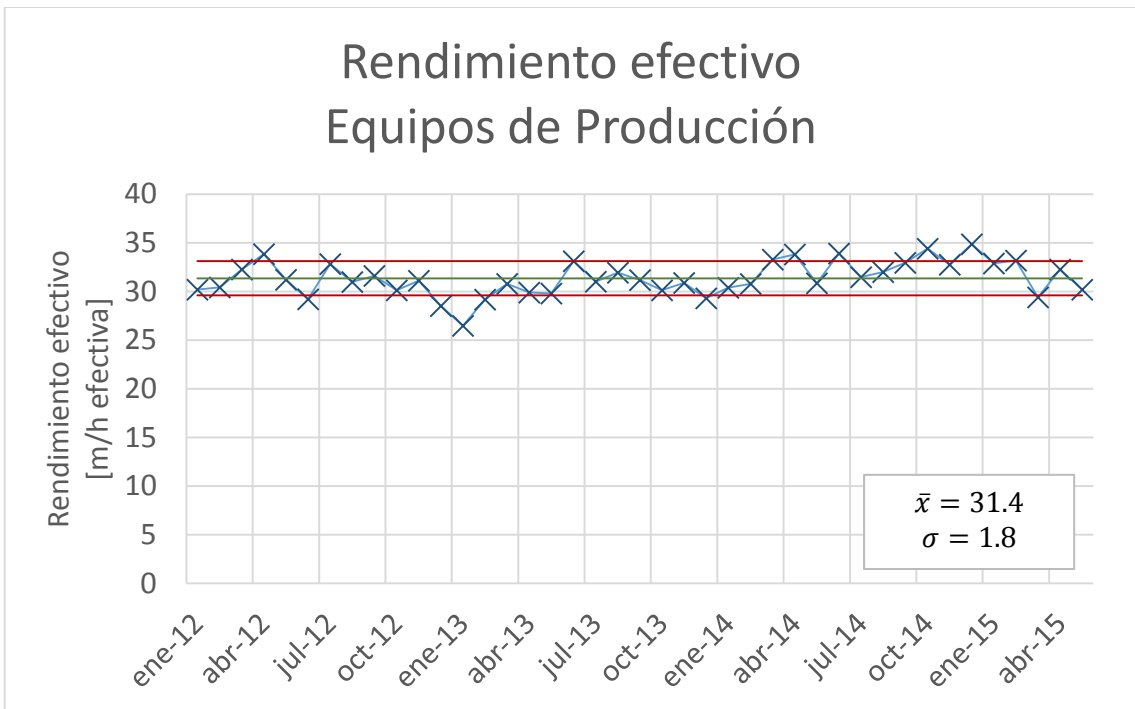


GRÁFICO 85. RENDIMIENTO EFECTIVO DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

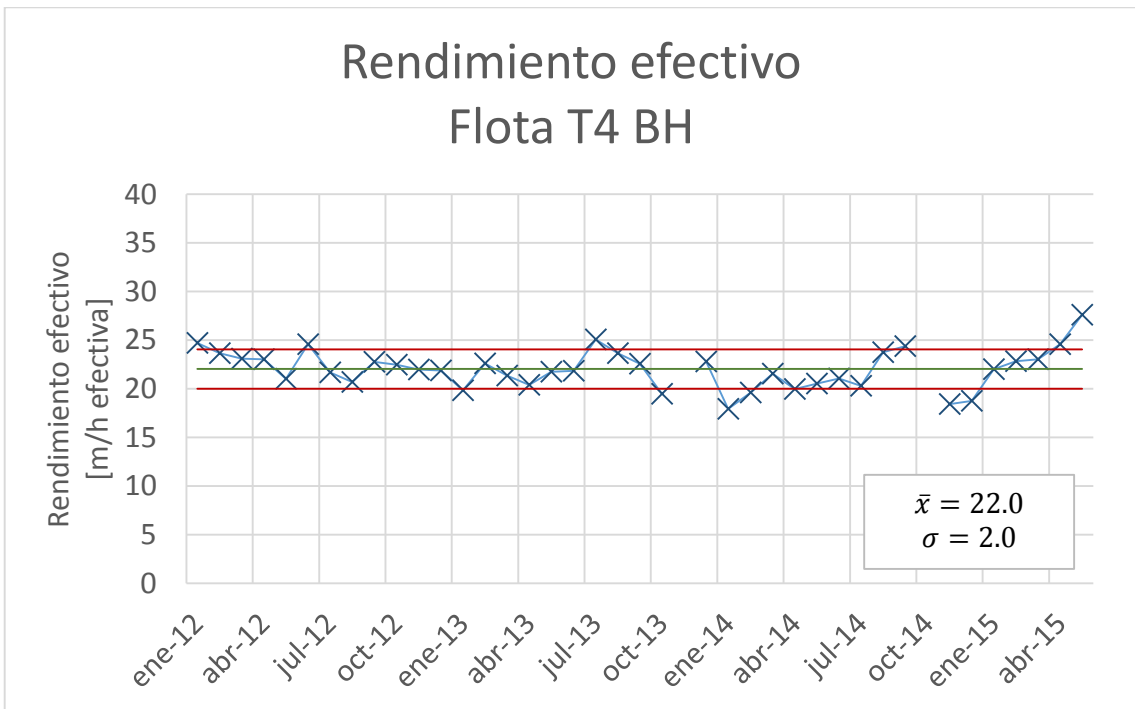


GRÁFICO 86. RENDIMIENTO EFECTIVO DE FLOTA T4 BH

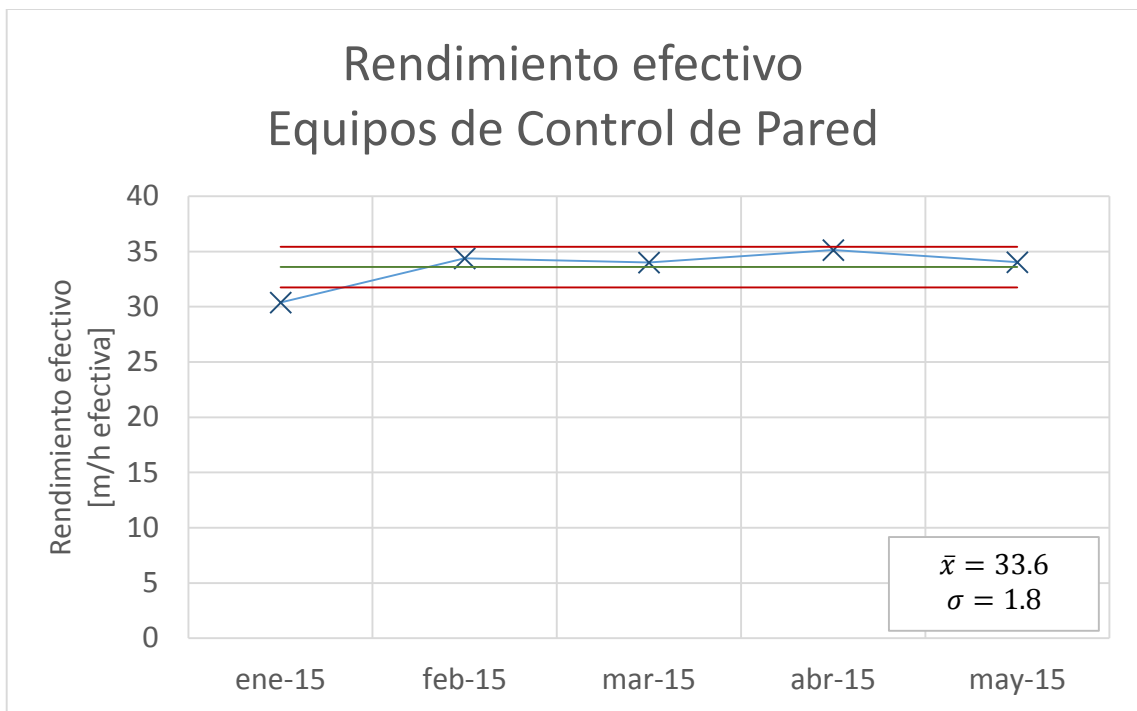


GRÁFICO 87. RENDIMIENTO EFECTIVO DE EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

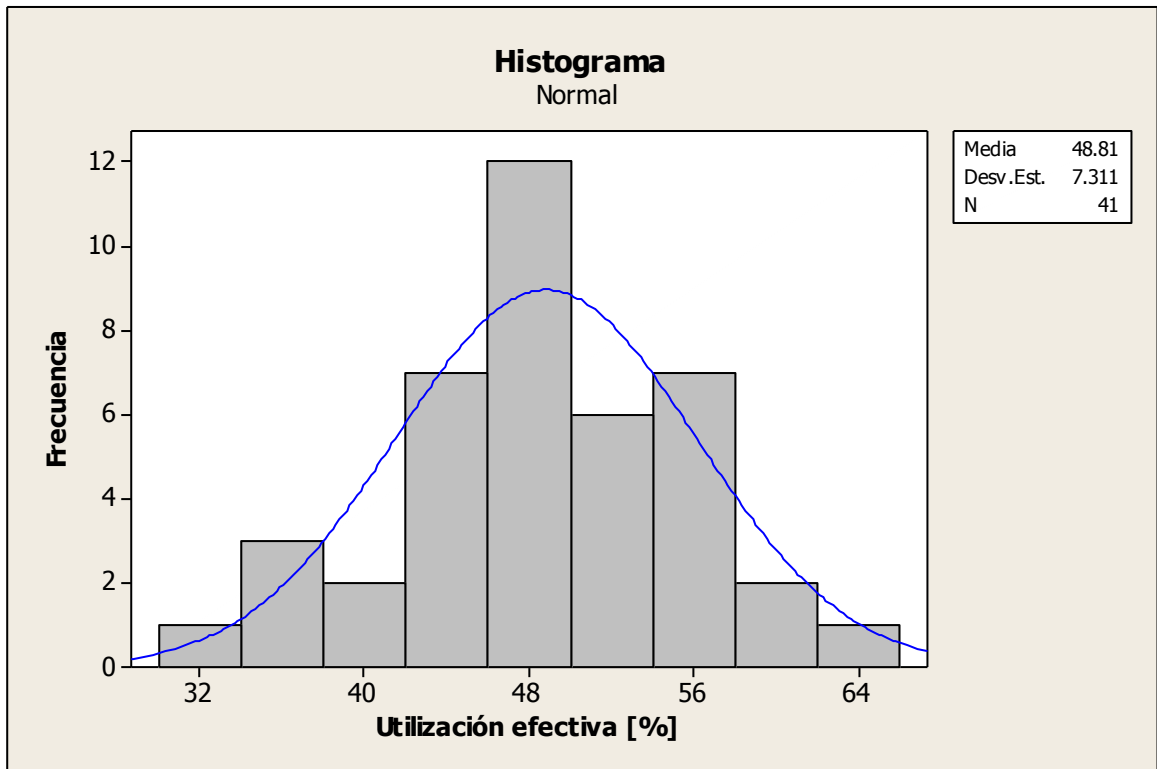


GRÁFICO 88. HISTOGRAMA UTILIZACIÓN EFECTIVA EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

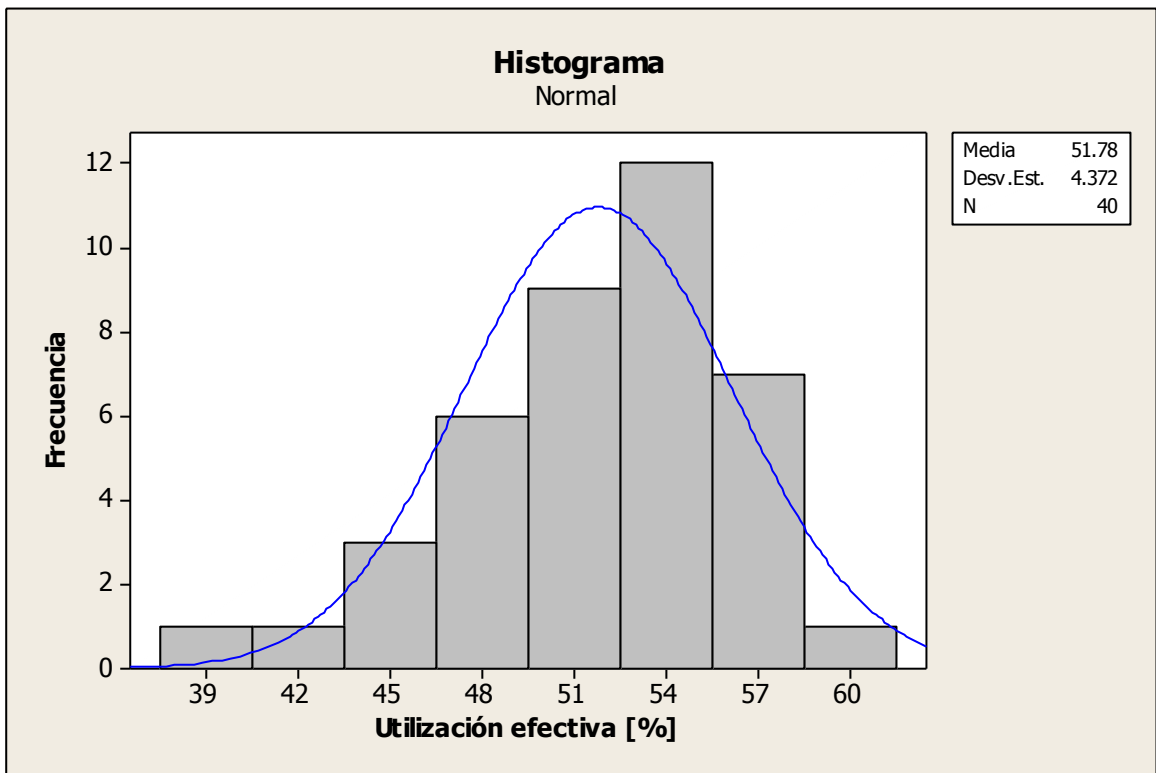


GRÁFICO 89. HISTOGRAMA UTILIZACIÓN EFECTIVA EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

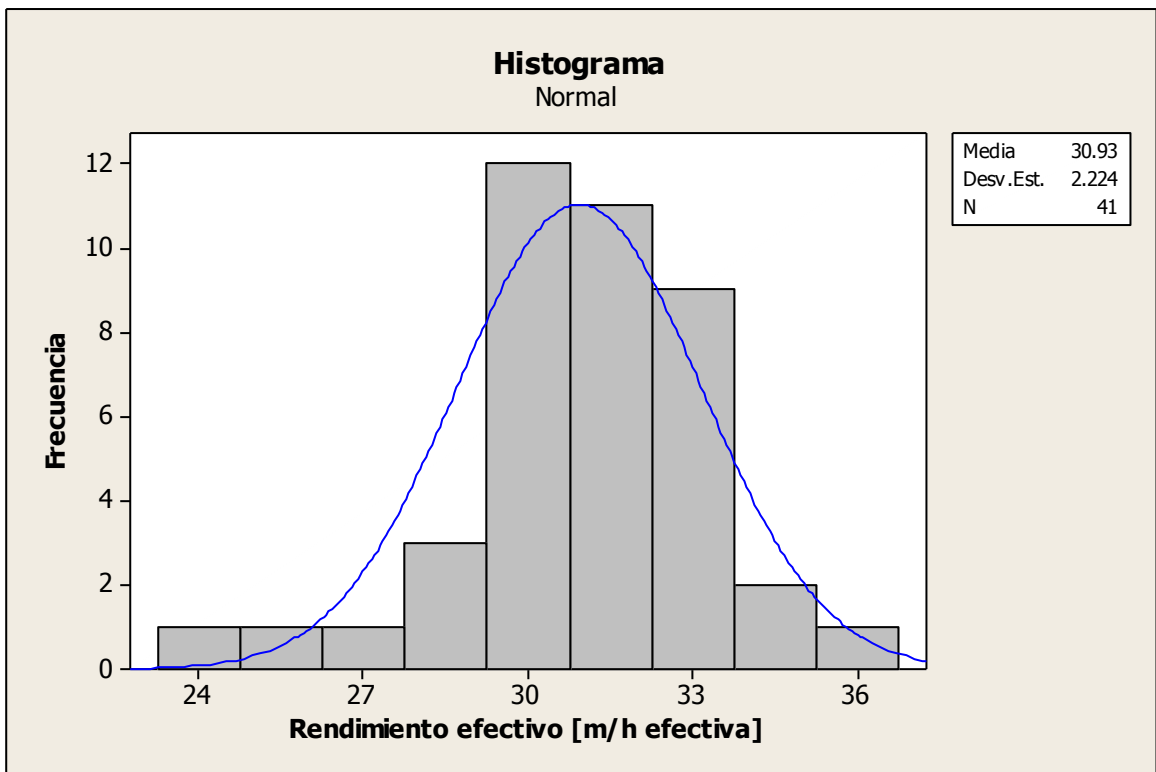


GRÁFICO 90. HISTOGRAMA PROMEDIO RENDIMIENTO MENSUAL EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

FEBRERO					
	Unidad	Meta mensual	Real	Diferencia	Equiv. M
Metros perforados Viper 2 EQUIPO	m	16,212	17,181	969	
Nominales	hrs	1344	1344		
Mantenimiento	hrs	388.4	301.5		
DISPONIBILIDAD	%	71.1%	77.6%	6.5%	1475
Disponibles	hrs	955.6	1042.5		
Operativas	hrs	879	882.4		
UOBD	%	92%	84.6%		
UEBD	%	51%	46.9%	-4.2%	-1464
UT	%				
Efectivas	hrs	488	489		
REND. EFECTIVO	m/hrs efec.	33.2	35.16	1.96	958
Reservas	hrs	76	160		
Demoras	hrs	391	394		
Chequeo Hrs		1344	1344		969
WATERFALL					
	TOTAL	Base	Incremento positivo	Incremento negativo	
Plan Perforación	56,741				
Disp. Pit Viper		56,741	1475		
Disp. DMH		56,591		1625	
Disp. 49 HR		56,591	1334		
Disp. T4 BH		55,562		2363	
UEBD Pit Viper		54,098		1464	
UEBD DMH		52,526		1572	
UEBD 49 HR		50,235		2291	
UEBD T4 BH		49,417		818	
Rend. Pit Viper		49,417	958		
Rend. DMH		48,772		1603	
Rend. 49 HR		48,772	655		
Rend. T4 BH		47,891		1535	
Real Perforación	47,892				
	8849		4421	13271	8850
Impacto en metros					
Disp. Pit Viper	1475				
Disp. DMH	1625				
Disp. 49 HR	1334				
Disp. T4 BH	2363				
UEBD Pit Viper	1464				
UEBD DMH	1572				
UEBD 49 HR	2291				
UEBD T4 BH	818				
Rend. Pit Viper	958				
Rend. DMH	1603				
Rend. 49 HR	655				
Rend. T4 BH	1535				

ILUSTRACIÓN 21. EJEMPLO ANÁLISIS FACTORIAL

D.2. Base de datos por turno

Los datos que se quieren recopilar corresponden a los tiempos (estados o indicadores) de los equipos y su descripción en cada turno, es decir, si estuvo en demora no programada conocer que demora en particular, para ver la distribución de los tiempos y determinar demoras no programadas principales por turno.

TABLA 26. ESTADOS DE LOS EQUIPOS Y SUS DESCRIPCIONES

Indicador o Estado	Descripción
Efectivo	Perforando/Acople de barras
Pérdidas operacionales	Limpieza pozo
Detenciones programadas	Cambio de Turno
	Colación (Medio Turno)
Detenciones no programadas	Abastecimiento de agua
	Aceros pegados
	Armando convoy
	Aseo
	Atención supervisor
	Cambio de aceros
	Cambio de bit
	Destape broca o herramienta
	Espera de acceso
	Espera de agua
	Espera de repuestos/material
	Espera de sello
	Espera de energía/combustible
	Espera marca/malla
	Espera mover
	Espera sitio para perforar
	Espera tronadura
	Incidente o accidente
	Moviendo
Revisión máquina	
Traslado de perforadora	
Traslado de personal	
Reservas	Con operador
	Sin operador
	Condiciones climáticas
	Reunión

Fuera de servicio	Mec. Eléctrico Terreno
	Mec. Otros (Nodispmant)
	Mec. Taller (Garage Diesel)
	Mec. Terreno

D.2.1. Reducción del período de evaluación

Para discernir cuáles son los meses que se escogerán para construir la base de datos que será posteriormente analizada, se realiza una comparación gráfica de tres indicadores del ítem anterior, que corresponden a disponibilidad, utilización operativa y utilización efectiva, los demás se dejan fuera de estudio ya que son complementarios, es decir, si aumenta la utilización operativa se presenta una disminución en las reservas, entonces entregan información redundante para el análisis. Para esto se utilizan los gráficos obtenidos en el ítem anterior. La finalidad es determinar meses malos, regulares y buenos ya que no hay un comportamiento periódico en los datos o no se ve una tendencia clara; los meses que más se repiten son escogidos para la recolección de datos final.

TABLA 27. CLASIFICACIÓN DE LOS MESES SEGÚN INDICADORES OPERATIVOS

	Roc L8	Pit Viper	DMH 2	49 HR
Disponibilidad				
Malo	Noviembre	Mayo	Marzo	Octubre
Regular	Agosto	Marzo	Septiembre	Abril
Bueno	Mayo	Abril	Febrero	Agosto
Utilización operativa				
Malo	Abril	Julio	Julio	Agosto
Regular	Julio	Agosto	Septiembre	Mayo
Bueno	Noviembre	Abril	Marzo	Marzo
Utilización efectiva				
Malo	Septiembre	Julio	Septiembre	Agosto
Regular	Marzo	Marzo	Octubre	Septiembre
Bueno	Agosto	Mayo	Mayo	Mayo

TABLA 28. FRECUENCIA DE CLASIFICACIÓN DE LOS MESES

Meses	Malo	Regular	Bueno	TOTAL
Enero	0	0	0	0
Febrero	0	0	1	1
Marzo	1	3	2	6
Abril	1	1	2	4
Mayo	1	1	4	6
Junio	0	0	0	0
Julio	3	1	0	4
Agosto	2	2	2	6
Septiembre	2	3	0	5
Octubre	1	1	0	2
Noviembre	1	0	1	2
Diciembre	0	0	0	0

Por lo tanto, los meses con mayor frecuencia de aparición son Marzo, Mayo y Agosto, los que posteriormente son estudiados.

D.2.2. Recopilación y consolidación de datos

Los datos se descargan del Sistema AIDP en el reporte “Detalle de Tiempos de Perforación” que se genera por día para cada equipo, es decir, que en total se descargan 2,150 archivos en formato Excel para perforadoras de producción (361, 362, 365, 366, 367, 381 y 382) y 2,362 archivos para equipos de precorte (300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 313, 314, 315, 316 y 317).

Chuquicamata => Detalle de Tiempos de Perforación

Equipo : 361

TIPO INDICADOR : EFECTIVOS			
Nombre Ind.	Inicio	Término	Total Min.
Acopl-Desco Barra			270
Disponible (Perforando)			540
TOTAL			810
TIPO INDICADOR : FUERA DE SERVICIO			
Nombre Ind.	Inicio	Término	Total Min.
Mec. Taller (Garage Diesel)	6:00	6:20	20
Mec. Eléctrico Terreno	8:50	9:30	40
	10:00	10:40	40
	Subtotal:		100
TOTAL			100
TIPO INDICADOR : Det. Programada			
Nombre Ind.	Inicio	Término	Total Min.
Cam/Turno Descanse	12:20	13:00	40
Cambio De Turno	12:20	13:00	40
Cambio Turno	12:20	13:00	40
TOTAL			120
TIPO INDICADOR : Det. No Programada			
Nombre Ind.	Inicio	Término	Total Min.
Revision Maquina	5:00	5:20	20
Undef	5:00	5:20	20
Espera Energia/Combustib	7:10	8:00	50
Espera Energia/Combustible	7:10	8:00	50
Undef	7:10	8:00	50
TOTAL			190
=> Turno A			
			TOTAL TIEMPO INGRESADO : 480 min.
TIPO INDICADOR : EFECTIVOS			
Nombre Ind.	Inicio	Término	Total Min.
Acopl-Desco Barra			90
Disponible (Perforando)			240
TOTAL			330

ILUSTRACIÓN 22. EJEMPLO REPORTE "DETALLE TIEMPOS DE PERFORACIÓN"

Como es posible observar en el ejemplo anterior, la información es entregada por turno, pero presenta algunos problemas:

- Repetición de las descripciones al mismo tiempo pero con distinto nombre

- Suma de estado efectivo es mayor en algunos casos al tiempo nominal del turno, por lo que, no se puede considerar como dato, este tiempo se calcula en función de los otros estados en la base de datos.
- Presentación de la información es difícil de manejar, por lo que, se busca ordenarla en una base de datos nueva más fácil de analizar y que contenga toda la información de los reportes descargados.

Los datos de los archivos descargados se ordenan con la ayuda de un programa realizado en el software Matlab que puede ser revisado con más detalle en el siguiente ítem, este permite leer los datos de cada archivo descargado por mes e ir reescribiéndolos en un documento nuevo en formato Excel, este proceso se realiza por mes para cada equipo.

Año	Mes	Día	Turno	Equipo	Indicador	Descripción	Duración
2012		8	1 Turno A		361 FUERA DE SERVICIO	Mec. Taller (Garage Diesel)	20
2012		8	1 Turno A		361 FUERA DE SERVICIO	Mec. Eléctrico Terreno	80
2012		8	1 Turno A		361 Det. Programada	Cam/Turno Descanse/Car	40
2012		8	1 Turno A		361 Det. No Programada	Revision Maquina/Undef	20
2012		8	1 Turno A		361 Det. No Programada	Espera Energia/Combusti	50
2012		8	1 Turno B		361 FUERA DE SERVICIO	Mec. Eléctrico Terreno	60
2012		8	1 Turno B		361 Det. Programada	Cam/Turno Descanse/Car	20
2012		8	1 Turno B		361 Det. Programada	Colacion (Medio Turno)/I	30
2012		8	1 Turno B		361 Det. No Programada	Revision Maquina/Undef	50
2012		8	1 Turno B		361 Det. No Programada	Espera Energia/Combusti	210
2012		8	1 Turno C		361 FUERA DE SERVICIO	Mec. Eléctrico Terreno	60
2012		8	1 Turno C		361 Det. Programada	Colacion (Medio Turno)/I	120
2012		8	1 Turno C		361 Det. No Programada	Espera Marca/Malla/Und	300
2012		8	2 Turno A		361 FUERA DE SERVICIO	Mec. Otros(Nodispmant)	30
2012		8	2 Turno A		361 FUERA DE SERVICIO	Mec. Eléctrico Terreno	30
2012		8	2 Turno A		361 Det. Programada	Cam/Turno Descanse/Car	30
2012		8	2 Turno A		361 Det. Programada	Colacion (Medio Turno)/I	30
2012		8	2 Turno A		361 Det. No Programada	Traslado De Perforadora/	60

ILUSTRACIÓN 23. EJEMPLO DOCUMENTO NUEVO GENERADO

Posteriormente, los nuevos documentos generados son copiados en la base de datos final.

Finalmente, se realiza una revisión de la base de datos para observar si existen datos erróneos, efectivamente hay datos que poseen tiempo efectivo negativo, por lo que se contrasta la información del turno con el reporte físico del operador, se observa que en el sistema se ingresan más estados de los que se muestran en el reporte original, por lo que se modifica la información de la base de datos.

TABLA 29. TURNOS CON TIEMPO EFECTIVO NEGATIVO MODIFICADOS

Año	Mes	Día	Turno	Equipo
2012	Agosto	3	A	304
2012	Agosto	4	B	307
2012	Mayo	21	C	307
2012	Mayo	23	A	307
2013	Agosto	11	B	308
2013	Agosto	12	A	362
2012	Marzo	16	C	366
2013	Agosto	7	C	381
2015	Marzo	28	C	381
2012	Mayo	18	B	382
2012	Mayo	18	B	382

D.2.3. Programa en Matlab

Debido a la cantidad de código que se usa, a continuación sólo se muestra una parte de él, que considera la búsqueda del equipo en el reporte descargado. Para mayor información del código revisar archivos adjuntos.

Buscar equipo:

```

"function out=buscar_equipo(filename)
[~,~,raw]=xlsread(filename);
raw(cellfun(@(row) any(isnan(raw)),raw))={'EMPTY'};
[filas,~]=size(raw);
A=raw(:,1);
B=raw(:,2);
C=raw(:,3);
D=raw(:,4);
turnoA=0; turnoB=0; turnoC=0;
categ=[];
fila_categ=[];
desc=[];
inicio_desc=[];
termino_desc=[];
dura_desc=[];
fila_desc=[];
for i=1:filas
    aux1=A{i,1}; aux2=B{i,1}; aux3=C{i,1}; aux4=D{i,1};

```



```

% Identifica descripciones
if isnumeric(aux2)==1 && isnumeric(aux3)==1 && isnumeric(aux4)==1
    desc=[desc;cellstr(aux1)];
    inicio_desc=[inicio_desc;aux2];
    termino_desc=[termino_desc;aux3];
    dura_desc=[dura_desc;aux4];
    fila_desc=[fila_desc;i];
% Identifica turnos
elseif isempty(strfind(aux1,'Turno'))==0
    aux5=aux1(1,5:11);
    if isempty(strfind(aux5,'A'))==0
        turnoA=i;
    elseif isempty(strfind(aux5,'B'))==0
        turnoB=i;
    elseif isempty(strfind(aux5,'C'))==0
        turnoC=i;
    end
% Identifica categorías
elseif isempty(strfind(aux1,'INDICADOR'))==0
    aux6=length(aux1);
    categ=[categ;cellstr(aux1(1,18:aux6))];
    fila_categ=[fila_categ;i];
end
end
% Elimina "EMPTY"s
desc=reparar(desc);
% Elabora matrix de salida inicial [Turno Categoría Descripción Duración Inicio Terminio]
aux7=length(fila_desc);
aux8=length(fila_categ);
out_aux1=[];
% Construye matriz [Categoría Descripción Duración Inicio Terminio]
for i=1:aux7
    for j=1:aux8
        aux9=categ{j,1};
        aux10=desc{i,1};
        if j~=aux8 && fila_categ(j)<fila_desc(i) && fila_categ(j+1)>fila_desc(i)

out_aux1=[out_aux1;cellstr(aux9),cellstr(aux10),dura_desc(i),inicio_desc(i),termino_desc(i)];
        elseif j==aux8 && fila_categ(j)<fila_desc(i)

```

```

out_aux1=[out_aux1;cellstr(aux9),cellstr(aux10),dura_desc(i),inicio_desc(i),termino_desc(i)];
end
end
end
out_aux2=[];
% Construye matriz [Turno Categoría Descripción Duración Inicio Termino]
for i=1:aux7
    if fila_desc(i)>turnoA && fila_desc(i)<turnoB
        out_aux2=[out_aux2;'Turno A',out_aux1(i,:)];
    elseif fila_desc(i)>turnoB && fila_desc(i)<turnoC
        out_aux2=[out_aux2;'Turno B',out_aux1(i,:)];
    elseif fila_desc(i)>turnoC
        out_aux2=[out_aux2;'Turno C',out_aux1(i,:)];
    end
end
% Elimina repetidos
out_aux3=eliminar_repetidos(out_aux2);
% Suma duraciones de descripciones iguales en un mismo turno
out=sumar_iguales(out_aux3);
end”

```

D.2.4. Histogramas demoras no programadas

PRODUCCIÓN									
TURNO A			TURNO B			TURNO C			
Etiquetas de fila	Total general	80%	Etiquetas de fila	Total general	80%	Etiquetas de fila	Total general	80%	
Det. No Programada	4617.25	3693.8	Det. No Programada	5610.17	4488.1333	Det. No Programada	4286.67	3429.3333	
Espera Sitio Para Perforar	1235.08	1235.08	Espera Sitio Para Perforar	1051.83	1051.83	Espera Sitio Para Perforar	1175.75	1175.75	
Traslado De Perforadora	803.67	2038.75	Traslado De Perforadora	993.33	2045.17	Traslado De Perforadora	724.75	1900.50	
Revisión Maquina	444.08	2482.83	Espera Tronadura	784.33	2829.50	Espera Energia/Combustible	512.00	2412.50	
Espera De Sello	425.50	2908.33	Espera Energia/Combustible	747.50	3577.00	Revisión Maquina	434.75	2847.25	
Espera Energia/Combustible	406.33	3314.67	Revisión Maquina	455.58	4032.58	Espera De Sello	360.92	3208.17	
Espera Marca/Malla	341.83	3656.50	Espera De Sello	442.42	4475.00	Espera Marca/Malla	279.25	3487.42	
Cambio De Aceros	248.58	3905.08	Espera Marca/Malla	278.33	4753.33	Cambio De Aceros	230.08	3717.50	
Espera De Agua	184.33	4089.42	Cambio De Aceros	275.25	5028.58	Espera De Agua	137.25	3854.75	
Espera Tronadura	139.58	4229.00	Espera De Agua	161.08	5189.67	Atención Supervisor	105.83	3960.58	
Atención Supervisor	97.08	4326.08	Atención Supervisor	99.25	5288.92	Espera De Acceso	94.75	4055.33	
Espera De Acceso	60.75	4386.83	Espera De Acceso	82.58	5371.50	Espera Mover	42.17	4097.50	
Espera Mover	50.25	4437.08	Moviendo	55.92	5427.42	Espera Tronadura	36.17	4133.67	
Aceros Pegados	44.42	4481.50	Espera De Repuestos/Mater	38.50	5465.92	Aceros Pegados	30.00	4163.67	
Abastecimiento De Agua	32.58	4514.08	Espera Mover	33.50	5499.42	Espera De Repuestos/Mater	22.17	4185.83	
Espera De Repuestos/Mater	28.25	4542.33	Abastecimiento De Agua	27.33	5526.75	Destap Broca O Herramienta	22.00	4207.83	
Moviendo	23.58	4565.92	Aceros Pegados	25.58	5552.33	Moviendo	21.75	4229.58	
Incidente O Accidente	17.08	4583.00	Destap Broca O Herramienta	22.67	5575.00	Aseo	17.17	4246.75	
Aseo	16.42	4599.42	Aseo	14.50	5589.50	Abastecimiento De Agua	11.92	4258.67	
Destap Broca O Herramienta	12.92	4612.33	Incidente O Accidente	9.33	5598.83	Incidente O Accidente	10.17	4268.83	
Traslado De Personal	3.92	4616.25	Otros (Instalfrío-Gps-Varios)	7.42	5606.25	Traslado De Personal	9.00	4277.83	
Otros (Instalfrío-Gps-Varios)	1.00	4617.25	Traslado De Personal	3.92	5610.17	Otros (Instalfrío-Gps-Varios)	8.50	4286.33	
						Armando Convoy	0.33		

ILUSTRACIÓN 24. DEMORAS NO PROGRAMADAS POR TURNO, CONSIDERANDO EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

CONTROL DE PARED						
TURNO A		TURNO B		TURNO C		
	Total general	80%		Total general	80%	
Etiquetas de fila		2404.5333				1880.5333
Det. No Programada	3005.67		Etiquetas de fila	3132.60		Det. No Programada
Traslado De Perforadora	607.33	607.33	Traslado De Perforadora	775.50	775.50	Traslado De Perforadora
Revisión Maquina	378.33	985.67	Espera Tronadura	578.25	1353.75	Revisión Maquina
Cambio De Aceros	359.83	1345.50	Revisión Maquina	354.42	1708.17	Cambio De Aceros
Espera De Agua	327.17	1672.67	Cambio De Aceros	321.08	2029.25	Espera De Agua
Espera Marca/Malla	317.83	1990.50	Espera De Agua	262.03	2291.28	Espera Marca/Malla
Espera Sitio Para Perforar	206.33	2196.83	Espera De Sello	196.65	2487.93	Espera Energia/Combustible
Espera Energia/Combustible	177.33	2374.17	Espera Sitio Para Perforar	161.25	2649.18	Atención Supervisor
Espera De Sello	144.08	2518.25	Espera Marca/Malla	148.00	2797.18	Incidente O Accidente
Aceros Pegados	92.42	2610.67	Espera Energia/Combustible	94.67	2891.85	Aceros Pegados
Incidente O Accidente	81.00	2691.67	Atención Supervisor	82.67	2974.52	Espera De Sello
Atención Supervisor	76.08	2767.75	Aceros Pegados	74.67	3049.18	Espera Sitio Para Perforar
Espera Tronadura	63.00	2830.75	Espera De Acceso	19.50	3068.68	Espera Mover
Espera De Acceso	36.92	2867.67	Traslado De Personal	16.67	3085.35	Espera De Acceso
Espera Mover	31.33	2899.00	Abastecimiento De Agua	11.50	3096.85	Traslado De Personal
Traslado De Personal	26.92	2925.92	Aseo	9.92	3106.77	Espera De Repuestos/Mater
Espera De Repuestos/Mater	22.83	2948.75	Espera De Repuestos/Mater	6.17	3112.93	Abastecimiento De Agua
Abastecimiento De Agua	22.50	2971.25	Moviendo	5.58	3118.52	Aseo
Moviendo	16.50	2987.75	Destap Broca O Herramien.	4.92	3123.43	Cambio De Bit
Aseo	12.17	2999.92	Cambio De Bit	3.33	3126.77	Destap Broca O Herramien.
Cambio De Bit	2.75	3002.67	Incidente O Accidente	3.33	3130.10	Espera Tronadura
Destap Broca O Herramien.	2.50	3005.17	Espera Mover	2.50	3132.60	Moviendo
Otros (Instalfrío-Gps-Varios)	0.50	3005.67				

ILUSTRACIÓN 25. DEMORAS NO PROGRAMADAS POR TURNO, CONSIDERANDO EQUIPOS DE CONTROL DE PARED

Los gráficos que se muestran en esta sección corresponden a histogramas que tienen en el eje “X” la duración de la demora dividida por rangos, en el eje principal “Y” la frecuencia de la demora en el rango y en el eje secundario “Y” el porcentaje que representa ese rango en el tiempo de la demora total.

D.2.4.1. Espera sitio para perforar



GRÁFICO 91. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA SITIO PARA PERFORAR POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE



GRÁFICO 92. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA SITIO PARA PERFORAR POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.2. Traslado de perforadora



GRÁFICO 93. HISTOGRAMAS DEMORA TRASLADO DE PERFORADORA POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

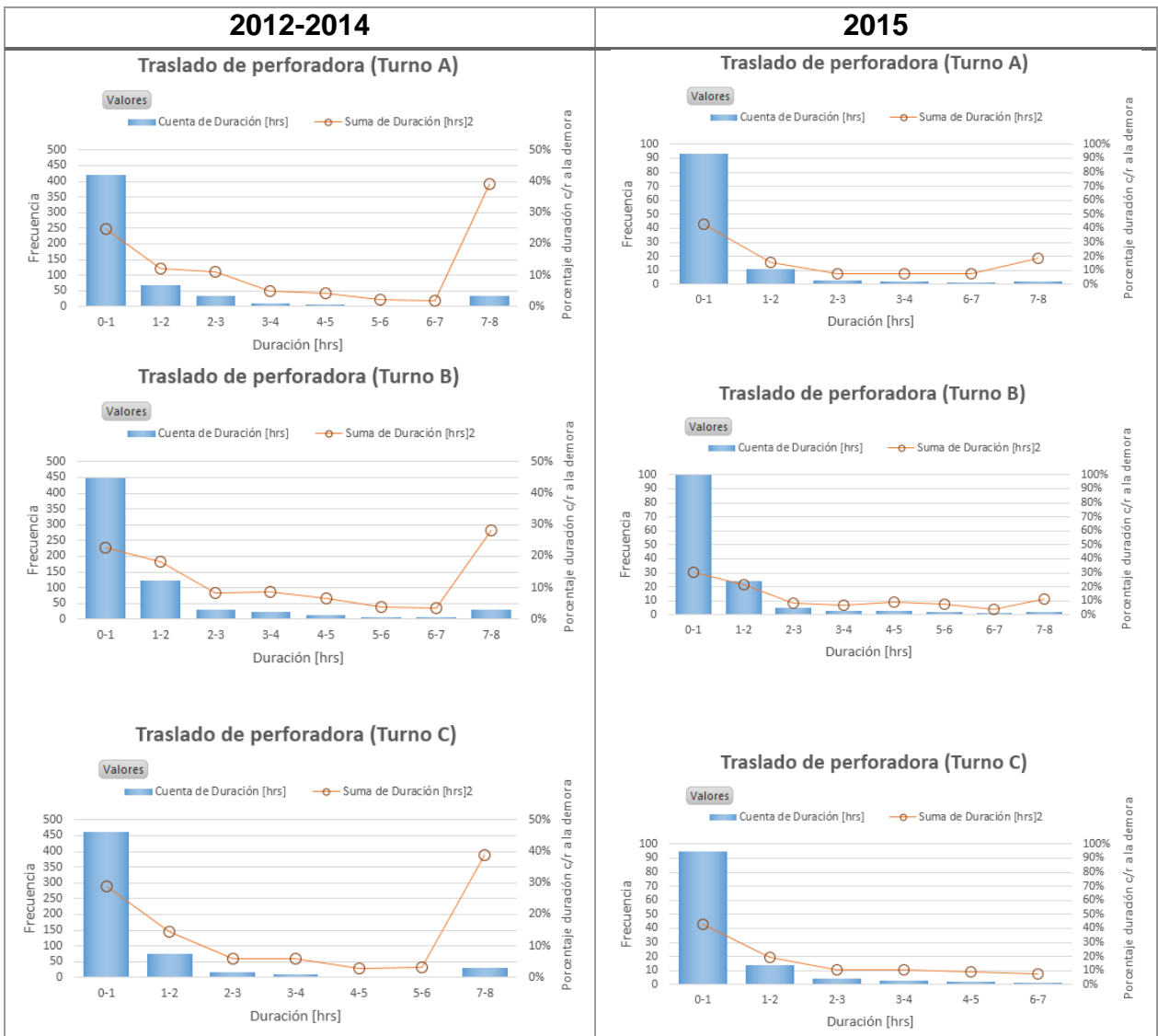


GRÁFICO 94. HISTOGRAMAS DEMORA TRASLADO DE PERFORADORA POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.3. Revisión máquina



GRÁFICO 95. HISTOGRAMAS DEMORA REVISIÓN MÁQUINA POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

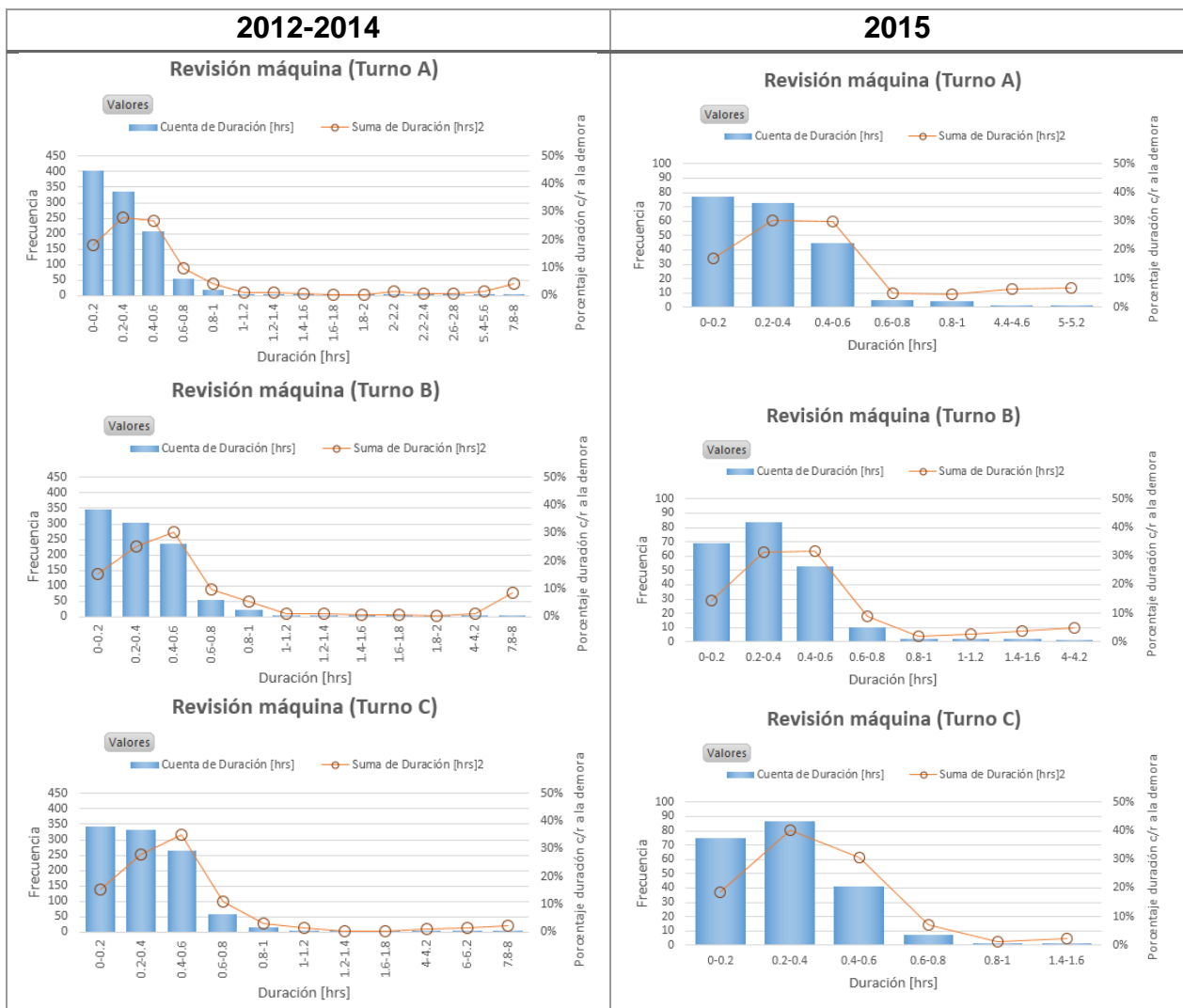


GRÁFICO 96. HISTOGRAMAS DEMORA REVISIÓN MÁQUINA POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.4. Espera marca/malla



GRÁFICO 97. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA MARCA/MALLA POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE



GRÁFICO 98. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA MARCA/MALLA POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.5. Cambio de aceros



GRÁFICO 99. HISTOGRAMAS DEMORA CAMBIO DE ACEROS POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

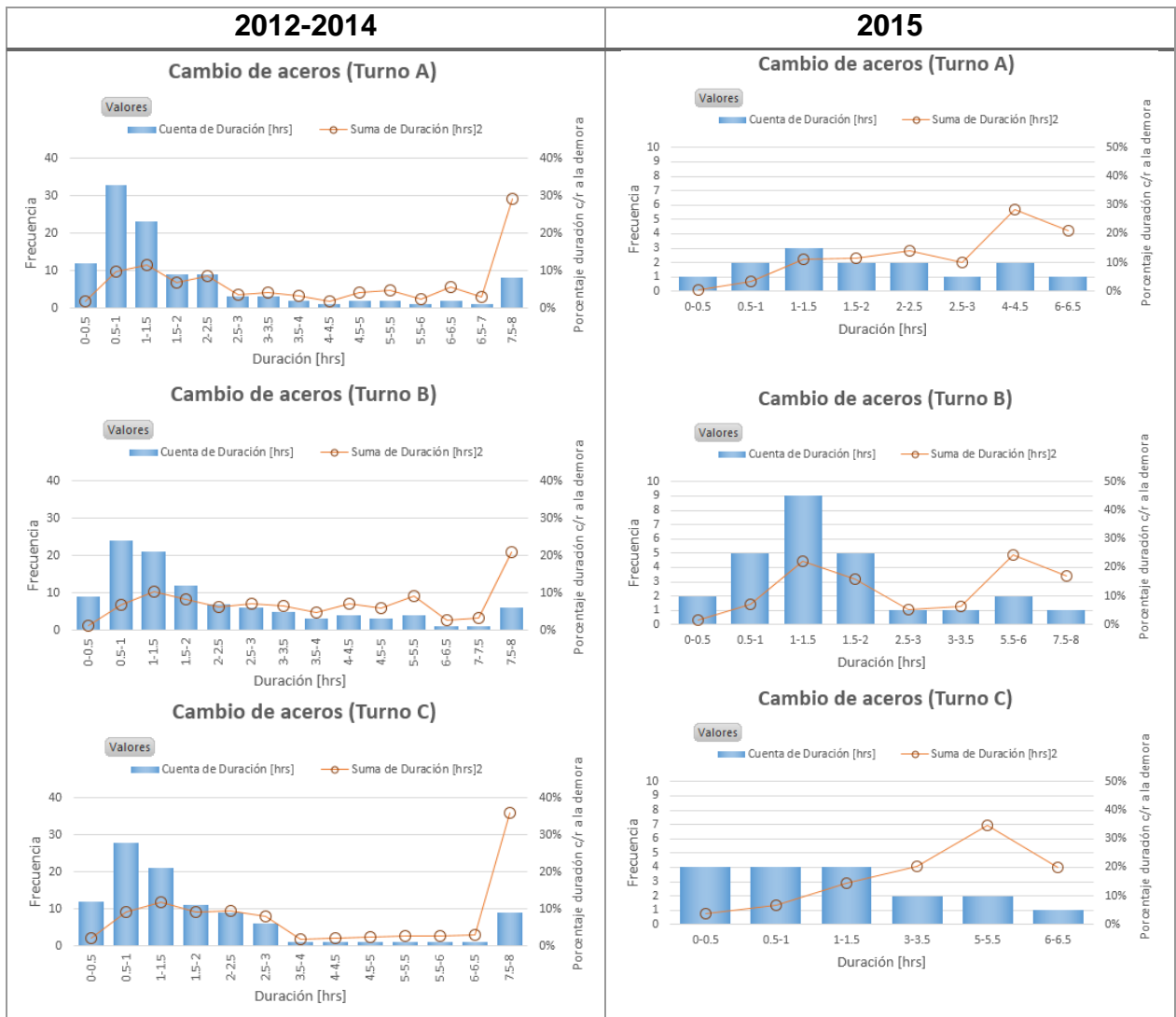


GRÁFICO 100. HISTOGRAMAS DEMORA CAMBIO DE ACEROS POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.6. Espera energía/combustible

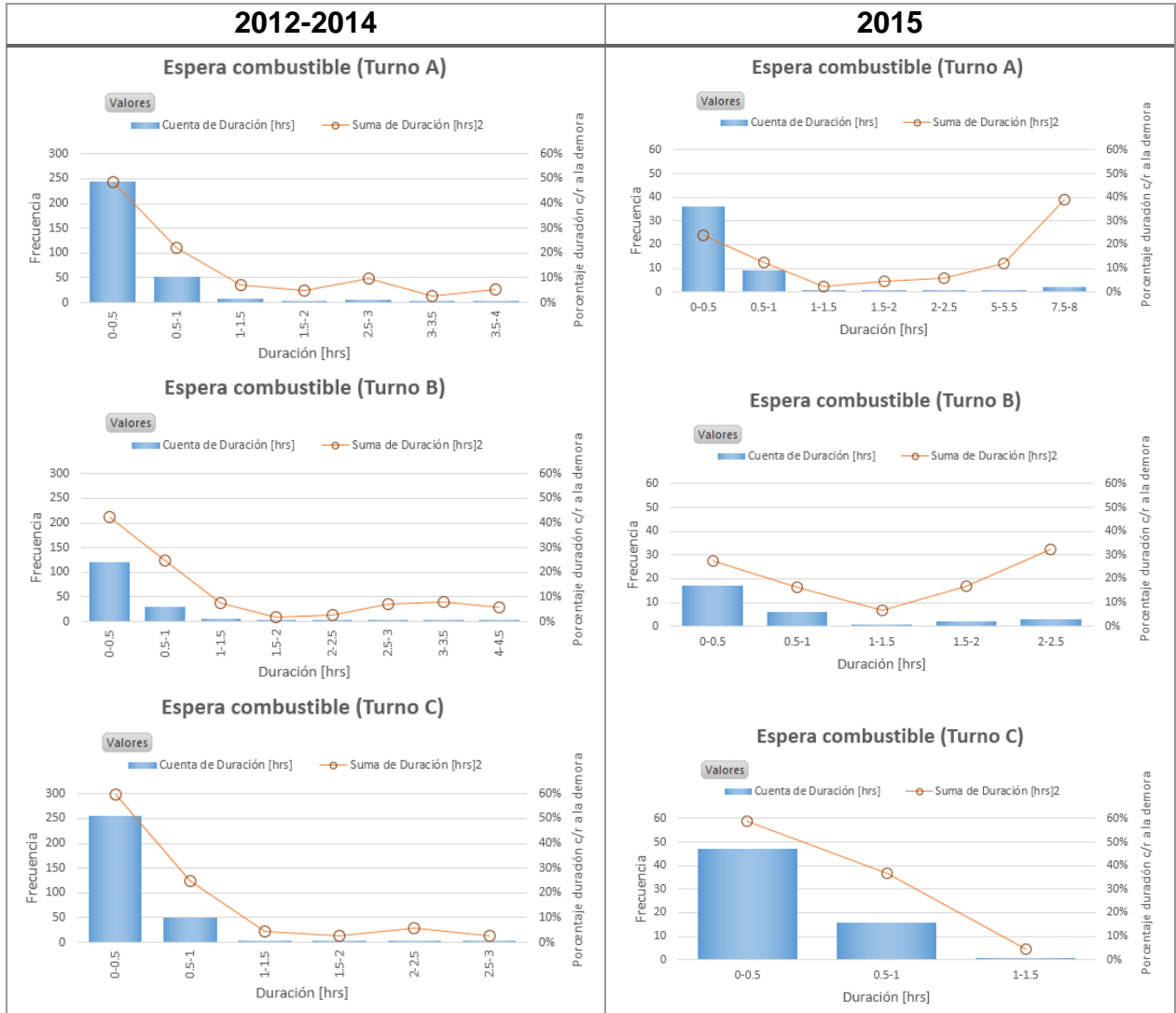


GRÁFICO 101. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA COMBUSTIBLE POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

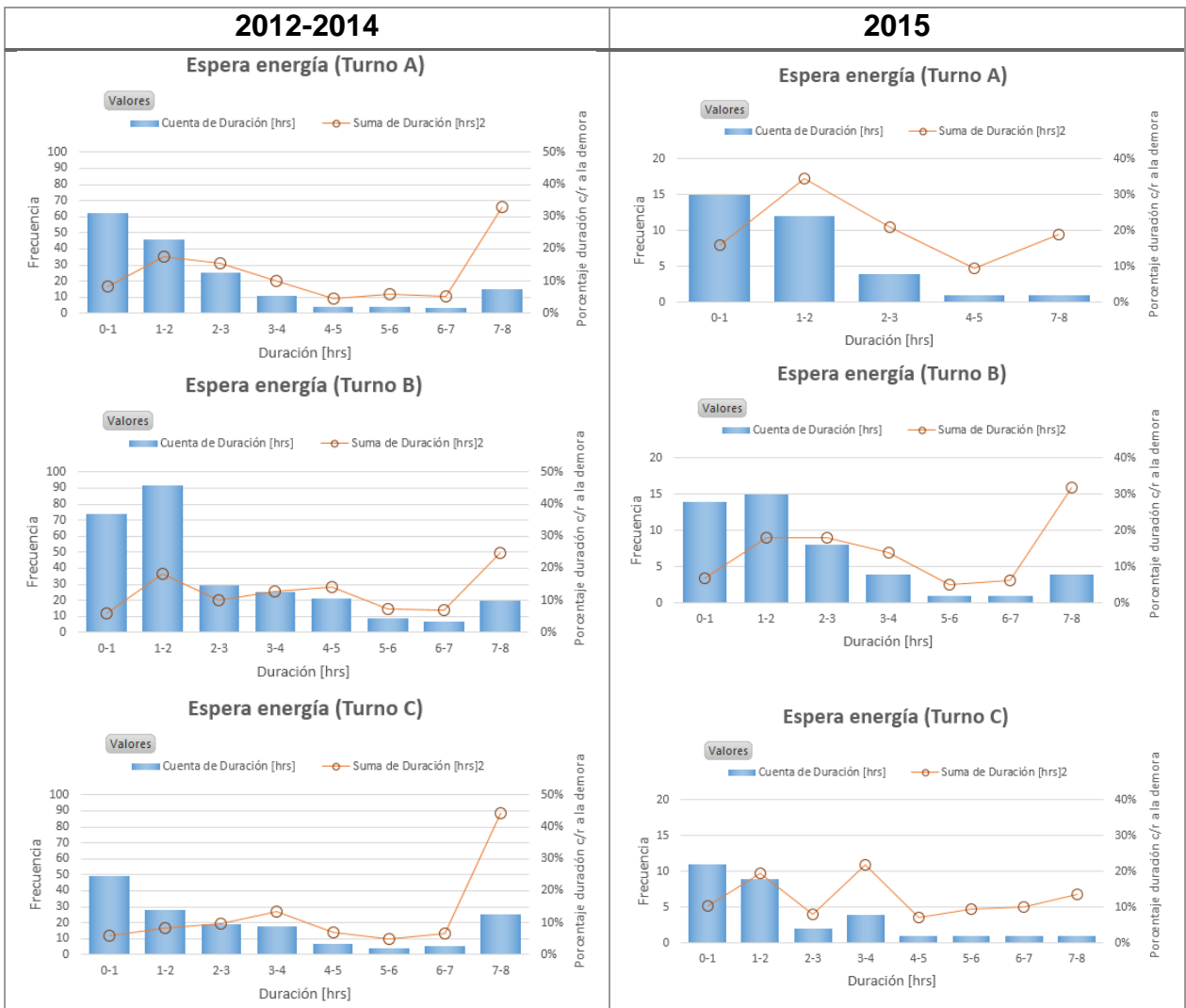


GRÁFICO 102. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA ENERGÍA POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.7. Espera de sello

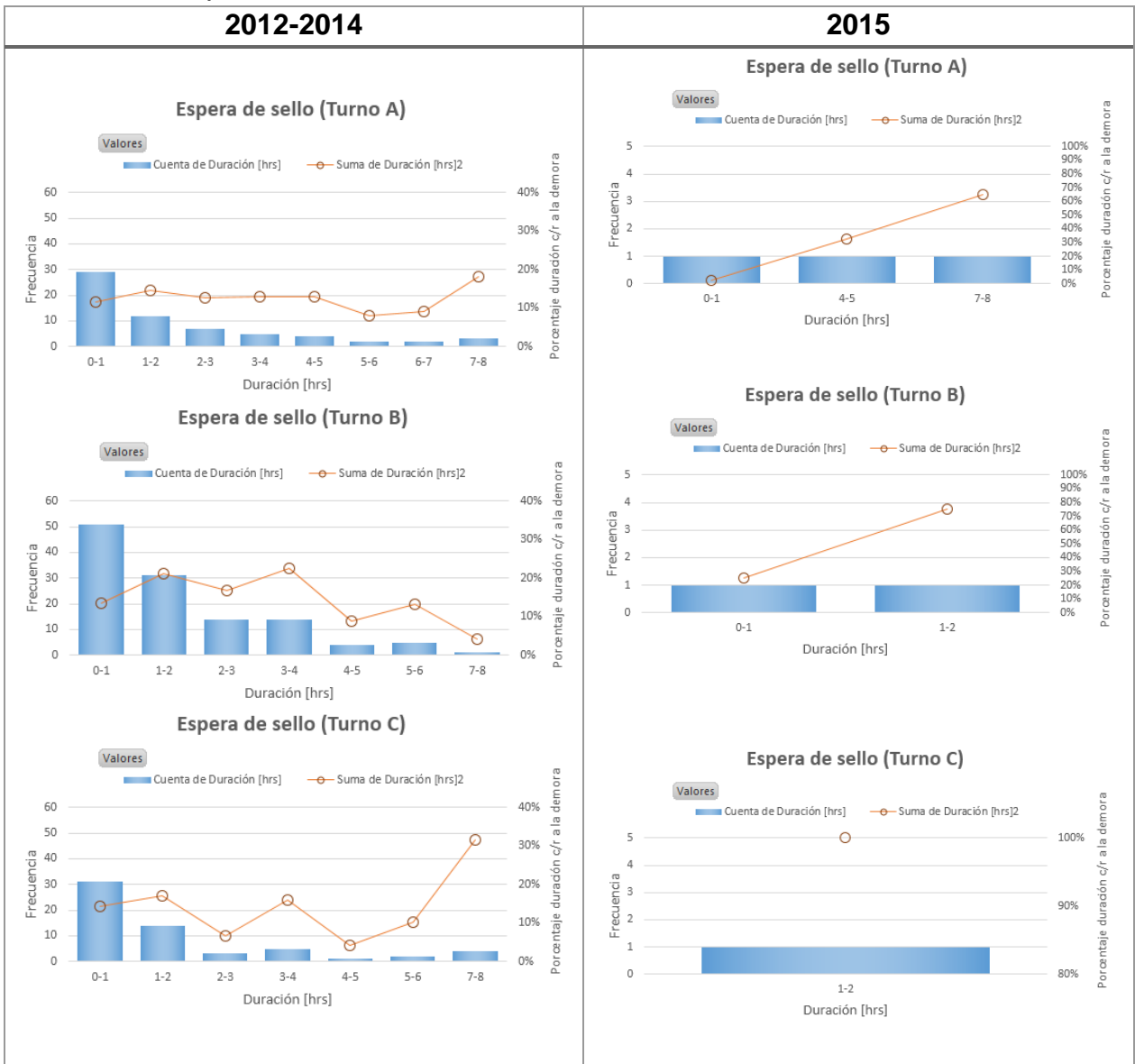


GRÁFICO 103. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA DE SELLO POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

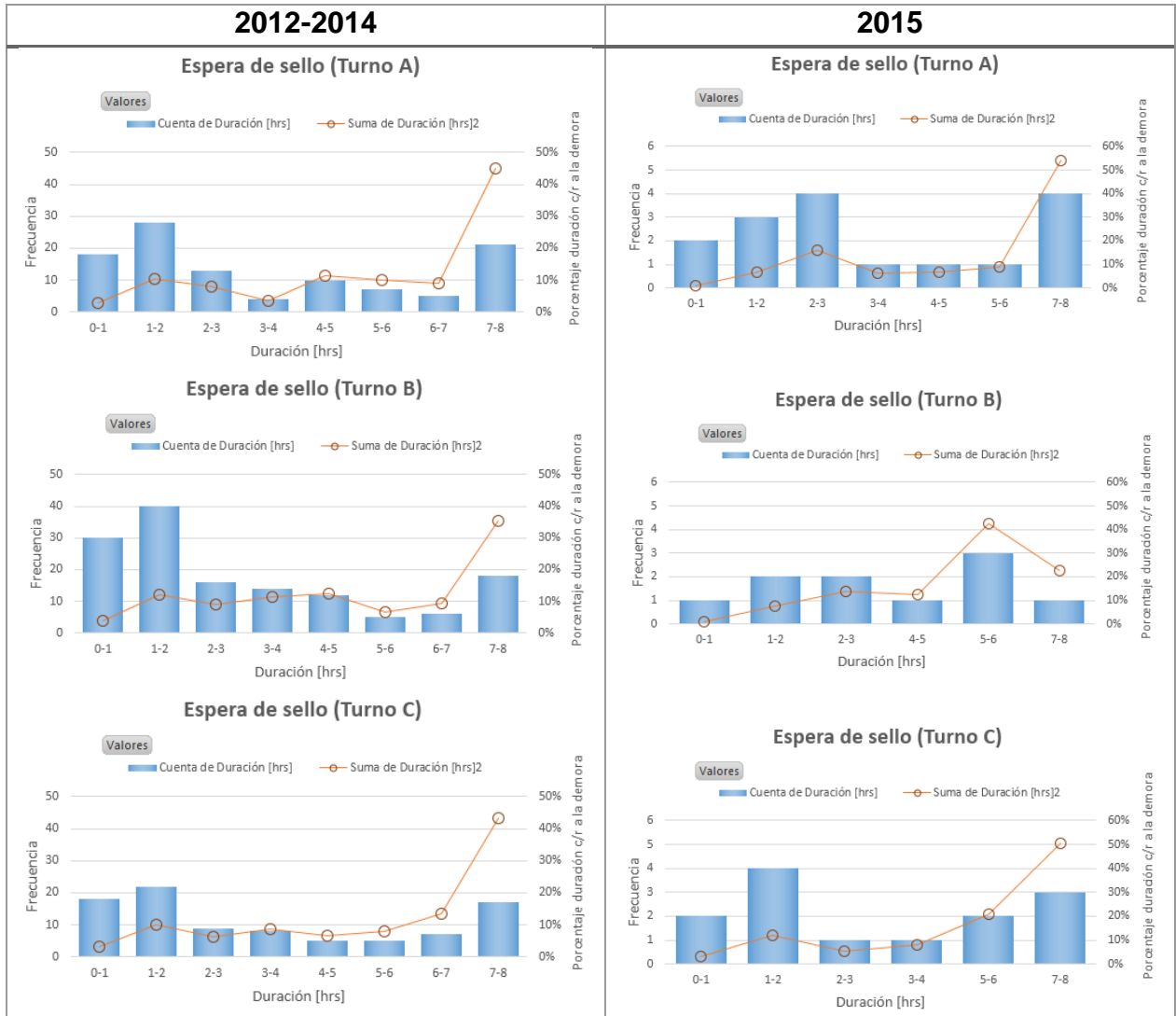


GRÁFICO 104. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA DE SELLO POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.8. *Espera de agua*

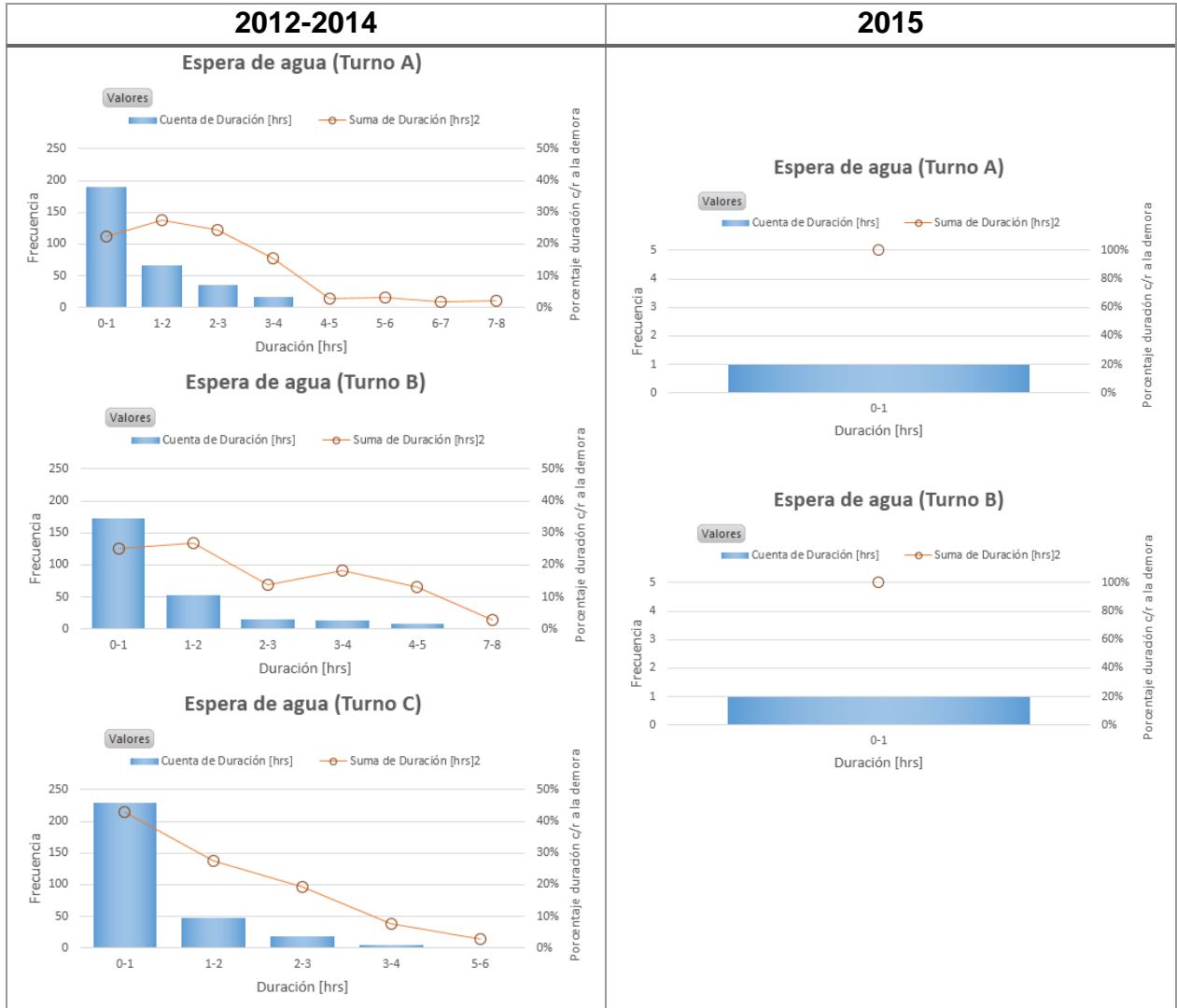


GRÁFICO 105. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA DE AGUA POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

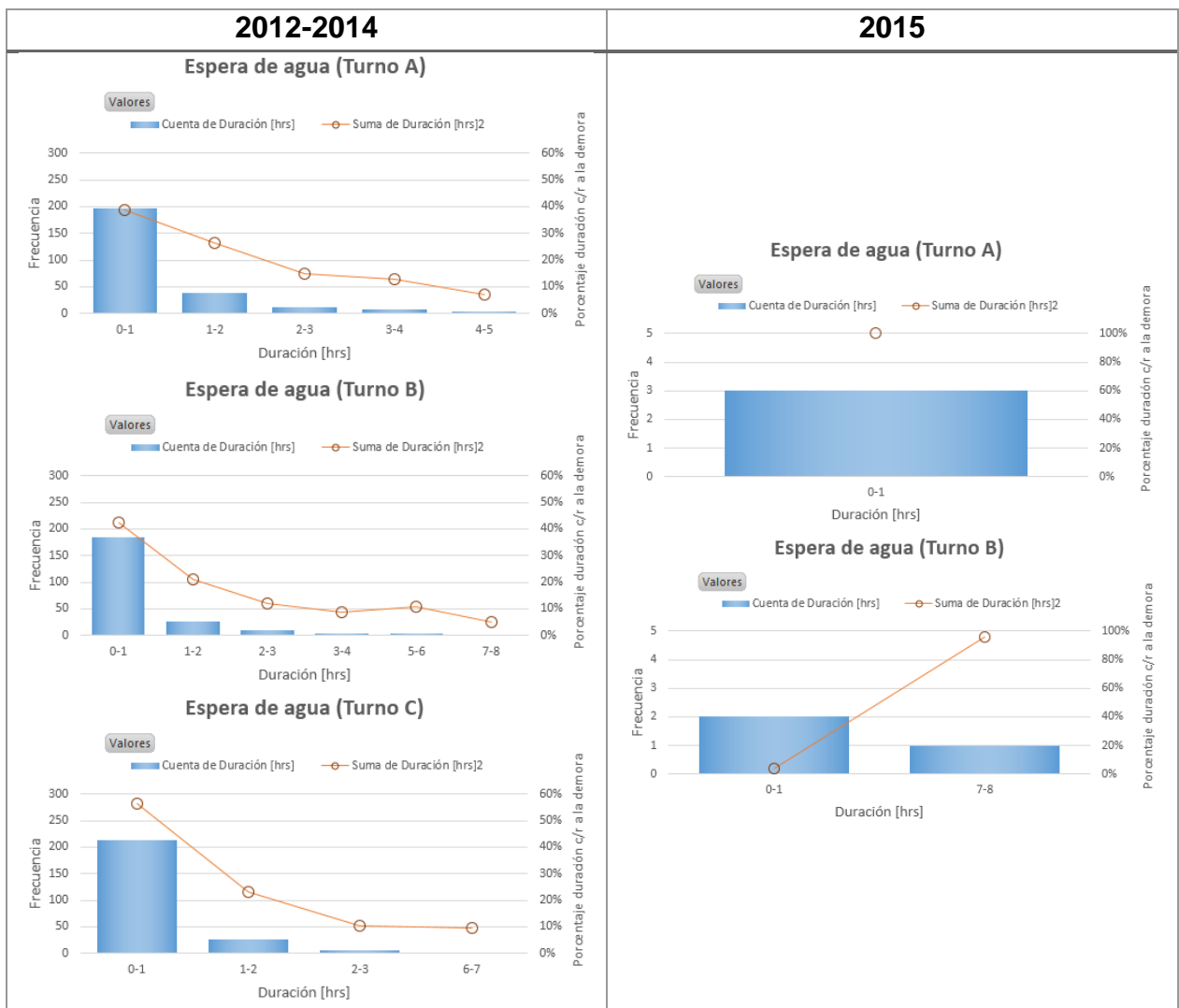


GRÁFICO 106. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA DE AGUA POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.2.4.9. Espera tronadura

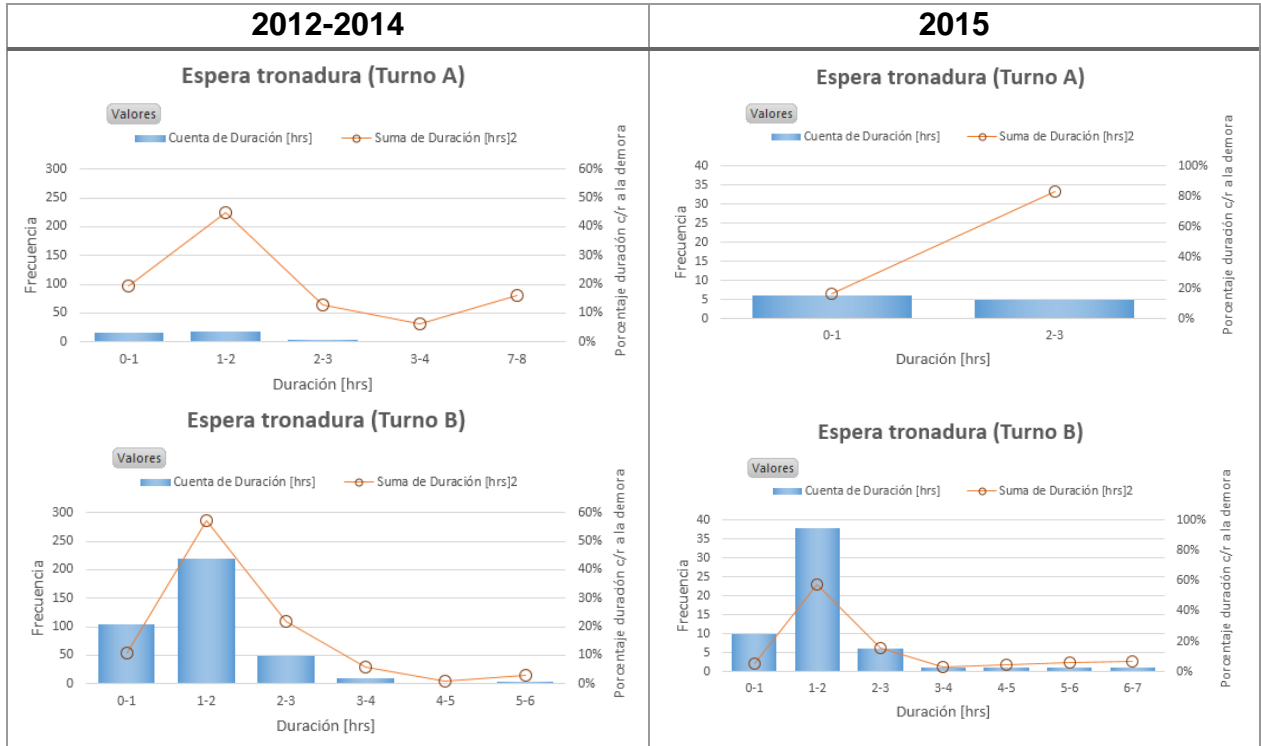


GRÁFICO 107. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA TRONADURA POR TURNO, EQUIPOS PRECORTE

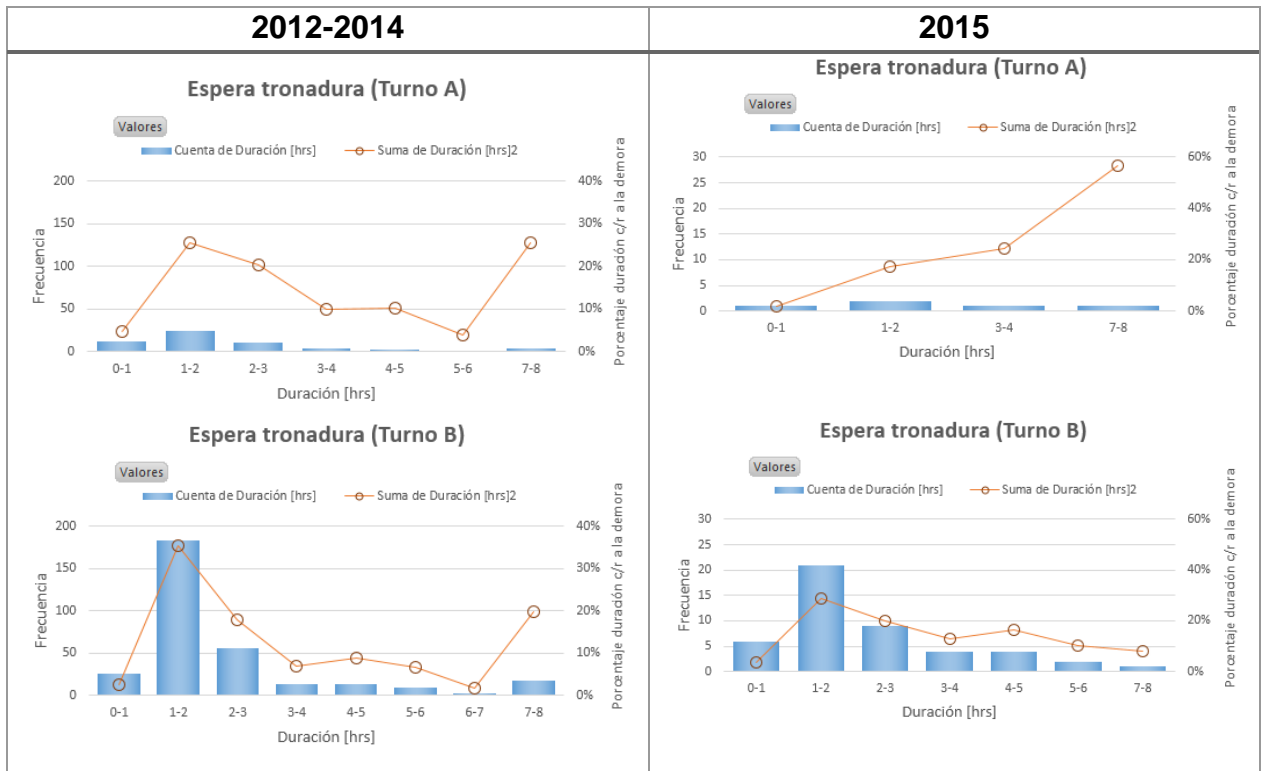


GRÁFICO 108. HISTOGRAMAS DEMORA ESPERA TRONADURA POR TURNO, EQUIPOS PRODUCCIÓN

D.3. Base de datos diaria

La base de datos se ordena en forma diaria para hacer un análisis más específico del rendimiento efectivo por unidad geotécnica.

Los datos incorporados son,

- Fecha (Día, mes, año)
- Equipo
- Ubicación (Fase, banco, diseño)
- Variables operacionales (N° de equipos por banco, horas operativas acumuladas, metros perforados, horas Norma Asarco e indicadores operacionales)
- Variables geotécnicas (Unidad geotécnica, tipo de roca)

D.3.1. Rendimiento efectivo por fase

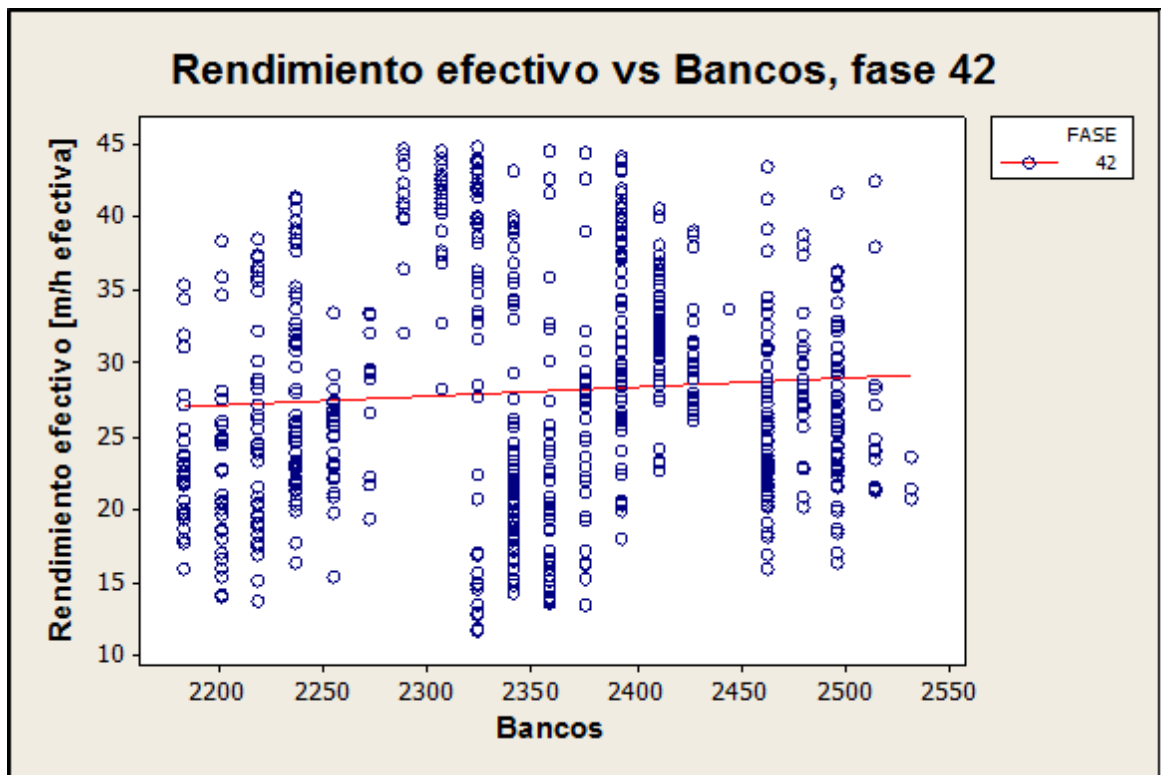


GRÁFICO 109. DISPERSIÓN RENDIMIENTO EFECTIVO VS BANCOS, FASE 42

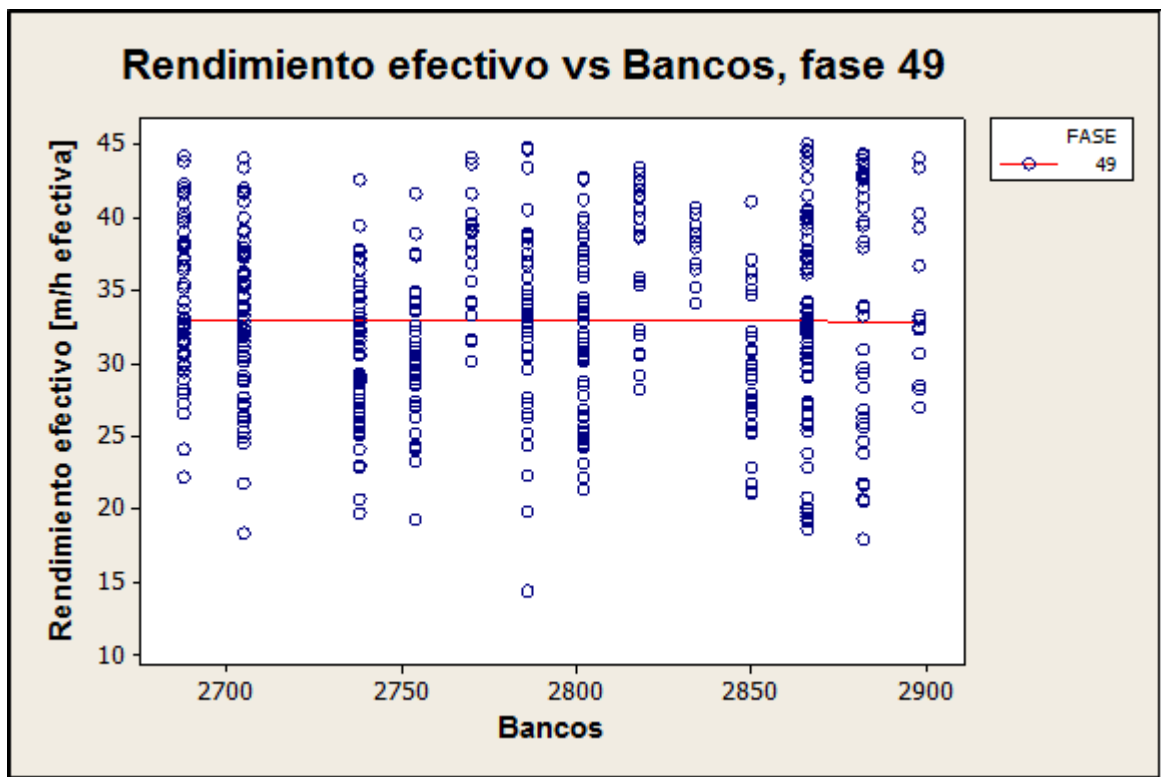


GRÁFICO 110. DISPERSIÓN RENDIMIENTO EFECTIVO VS BANCOS, FASE 49

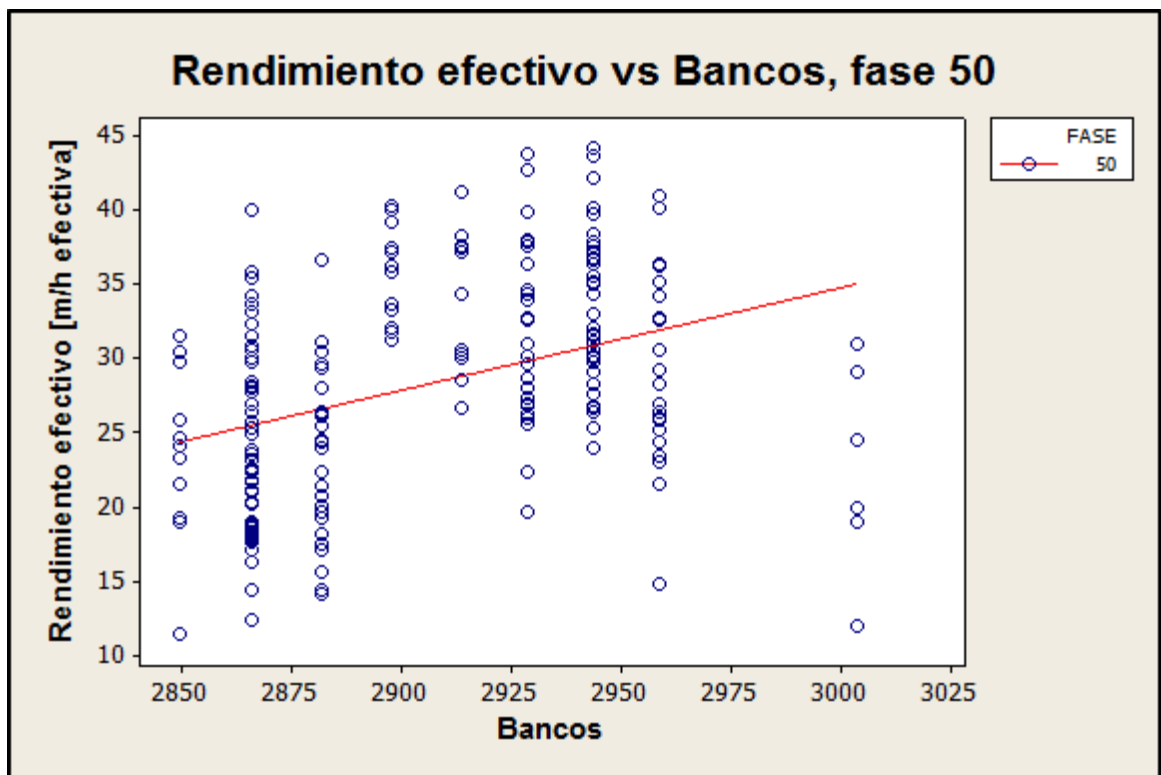


GRÁFICO 111. DISPERSIÓN RENDIMIENTO EFECTIVO VS BANCOS, FASE 50

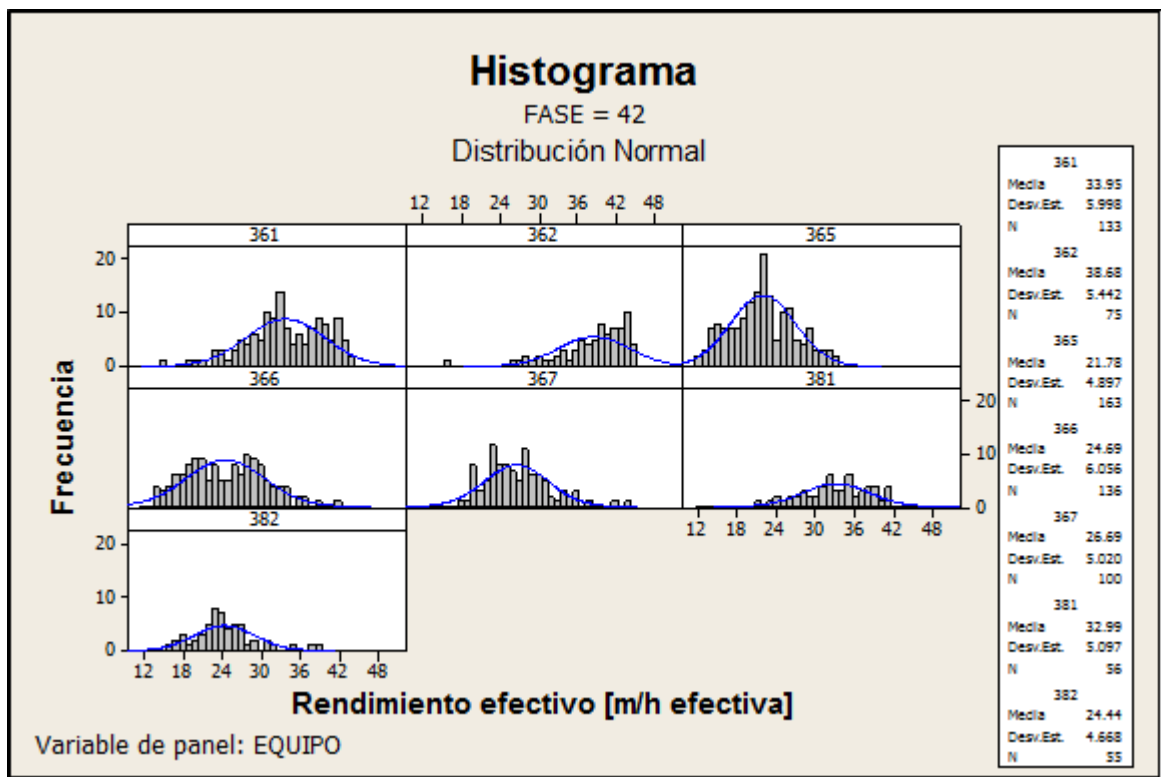


GRÁFICO 112. HISTOGRAMAS RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 42

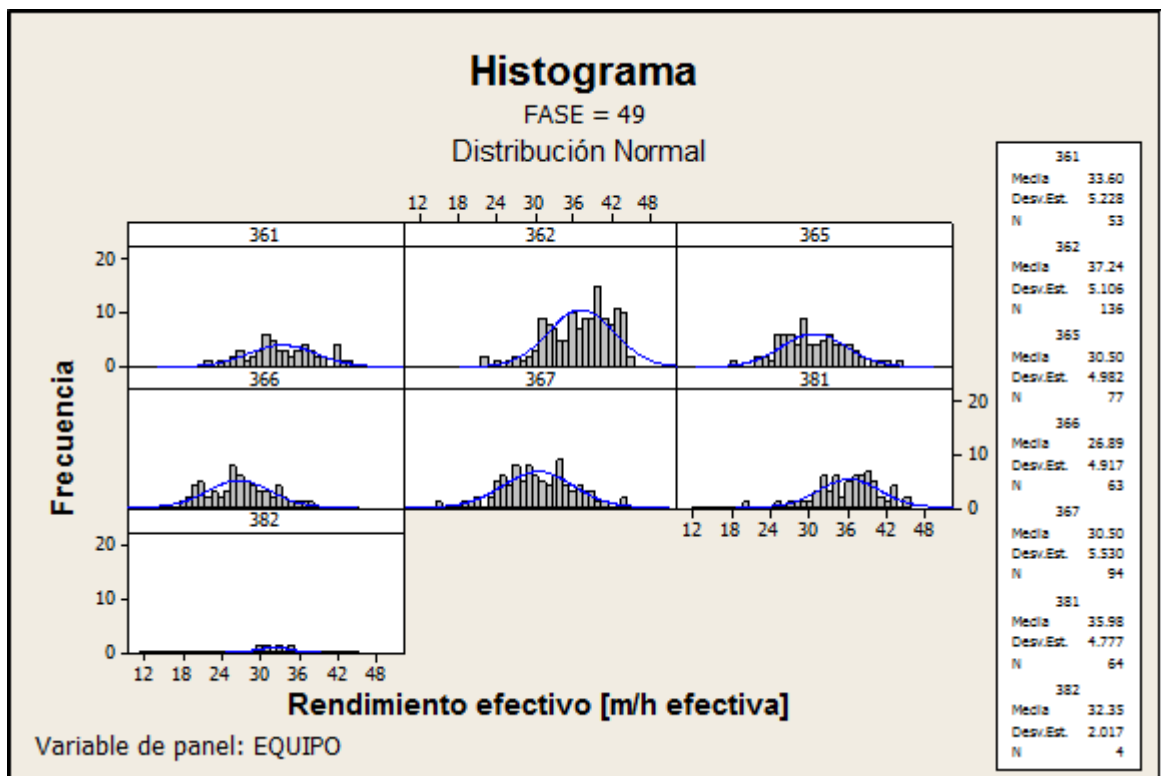


GRÁFICO 113. HISTOGRAMAS RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 49

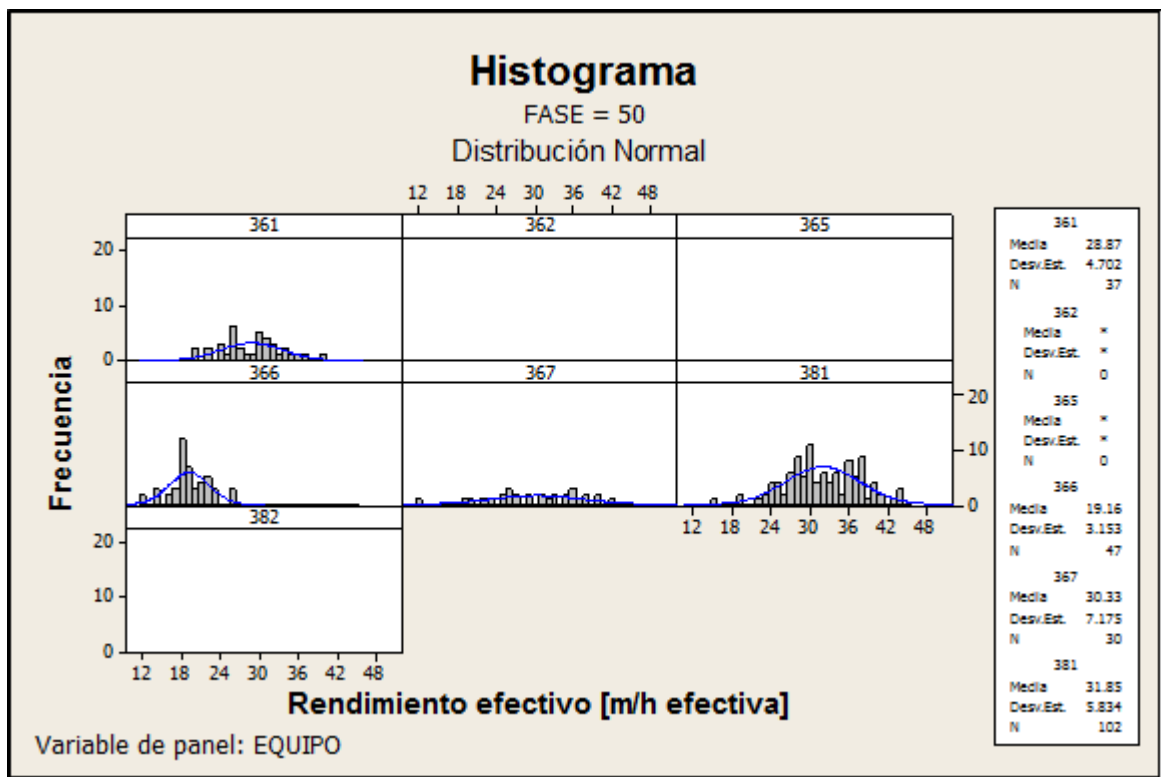


GRÁFICO 114. HISTOGRAMAS RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 50

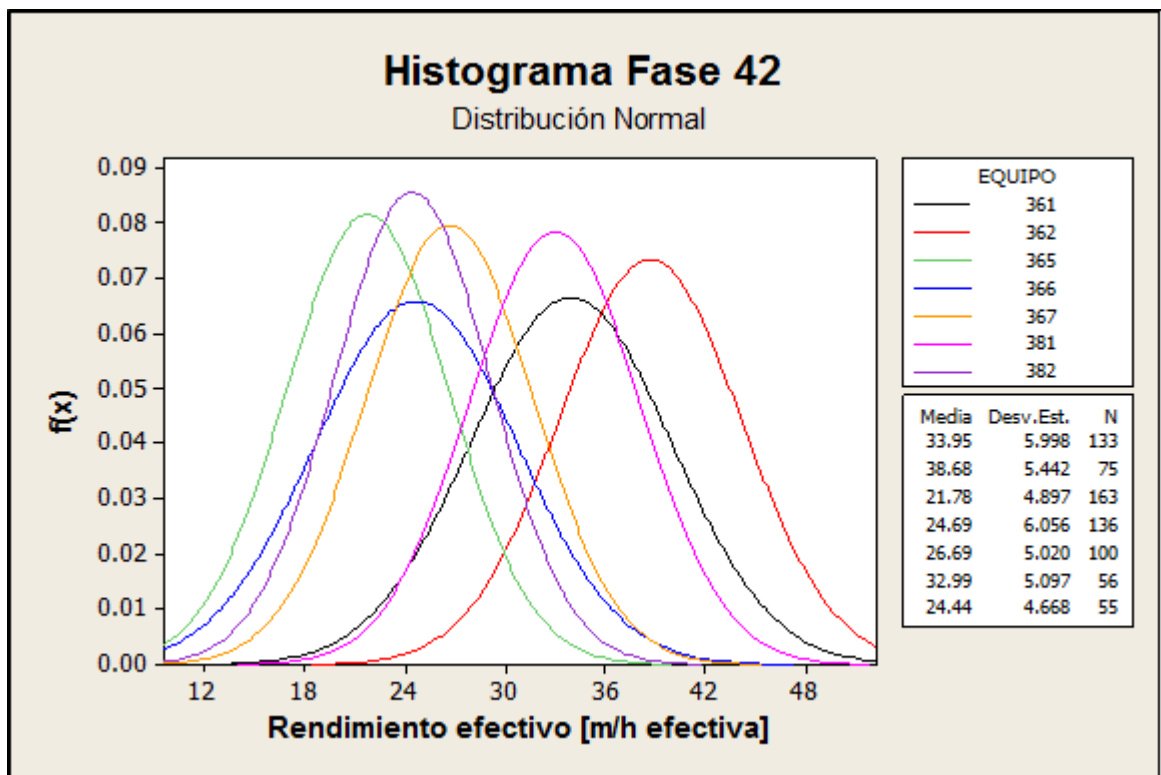


GRÁFICO 115. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 42

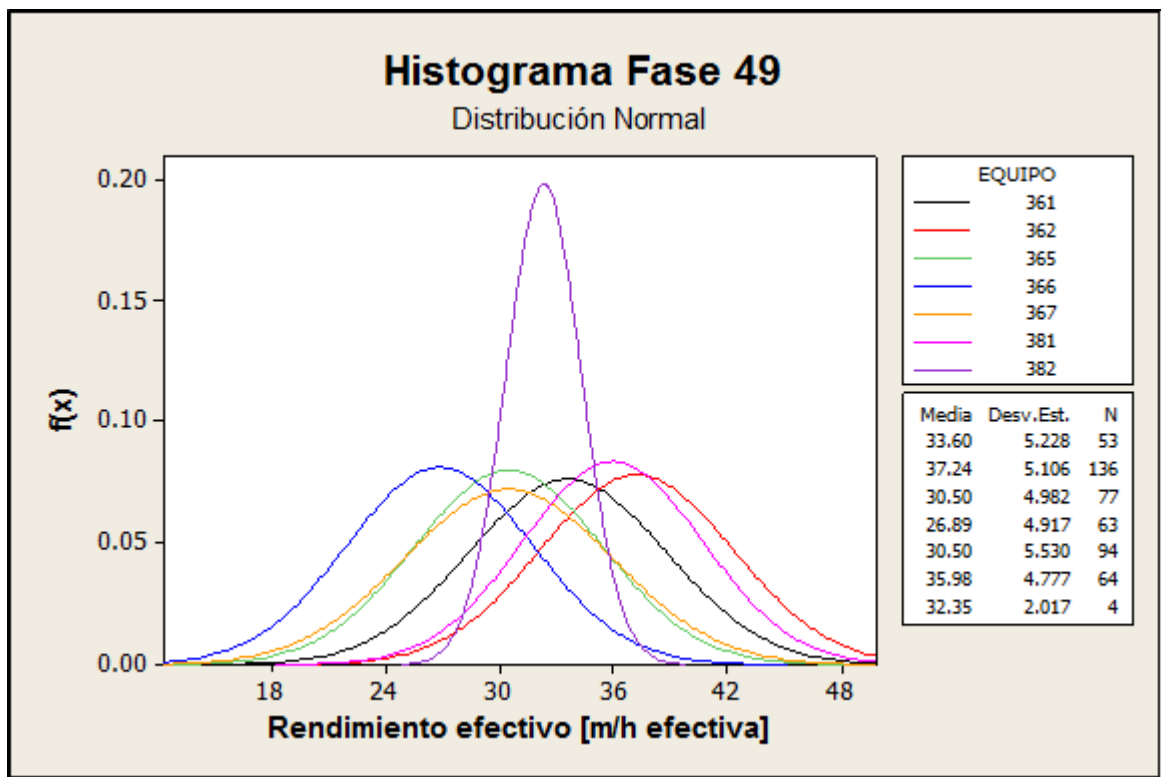


GRÁFICO 116. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 49

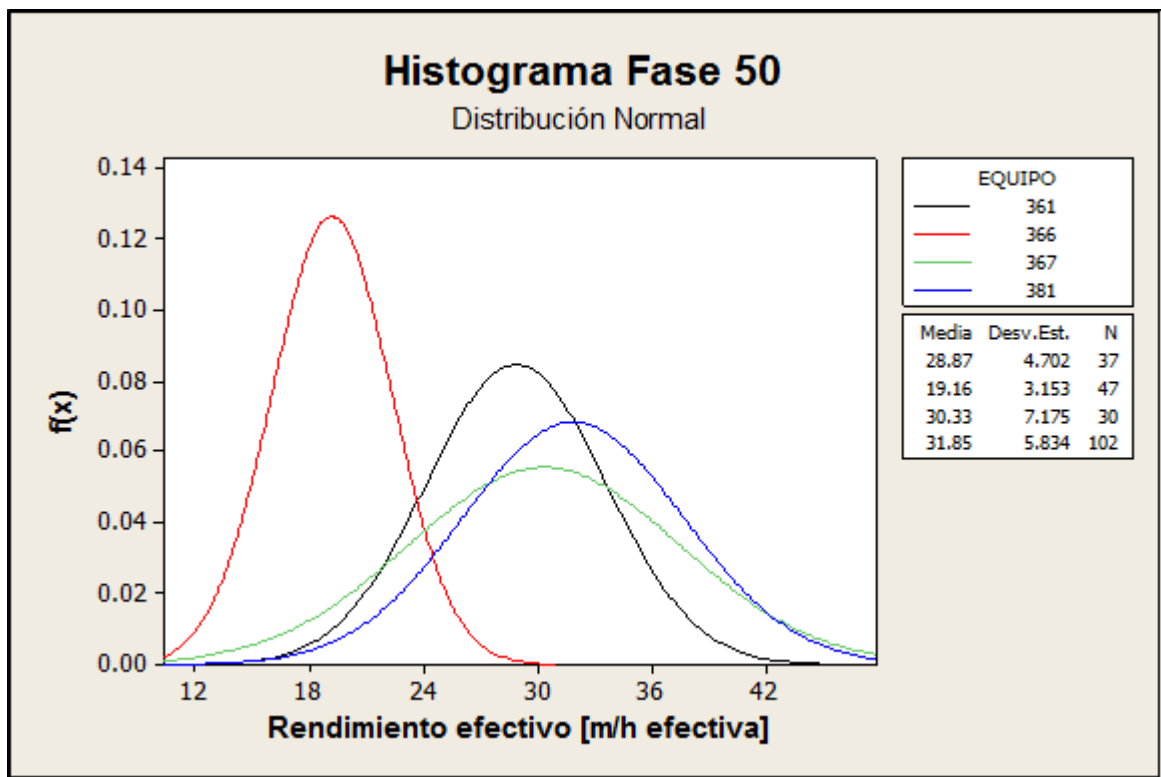


GRÁFICO 117. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD RENDIMIENTO EFECTIVO POR EQUIPO, FASE 50

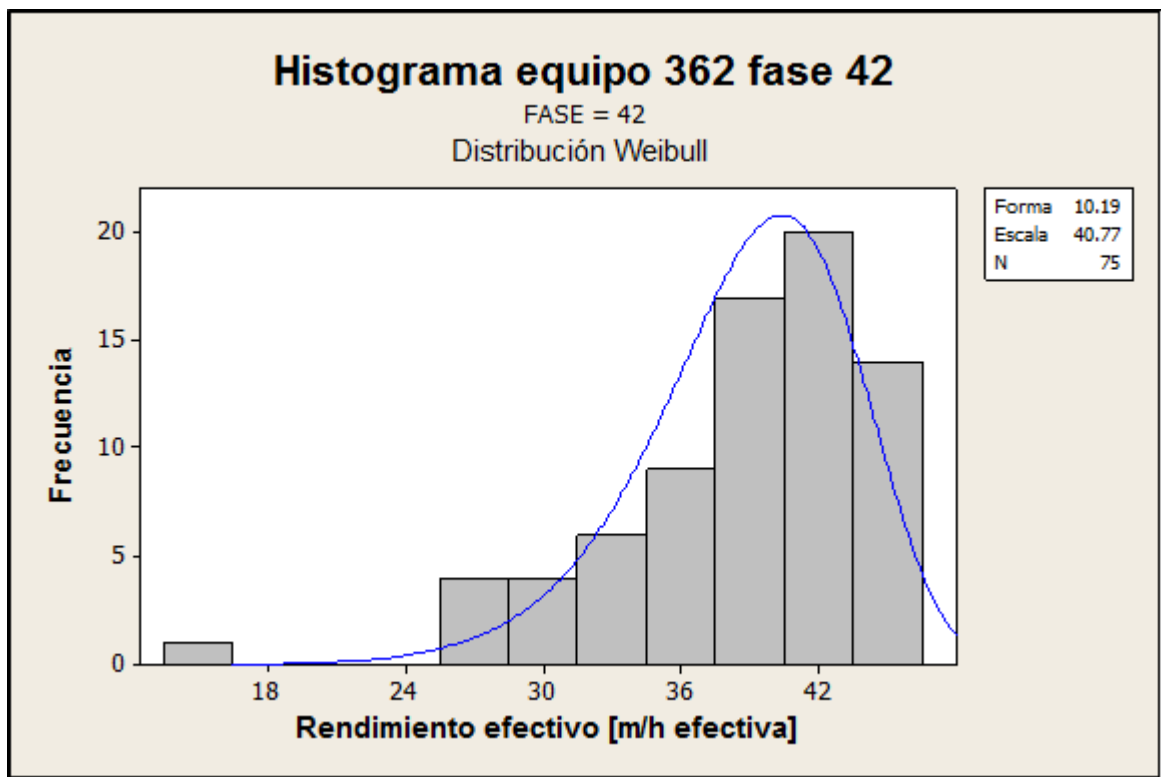


GRÁFICO 118. HISTOGRAMA RENDIMIENTO EFECTIVO EQUIPO 362 FASE 42

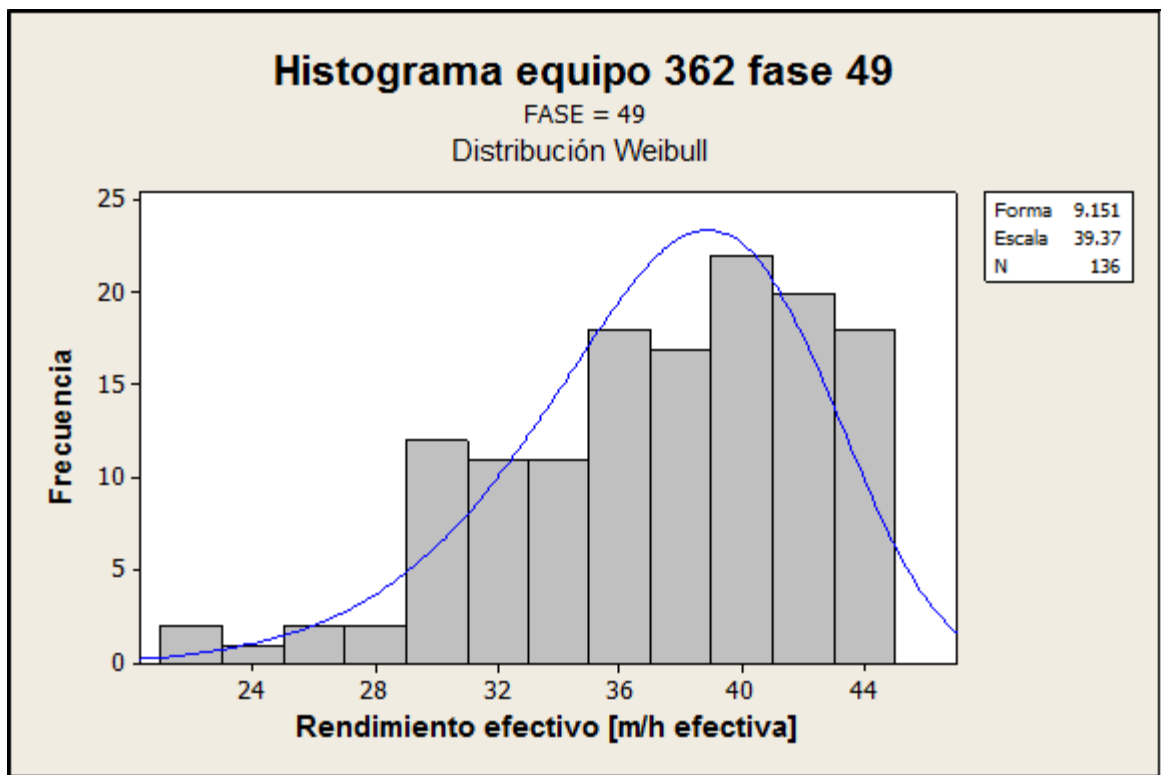


GRÁFICO 119. HISTOGRAMA RENDIMIENTO EFECTIVO EQUIPO 362 FASE 49