



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

**METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD DE PERFORACIÓN Y MEJORAS DE  
GESTIÓN EN MINAS A CIELO ABIERTO, APLICADO A DRT**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS**

**SIBILA TATIANA VALDÉS SOTO**

**PROFESOR GUÍA  
JUAN ALBERTO MONTES ABALLAY**

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

Este trabajo ha sido financiado por División Radimiro Tomic, CODELCO

**SANTIAGO DE CHILE  
2016**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE:** Ingeniera Civil de Minas  
**POR:** SIBILA VALDÉS SOTO  
**FECHA:** 01/07/2016  
**PROFESOR GUÍA:** Juan Alberto Montes

**METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD DE PERFORACIÓN Y MEJORAS DE GESTIÓN EN MINAS A CIELO ABIERTO, APLICADO A DRT**

Frente al actual escenario del precio del cobre y las proyecciones para lo que resta de 2016 se hace indispensable revisar los procesos de la cadena del negocio para identificar oportunidades de mejoras que permitan a la operación tener mayor eficiencia en términos de mejor productividad y menores costos, cumpliendo con los estándares de seguridad. En el negocio minero se tiene una serie de actividades para obtener como resultado los cátodos, dentro del proceso la primera operación unitaria es la perforación del macizo rocoso que permitirá junto con la tronadura, arrancar la roca para su traslado y posterior procesamiento. Por lo anterior, podemos deducir que los resultados de la actividad de perforación, generará efectos relevantes en las actividades que a este le siguen, y por ende, en el proceso global de la extracción de mineral.

Este trabajo de título tiene por objeto identificar las interferencias de la operación de perforación de la División Radomiro Tomic (RT), para generar propuestas frente a oportunidades de mejora, así como establecer una metodología de estimación de los indicadores operacionales.

La perforación en RT está compuesta por perforadoras: DML, PITVIPER y ROC L8. Para definir una línea base (LB), se estudia la data histórica de los indicadores operacionales en el periodo enero 2012- mayo 2015 de perforación, de la cual se puede concluir que es necesario actualizar los valores utilizados en planificación de largo plazo, pues hay brechas entre los resultados reales y lo programado a nivel de planes anuales y quinquenales. A fin de mejorar la estimación de la productividad de las perforadoras, se define que el rendimiento está afecto al tipo de roca y a la fase, mientras que la utilización efectiva es escrita en función de las demoras no programadas: traslado, tronadura, espera agua, cambio de aceros, corte de energía necesaria para la operación, espera de sitio para perforar y espera de energía/combustible. Así el cálculo de los metros es

$$m = Disp_{flota} \cdot (24 \cdot \#días \cdot \#eq_{flota} - DP_{flota} - Res_{flota} - \sum_{flota} DNP \cdot F_x)$$

La aplicación de esta metodología de cálculo que incluye las interferencias del proceso es realizada al mes de junio 2015 logrando una mejora en la estimación de un 23%.

Finalmente, se utiliza la metodología LEAN-KAIZEN para propuestas de mejora que buscan una reducción global de un 20% en las demoras no programadas, estandarización y gestión visual. De acuerdo a la LB de 2015, de implementar estas propuestas y conseguir la meta es posible aumentar los metros perforados anuales en 60.500 m, equivalentes a un 75% de la producción anual de cada perforadora DML, lo que puede permitir prescindir de un equipo de la flota en arriendo para cumplir el plan.

## ABSTRACT

Due to decrease of the copper price and its forecast for the second semester of the year, it is essential review the process value chain to identify opportunities to improve the efficiency in terms of major productivity and lesser costs, without affecting the standards on security. The first unitary stage of the cathode production is the rock mass drilling; this process, with the blasting, allow the rock extraction, its hauling and later treatment. According to this, better results in the drilling process, implies relevant effects on the subsequent stages, and then, an improvement in the global process of the mineral extraction.

The goal of this work is identify the more relevant interferences in the drilling process of the Codelco-Radomiro Tomic (RT) mining company, to propose improvement chances to the production process and develop a methodology for the estimation of the effective use and the effective efficiency to the purpose of incorporate operational variables, e.g. designing parameters. The RT's drilling process has four (4) fleets: DML, PITVIPER and ROC L8.

To establish de base line is studied the historical data, from January 2012 to May 2015, of the drilling operational indexes. As result, is concluded the necessity of an update of the values used for the long term planning, since there are relevant gaps between the annual and quinquennial plans and the real results for the same periods.

For the purpose of improve the estimation of the drilling productivity, is defined that the efficiency is a function of the rock type and the current cutback, meanwhile the effective use is a function of the seven (7) mainly unscheduled delays: hauling, blasting, pending water, steel change, energy cut, waiting for drilling site and pending fuel/energy. The function that calculate the drilling distance (in meters) is given by:

$$m = Disp_{flota} \cdot (24 \cdot \#_{dias} \cdot \#_{eq,flota} - DP_{flota} - Res_{flota} - \sum_{flota} DNP \cdot F_x)$$

Where,  $Disp_{flota}$  is availability of each fleet,  $DP_{flota}$  is average scheduled delays,  $Res_{flota}$  is average reserve of each fleet,  $DNP$  is average unscheduled delays and  $F_x$  is bench saturation constant.

The proposed calculation methodology is applied for June 2015, achieving an improvement of 23% of the distance drilling estimation.

At last, based on the LEAN-KAIZEN methodology, are suggested a battery of proposal – based principally on standardization and visual management – aimed to reduce the unscheduled delays in a 20%. According to the base line of 2015, if the proposal are implemented, it will be possible increase the annual distance drilling in 60.500 m, which is equivalent to a 75% of the annual production of a DML drill; this would allow to dispense one (1) drill from the rented fleet.

*Para mi familia y amigos,  
A Antonia, para que sea una motivación para en el futuro*

# AGRADECIMIENTOS

A mis padres, hermanos y sobrina, quienes me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida y han sido pilares fundamentales de mi formación como persona. A mi conviviente civil, Carlos, junto quien he trazado y recorrido este camino; a su familia – Clara, Juan Carlos y Daniela –, quienes me han acogido como una hija y hermana.

A mis profesores quienes me han entregado las herramientas para desempeñarme profesionalmente, especialmente, Juan Montes, René Le-Feaux y Ernesto Arancibia por ser parte de mi crecimiento, apoyarme, acompañarme y aconsejarme a fin de entregar a la industria una profesional íntegra. Además, agradecer a Juan Luis Yarmuch por el apoyo en las primeras etapas de esta memoria

A mis grandes amigos en la carrera, Valentina Buscaglione, Erika Polanco, Rodrigo Ladrón de Guevara a los cuales disfruté esta dura travesía.

A mis amigos incondicionales Claudia Geissbühler y Felipe Carvajal por siempre ser un apoyo. A mis amigos de Calama Viviana Matus, Jean Paul Huck, Karen Cornejo y Carolina Inostroza por hacer de mi estancia en el norte un agrado.

A Raúl Cancino y Luis Riquelme, quienes creyeron en mí y me dieron la oportunidad de trabajar en su equipo en DRT. A todo el equipo de GRMD quienes hicieron de mi memoria una grata experiencia, por su ayuda, buena voluntad y cariño.

A mi equipo de trabajo de División Gabriela Mistral; Alejandro Canelo, Estefanía Broughton, Paulina Jofré, Luis Cocco, Daniel Saavedra por enseñarme todos los días.

A todos ellos muchas gracias.

# Tabla de contenido

CAPÍTULO 1	Introducción .....	1
1.1	Motivación .....	1
1.1.1	Objetivo general .....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
1.2	Alcances.....	2
1.3	Metodología.....	3
1.3.1	Construcción de base de datos .....	3
1.3.2	Análisis de datos .....	3
1.3.3	Identificación de variables críticas .....	3
1.3.4	Identificación oportunidades de mejora .....	4
1.3.5	Evaluación de modelo actual y propuesta de mejora .....	4
1.3.6	Definición de la Metodología y validación.....	4
1.4	Estructura del documento .....	5
CAPÍTULO 2	Marco teórico y Antecedentes .....	6
2.1	Descripción de la faena.....	6
2.1.1	Operaciones Mina .....	8
2.1.2	Perforación en DRT.....	9
2.2	Consideraciones de planificación .....	11
2.3	Cálculo de flotas.....	12
2.3.1	Norma ASARCO CODELCO Norte [5] .....	12
2.3.2	Metodología de Cálculo de Equipos en DRT.....	15
2.4	Análisis estadístico.....	17
2.5	Metodología KAIZEN-LEAN .....	17
CAPÍTULO 3	Metodología .....	22
3.1	Base de datos .....	23

3.2	Análisis de datos .....	24
3.2.1	Análisis indicadores operacionales .....	24
3.2.2	Demoras no programadas principales.....	36
3.3	Evaluación modelo actual de planificación.....	45
3.4	Estudio de variables relevantes Y SUS RELACIONES.....	48
3.5	Metodología cálculo de indicadores .....	57
3.6	Propuestas de mejora y su valorización .....	65
3.6.1	Traslado .....	66
3.6.2	Tronadura.....	66
3.6.3	Mudas por esperas.....	67
CAPÍTULO 4 Conclusiones .....		69
CAPÍTULO 5 Bibliografía.....		71
ANEXO A Descripciones por categoría .....		72
ANEXO B Base de Datos .....		76
B.1.	Adquisición y consolidación de indicadores mensuales .....	76
B.2.	Adquisición y consolidación estados por turnos .....	87
B.3.	Adquisición y consolidación de ubicación y producción .....	92
B.4.	Análisis por categorías .....	94
B.6.	Análisis estadístico.....	116
B.7.	Gráficos de dispersión.....	120

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Perforadoras DRT.....	10
Tabla 2 - Mallas de perforación .....	10
Tabla 3 - Parámetros para planificación de perforación .....	11
Tabla 4 - Disponibilidad promedio .....	25
Tabla 5 - Utilización operativa.....	28
Tabla 6 - Utilización efectiva .....	30
Tabla 7 - Demoras no programadas .....	31
Tabla 8 - Rendimiento efectivo promedio periodo estudio, óxidos.....	33
Tabla 9 - Rendimiento efectivo promedio periodo estudio, sulfuros .....	33
Tabla 10 - Rendimiento efectivo promedio 2015 .....	34
Tabla 11 - Porcentaje demoras no programadas en base disponible.....	37
Tabla 12 - Estimación DNP.....	64
Tabla 13 - Traslado con propuesta de mejora .....	66
Tabla 14 - %Tronadura BD, máximo por mes.....	67
Tabla 15 - Valores máximos de mudas por esperas.....	68
Tabla 16 - Descripciones Efectivo y D.Prg.....	72
Tabla 17 - Descripciones Fuera de servicio (Mantenimiento) .....	72
Tabla 18 - Descripciones Reservas y Fuera de servicio (ElecExcl, MantExcl, MecExcl y Eléctrica).....	72
Tabla 19 - Descripciones Fuera de servicio (Mecánica) .....	74
Tabla 20 - Descripciones D.Noprg.....	75
Tabla 21 - Indicadores planificación largo plazo .....	76
Tabla 22 - Distribución de tiempos por año Perforadoras producción en base nominal .....	95
Tabla 23 - Distribución de tiempos por año ROC L8 en base nominal .....	115

# Índice de Figuras

Figura 1 - Líneas de procesamiento de mineral en RT [4] .....	6
Figura 2 - Fases de óxidos .....	7
Figura 3 - Fases sulfuros .....	7
Figura 4 - Secuencia extracción fases de óxidos.....	7
Figura 5 - Secuencia extracción fases de sulfuros .....	7
Figura 6 - Diagrama operaciones unitarias .....	8
Figura 7 - Esquema proveedores – Clientes para Perforación (14).....	9
Figura 8 - Esquema cálculo de perforadoras.....	11
Figura 9 - Esquema Norma ASARCO.....	12
Figura 10 - Esquema MUDAS .....	18
Figura 11 - Ejemplo diagrama espagheti (Grupo PDCA Home, 2013) .....	19
Figura 12 - Ejemplos de gestión visual .....	21
Figura 13 - Ejemplo de estándar.....	21
Figura 14 - Esquema Metodología.....	22
Figura 15 - Disponibilidad mensual por flota.....	24
Figura 16 - Pareto fallas flota PV 1 .....	26
Figura 17 - Pareto fallas flota PV 2 .....	26
Figura 18 - Pareto fallas flota DML .....	26
Figura 19 - Pareto fallas flota ROC.....	27
Figura 20 - Utilización operativa mensual por flota .....	27
Figura 21 - Reserva mensual por flota.....	29
Figura 22 - Utilización efectiva promedio mes por flota .....	30
Figura 23 - DNP promedio mes por flota .....	31
Figura 24 - Demoras programadas mensuales por flota.....	32
Figura 25 - Histograma rendimiento por flota en óxidos .....	32

Figura 26 - Histograma rendimiento por flota en sulfuro .....	33
Figura 27 - m perforados por día DML.....	34
Figura 28 - m perforados por día ROC .....	34
Figura 29 - m perforados por día PV1 .....	35
Figura 30 - m perforados por día PV 2.....	35
Figura 31 - Pareto DNP perforadoras de producción.....	36
Figura 32 - Pareto DNP perforadoras control pared .....	36
Figura 33 - Histograma traslado de equipos .....	38
Figura 34 - Histograma Tronadura.....	38
Figura 35 - Histograma de demora por abastecimiento de agua .....	39
Figura 36 - Demora por espera de agua.....	40
Figura 37 - Histograma cambio de aceros .....	40
Figura 38 - Histograma corte energía necesaria para la operación .....	41
Figura 39 - Histograma espera sitio para perforar .....	42
Figura 40 - Histograma espera combustible y energía .....	42
Figura 41 - Histograma demora no programada “otros” .....	43
Figura 42 - Histograma demora Incidente o accidente .....	44
Figura 43 - Ajuste de modelo de planificación para perforadoras de producción	45
Figura 44 - Diferencia entre modelo planificación y real perforadoras de producción .....	46
Figura 45 - Ajuste de modelo de planificación perforadoras de control pared .....	46
Figura 46 - Diferencia entre modelo de planificación y real para perforadoras de control pared.....	47
Figura 47 - Gráfico dispersión disponibilidad versus utilización efectiva .....	49
Figura 48 - Gráfico de dispersión utilización efectiva versus número de posiciones por día.....	49
Figura 49 - Gráfico de dispersión de utilización efectiva versus rendimiento efectivo por cantidad de posiciones en el día .....	50

Figura 50 - Gráfico dispersión entre utilización operativa y efectiva .....	51
Figura 51 - Gráfico dispersión UE vs DNP .....	51
Figura 52 - Gráfico dispersión UE vs número equipos por frente .....	52
Figura 53 - Gráfico dispersión DNP vs número de equipos por frente.....	52
Figura 54 - Gráfico distribución UE por cantidad de equipos por banco .....	53
Figura 55 - Gráfico de dispersión metros versus ancho equivalente .....	54
Figura 56 - Gráfico de dispersión m vs banco .....	54
Figura 57 - Productividad diaria por fase .....	55
Figura 58 - Gráfico dispersión productividad diaria vs radio hidráulico .....	55
Figura 59 - Gráfico dispersión producción diaria vs n° de equipos por frente.....	56
Figura 60 - Gráfico de dispersión UE vs Radio hidráulico.....	56
Figura 61 - Foto fase 18, banco angosto con 5 equipos .....	58
Figura 62 - Gráficos de distribución DNP principales .....	59
Figura 63 - Distribución de reservas por flota .....	61
Figura 64 - Distribución demoras programadas por flota .....	63
Figura 65 - UE promedio por cantidad de equipos por frente .....	64
Figura 66- Estándar de traslados.....	66
Figura 67 - Estándar de evacuación de tronadura .....	67
Figura 68 - Estándar de abastecimiento de agua .....	68
Figura 69 - Reporte Disponibilidad Equipos RT .....	76
Figura 70 - Indicadores mensuales 2012.....	77
Figura 71 - Indicadores mensuales 2013.....	77
Figura 72 - Indicadores mensuales 2014.....	78
Figura 73 - Indicadores mensuales 2015.....	78
Figura 74 - Estadísticas indicadores mensuales.....	79
Figura 75 - Gráfico cantidad de equipos .....	79

Figura 76 - Gráfico disponibilidad de flotas.....	80
Figura 77 - Disponibilidad DML por año.....	81
Figura 78 - Disponibilidad Pit Viper FL1.....	81
Figura 79 - Disponibilidad Pit Viper FL2.....	82
Figura 80 - Disponibilidad ROC L8 .....	82
Figura 81 - Utilización operativa por flota.....	83
Figura 82 - Reservas por flota .....	84
Figura 83 - Utilización efectivas por flota .....	85
Figura 84 - Demoras programadas por flota .....	85
Figura 85 - Demoras no programadas por flota .....	86
Figura 86 - Reporte Estado por Equipos.....	87
Figura 87 - Ejemplo planilla Compilado RT.....	88
Figura 88 - Código principal consolidado.m.....	89
Figura 89 - Código calendario.m.....	90
Figura 90 – Código buscar_equipo.m.....	91
Figura 91 - Código time2horas.m .....	91
Figura 92 - Código 'sumar_iguales.m'.....	92
Figura 93 - Reporte Fase Banco TotalView .....	92
Figura 94 - Definición de variables de diseño .....	93
Figura 95 - Base de datos consolidada.....	94
Figura 96 – Categorías Perforadoras Producción meses 2012 .....	96
Figura 97 – Categorías Perforadoras Producción meses 2013 .....	97
Figura 98 – Categorías Perforadoras Producción meses 2014 .....	98
Figura 99 – Categorías Perforadoras Producción meses 2015 .....	99
Figura 100 – Categorías Flota DML meses 2012 .....	100
Figura 101 – Categorías Flota DML meses 2013 .....	101

Figura 102 – Categorías Flota DML meses 2014 .....	102
Figura 103 – Categorías Flota DML meses 2015 .....	103
Figura 104 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2012 .....	104
Figura 105 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2013 .....	105
Figura 106 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2014 .....	106
Figura 107 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2015 .....	107
Figura 108 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2012 .....	108
Figura 109 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2013 .....	109
Figura 110 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2014 .....	110
Figura 111 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2015 .....	111
Figura 112 - Categorías ROC L8 meses 2012.....	112
Figura 113 - Categorías ROC L8 meses 2013.....	113
Figura 114 - Categorías ROC L8 meses 2014.....	114
Figura 115 - Categorías ROC L8 meses 2015.....	115
Figura 116 - Estadísticas DNP .....	116
Figura 117 - Estadísticas DP .....	116
Figura 118 - Estadísticas horas efectivas .....	117
Figura 119 - Estadística de reservas .....	117
Figura 120 - Estadísticas metros por día .....	118
Figura 121 - Estadísticas rendimiento efectivo .....	118
Figura 122 - Estadística ancho equivalente .....	119
Figura 123 - Estadística razón de elongación.....	119
Figura 124 - Estadística de radio hidráulico.....	120
Figura 125 - Gráfico de dispersión FS vs m.....	120
Figura 126 - Gráfico de dispersión rendimiento efectivo vs m .....	121
Figura 127 - Gráfico de dispersión demoras no programadas versus metros ...	121

# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de título se enmarca en el estudio de la productividad de las perforadoras de División Radomiro Tomic (RT), CODELCO.

## 1.1 MOTIVACIÓN

---

En la actualidad el escenario económico proyecta una baja del precio del cobre hasta tres dólares la libra para 2018, aproximadamente [1], esta situación hace que la industria minera ponga atención al control de costos y la optimización de los procesos para reducir tiempos perdidos y aumentar la productividad, manteniendo los estándares de seguridad. En esta búsqueda, la revisión de la fase de planificación toma gran importancia por el impacto que tiene el incumplimiento de los planes mineros en el negocio.

Uno de los resultados entregados por la planificación minera corresponde al cálculo de flotas de equipos requeridos para cumplir lo comprometido, por ello realizar un análisis de los indicadores usados como parámetros de entrada, es fundamental para que se ajusten a la realidad y sean planes más operativos, adicionalmente, identificar interferencias, ya sea por equipos en la misma frente, lugares confinados, formas complejas de polígonos, u otros, que permitirán modelar la productividad de las perforadoras, minimizando las diferencias entre lo planificado y lo real.

Con el fin de maximizar el rendimiento de las perforadoras es necesario estudiar los tiempos no efectivos de operación de los equipos como reservas, demoras no programadas, fallas, entre otros, para determinar las variables más relevantes que afectan el tiempo en que el equipo se encuentra disponible pero sin realizar la actividad para la que fue diseñado y que por tanto, no entrega valor a la cadena de negocio.

CODELCO por su aporte a los ingresos estatales, tiene una responsabilidad sobre los proyectos sociales del país, siendo esencial mantener la competitividad dentro de la industria. Es por lo anterior, que maximizar el uso de los recursos y mejorar la productividad en la perforación y las operaciones aguas abajo permitirá contribuir a que la Corporación mantenga el liderazgo en la producción de cobre a nivel mundial. [2]

Como parte del proceso de mejoramiento continuo que lleva a cabo la Corporación es que se buscan iniciativas que a pesar de tener un bajo impacto en los costos o productividad global del proceso, permite que con muchas de éstas se consigan resultados significativos en la gestión de la División.

## Objetivos

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el impacto de la perforación en la productividad de minas a cielo abierto.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los puntos críticos del proceso de extracción de mineral en minas a cielo abierto.
- Estudiar el efecto en la productividad de los parámetros claves del diseño.
- Analizar cuantitativa y cualitativamente los datos obtenidos en la etapa de generación de bases de datos.
- Actualizar los índices operacionales para la planificación de largo y mediano plazo.
- Proponer una metodología de cálculo de la productividad de las perforadoras que acerque la planificación a la realidad
- Validar y aplicar la metodología a una faena en operación, específicamente con información de la División Radomiro Tomic.

## 1.2 ALCANCES

---

El estudio considera información histórica de productividades de 3 meses (marzo, mayo, agosto) de los años 2012, 2013, 2014 y 2015 a nivel diario, obtenidas del sistema TotalView, además de datos levantados en terreno para la determinación de interferencias en la operación de perforación. Para el análisis mensual de los indicadores se utiliza información de enero 2012 a mayo 2015.

La metodología está orientada a las áreas de corto plazo y su mínima escala es diaria para la revisión de productividades, indicadores operacionales, áreas disponibles para perforar, entre otros.

El diseño minero se incorpora como variable de entrada y no es modificado en la metodología, solo permite evaluar el impacto de la forma de las fases en el rendimiento de las perforadoras. De igual manera, el diseño de mallas de perforación es un análisis que escapa del alcance de esta memoria por la cantidad de variables externas a la operación que deben ser consideradas para una propuesta de cambio, como lo es la granulometría, explosivos, entre otros.

Este trabajo solo considera la operación unitaria de perforación y su interacción con la tronadura y equipos de carguío.

Sólo se consideran las perforadoras de producción propias, ya que los información de equipos en arriendo es ingresada de forma manual al sistema.

Se considera que la disponibilidad es ofertada por el área de Mantenición y sólo los eventos operacionales son gestionables por el área de Operaciones a través de las buenas prácticas operacionales.

Las propuestas de mejora son entregadas al finalizar el proceso de memoria en División Radomiro Tomic, por lo que la implementación y medición de los resultados escapa de los alcances de este trabajo.

## **1.3 METODOLOGÍA**

---

### **1.3.1 CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS**

Para la construcción de la base de datos se utiliza información procedente de TotalView que permite establecer los estados de los equipos y los indicadores operacionales.

Este proceso consiste en obtener información relevante para la construcción de los modelos de productividad y gestión:

- Estados de los equipos
- Ubicación: Fase, banco, unidad geotécnica
- Productividad: m perforados
- Planes de corto plazo (mensual, semanal y diario): Programación, geometría de polígonos, indicadores utilizados para cálculo de flota.

### **1.3.2 ANÁLISIS DE DATOS**

Se realizará un estudio exploratorio de los datos, determinando sus estadísticos, histogramas, evaluación de tendencias, definición de distribución de las variables y otros que sean necesarios.

### **1.3.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS**

A partir del estudio estadístico de los estados de los equipos en el tiempo, de acuerdo a la norma ASARCO, se identifican las demoras más importantes que afectan la utilización efectiva.

Se entrevista a distintos agentes que participan en el proceso para aunar criterios basado en la experiencia de las personas

- Operadores de perforadoras.
- Ingenieros de perforación
- Ingenieros de planificación de corto, mediano y largo plazo.
- Mantenedores.

Adicionalmente, se realiza un análisis factorial para evaluar las variables más relevantes que influyen en el cumplimiento o incumplimiento del plan.

#### **1.3.4 IDENTIFICACIÓN OPORTUNIDADES DE MEJORA**

En función de las variables críticas identificadas, se establecerán propuestas de mejoras, asociadas principalmente a temas de planificación y gestión, utilizando la metodología LEAN KAIZEN

#### **1.3.5 EVALUACIÓN DE MODELO ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA**

Se evalúa el modelo actual utilizado en la planificación para determinar el ajuste con la realidad.

Se determina una metodología para la mejor predicción de los indicadores operacionales de las perforadoras existentes en la faena, de acuerdo a las interferencias que sufre la operación, buscando la dependencia entre parámetros geométricos de las fases, condiciones operacionales y demoras no programadas, para así obtener

*Productividad = f(factor de forma, # y tipo de equipos en frente, ritmo, tipo roca, ...)*

#### **1.3.6 DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA Y VALIDACIÓN**

Considerando el modelo utilizado en la planificación, se desglosarán tanto la utilización efectiva como el rendimiento en factores que las afectan de manera de lograr una mejor predicción de la productividad de las perforadoras

Para validar la metodología se evaluará la desviación de la predicción respecto del plan, de manera de ajustar el error respecto de los resultados reales a nivel mensual.

## **1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

---

En el capítulo 2 se encuentran los antecedentes de la faena, las consideraciones para la planificación y la metodología para el cálculo de flotas utilizado por Radomiro Tomic y una breve descripción de la metodología LEAN-KAIZEN.

En el capítulo 3 se desarrolla la metodología: muestra la base de datos generada con el respectivo análisis de la información para la identificación de las variables relevantes en el cálculo de la productividad de las flotas de perforadoras. Además, se presentan propuestas para mejorar los indicadores operacionales a través de herramientas de mejoramiento continuo.

El capítulo 4 entrega resultados de la metodología. Tomando una muestra de datos no considerado se determina el impacto en la mejor cercanía con los resultados reales.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones de este trabajo.

Finalmente, en el capítulo 7 se entregan las referencias utilizadas.

Adicionalmente, se entregan como anexos el detalle de la implementación de la metodología, así como la información relevante que respalda este trabajo de título.

# CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

## 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FAENA

La División Radomiro Tomic (RT) se encuentra ubicada a 40 km al norte de Calama, Región de Antofagasta, a 3,000 m.s.n.m en la cordillera de Los Andes. El yacimiento es un pórfido explotado a cielo abierto, el depósito se encuentra debajo de aproximadamente 100 metros de material aluvial y se extiende más de 5 km x 1.5 km x 200 m.

Las reservas son del orden de 1,800 millones de toneladas de sulfuros de ley promedio 0.5%, sin embargo, los recursos estimados ascienden a 5 mil millones de toneladas de sulfuros con ley media 0.45%. [3]

La producción de cobre inicia con la extracción de mineral a través del método de cielo abierto con bancos de 15 m, con una razón estéril/mineral de 1.5 en promedio. Las operaciones unitarias consisten en perforación, tronadura, carguío y transporte. Se considera la explotación por fases con dimensiones que van de los 120 a 220 m de ancho y de 1 a 1.5 km de largo, aproximadamente. La producción de 2014 ascendió a 327,278 tmCuf. Para el año 2015 se esperaba una ley media de 0.5% y REM de 2:1 a 1.8:1 para óxidos y 1:1 a 1.2:1 para sulfuros.

Actualmente se tiene una línea de hidrometalurgia para el procesamiento de óxidos y mixtos con un desempeño real de la planta de lixiviación primaria en 2014 de 56,400 KTH. Por otro lado, los sulfuros que se extraen (Fase I) son enviados a la planta de Chuquicamata, proyectándose el último envío en 2024. Ver Figura 1.

La mineralogía de alimentación a lixiviación está constituida principalmente por atacamita con un 49%, arcillas con cobre (21%) y calcosina (13%). El contenido de esta última incrementa en los años 2018 a 2020 con la disminución de atacamita, como consecuencia del aumento de minerales mixtos.

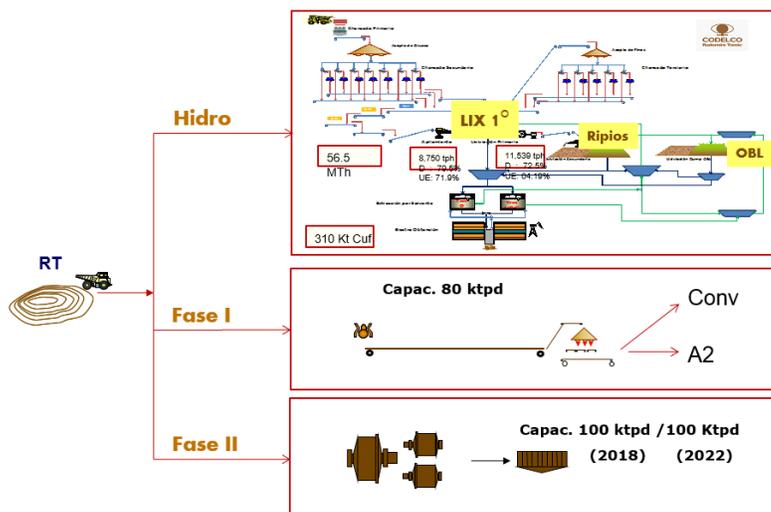


Figura 1 - Líneas de procesamiento de mineral en RT [4]

La división tiene como proyecto una expansión denominado RT Sulfuros fase II contemplando la construcción de una concentradora con una capacidad inicial de 100 ktpd y una ampliación a 2022 de otras 100 ktpd, adicionalmente, en 2021 se incorporará la biolixiviación en sulfuros de baja ley o stock, con el fin de aprovechar las instalaciones de la planta de SX-EW, esta considera el procesamiento de mineral de 0.3 a 0.4% con la inoculación de bacterias utilizando un reactor Biosigma con capacidad de 3.6 MTH por año. [4]

La explotación de 2015, comprende las fases 18E, 18W, 21 y 26 de óxidos y la 34 como fase de sulfuros, cuyas ubicaciones se pueden observar en las siguientes figuras

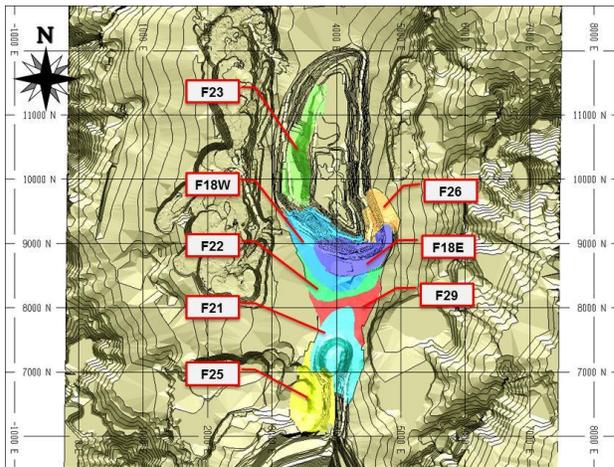


Figura 2 - Fases de óxidos

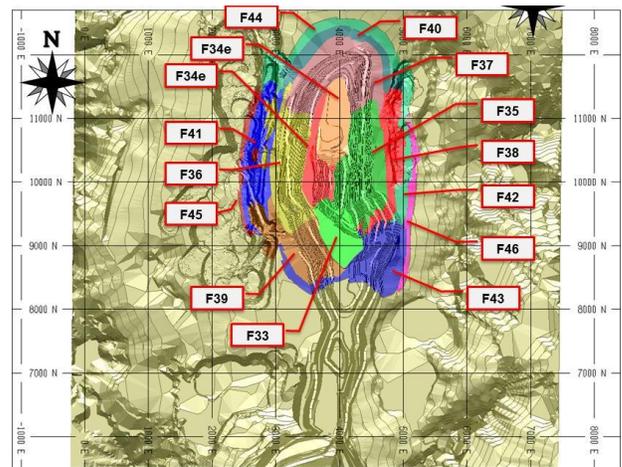


Figura 3 - Fases sulfuros

Se sigue una secuencia de extracción, según las siguientes figuras



Figura 4 - Secuencia extracción fases de óxidos

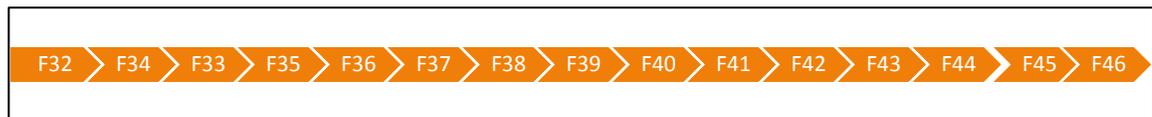


Figura 5 - Secuencia extracción fases de sulfuros

En la faena se cuenta con 2 sistemas de turnos para el personal propio: 4x3 y 7x7, donde el primero es utilizado por administrativos, GRMD, recursos humanos, entre otros y el último es el de operaciones (mina, planta y mantención). En ambos turnos se tienen jornadas de 12 horas de 8 a 20 horas. Cabe destacar que en operaciones es efectivo, pues los operadores ingresan 30 minutos antes al cambio de turno para conseguir un “manilla a manilla” y se retiran 30 minutos después.

## 2.1.1 OPERACIONES MINA

La mina considera las operaciones necesarias para arrancar la roca de su lugar insitu, cargarla y transportarla para que sea reducida de tamaño y posteriormente sea procesada según el tipo de mineral.

La perforación como operación unitaria tiene como objetivo construir un espacio físico definido dentro de la roca que será removida, definidos pozos de perforación, en los cuales se coloca el explosivo que más tarde será detonado en la operación unitaria de tronadura.

La tronadura tiene por objeto fracturar y remover el material requerido por el programa de producción, a una granulometría adecuada para su posterior manejo.

El carguío y transporte es un proceso en el cual se retira el material tronado de la frente y se transporta a un destino que depende del tipo de material, si es mineral sobre la ley de corte se envía directamente al chancado primario, si es mineral de baja ley se envía al OBL donde se trata y si es estéril se envía a botadero.

El chancado primario es la primera etapa de reducción de tamaño del material para su procesamiento ya sea por la línea hidro o la pirometalúrgica.

Adicionalmente, se tiene un proceso de servicios mina que es transversal a las operaciones unitarias de la mina y su misión es mantener la faena en condiciones operativas, garantizando que las operaciones unitarias se realicen con el mejor rendimiento y el mínimo riesgo. Particularmente a la operación de perforación le aporta generando accesos, realizando la limpieza de piso para la posterior marcación de la malla y el cierre perimetral necesario para esta operación.

Es fundamental que exista una buena planificación de las operaciones como un sistema y no como eventos aislados, pues la falla de una genera complicaciones no sólo en las siguientes operaciones sino que también en las anteriores. Por ejemplo, si el carguío falla debido a mantenciones no programadas de palas o tasas de excavación más baja, la perforación tendrá un impacto pues no se generarán los patios de perforación necesarios para dar continuidad al sistema y por lo tanto, se verá afectada la tronadura. Al retrasarse los materiales, habrá un efecto en el chancado y aguas abajo.

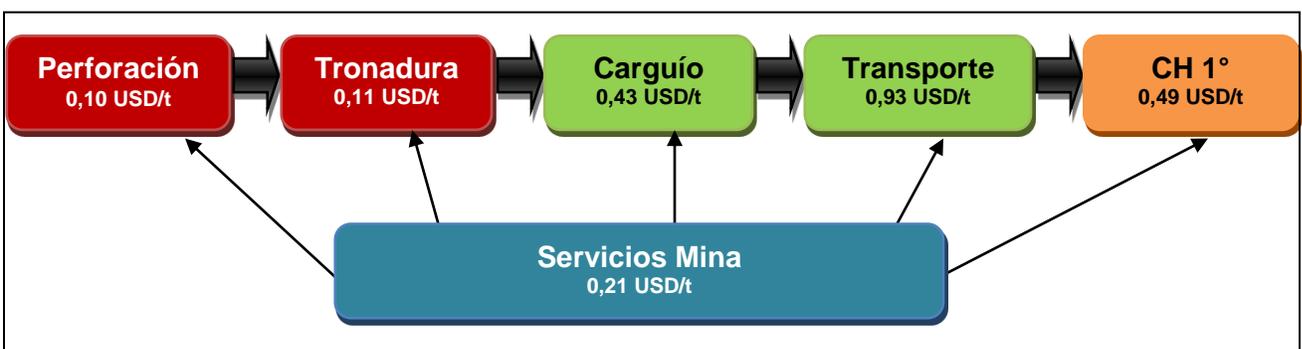


Figura 6 - Diagrama operaciones unitarias

En la figura anterior, se puede observar los costos por operación unitaria, de esta forma se tiene que la perforación corresponde a 5% del costo total, que equivale a 2,11 USD/tmh aproximadamente, mientras que la mayor proporción del costo de la lleva carguío y transporte con 64%. Si bien la operación de perforación no representa una parte significativa del costo mina una falla en esta operación genera altas complicaciones aguas abajo, por lo que sigue siendo relevante estudiarla.

Debido a que esta memoria está orientada a analizar la operación unitaria de perforación se entregará información más detallada en la sección siguiente.

## 2.1.2 PERFORACIÓN EN DRT

La operación de perforación tiene una serie de proveedores de información y servicios y clientes ya sea del producto de la tronadura como de la información de esta operación, como se muestra en el siguiente esquema



Figura 7 - Esquema proveedores (entradas) - Clientes (salidas) para Perforación (14)

El esquema anterior permite establecer las relaciones internas de proveedor-cliente para la operación de Perforación y de esta manera establecer las mejores prácticas para la interacción entre las distintas áreas de la División.

Actualmente, el área de perforación cuenta con 4 flotas de perforadoras: 9 para producción (DML y Pit Viper) y 5 para mallas de control (Roc-L8). Adicionalmente, posee un contrato con la empresa colaboradora ICV que provee 4 perforadoras para producción, las cuales están fuera del alcance de este trabajo por poca fidelidad de la información.

Tabla 1 - Perforadoras DRT

Flota	Equipos
DML	PE111, PE115
PitViper FI1	PE107, PE108, PE109, PE110
PitViper FI2	PE112, PE113, PE114
ROC-L8	R01, R02, R03, R04, R05

Como se puede observar, las perforadoras se encuentran agrupadas por modelo de equipo en flotas, sin embargo, las PitViper poseen 2 flotas debido al tiempo de ingreso de los equipos que se ve correlacionado con la tarifa de mantenimiento que se paga en el contrato MARC. Esta distinción permite que en una eventual contención de costos asociada a sacar de las flotas nominales ciertos equipos, se privilegie mantener operativas las perforadoras con menores tarifas MARC.

Se tienen mallas de perforación para producción y control pared para mineral y lastre. El lastre posee 3 mallas según su mineralogía, asociada principalmente al sobre tamaño que generan, en particular, la “Grava Caliche” genera bolones, lo que posteriormente dificulta las operaciones aguas abajo, por lo que se utiliza una malla más pequeña, a fin de reducir los riesgos de tener granulometrías muy grandes.

Tabla 2 - Mallas de perforación

Tipo malla	Parámetro	Grava Lastre	Grava Caliche	Roca Lastre	Mineral
Producción	Burden [m]	7.5	6.0	7.0	-
	Espaciamiento [m]	7.5	6.0	7.0	-
	Diámetro Perforación ["]	9 7/8	9 7/8	9 7/8	-
Producción	Burden [m]	9.5	-	9.0	-
	Espaciamiento [m]	9.5	-	9.0	-
	Diámetro Perforación ["]	10 5/8	-	10 5/8	-
Producción	Burden [m]	9.0	-	-	8.5
	Espaciamiento [m]	11.0	-	-	8.5
	Diámetro Perforación ["]	12 1/4	-	-	12 1/4
Control	Burden [m]	5.5	-	-	5.5
	Espaciamiento [m]	5.5	-	-	5.5
	Diámetro Perforación ["]	9 7/8	-	-	6 1/2

En promedio las perforadoras tienen un rendimiento efectivo de aproximadamente 33 m/h, lo que significa que por día realizan aproximadamente 20 pozos, cada pozo remueve cerca de 2.700 toneladas.

## 2.2 CONSIDERACIONES DE PLANIFICACIÓN

Desde enero de 2015 se comenzó a planificar la perforación a nivel semanal, definiendo los equipos en operación día a día, los metros a perforar para producción y control pared. La planificación consiste en una parametrización de las toneladas que serán cargadas en el futuro transformadas en metros que se requieren perforar, según

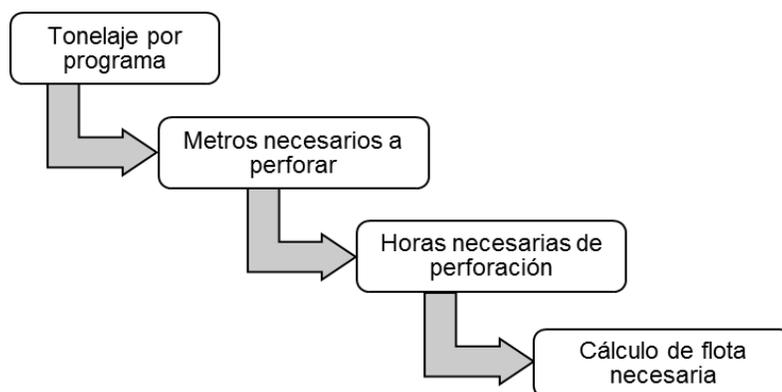


Figura 8 - Esquema cálculo de perforadoras

Los parámetros utilizados para la planificación de la perforación se resumen en la siguiente tabla

Tabla 3 - Parámetros para planificación de perforación

Parámetro	PLP
Rendimiento [m/día]	300-320
Disponibilidad %	60-75
Utilización %	~53.3
Densidad grava [ton/m <sup>3</sup> ]	2.1
Densidad roca [ton/m <sup>3</sup> ]	2.5
Altura Banco [m]	15
Pasadura [m]	2

Cabe destacar que la planificación de mediano y largo plazo, establece el plan de producción y por tanto, el requerimiento de perforación, el cuál puede ser satisfecho con las flotas actuales o puede definir la necesidad de adquirir nuevos equipos. En el caso de la planificación de corto plazo, sólo puede definir los metros requeridos según el plan mensual o semanal, en función de las flotas actuales, por lo tanto, tiene una limitante y de tener exigencias por sobre lo “posible” con los equipos nominales, deberá gatillar una mejor gestión de los recursos, ya sea, optimizando las mantenciones, mejorando las utilizaciones efectivas de los equipos o bien estableciendo estrategias de distribución de los equipos y tipos de acero para maximizar el rendimiento de los equipos a fin de incrementar los metros perforados y cumplir las pretensiones del plan.

Es de suma importancia tener una actualización de los indicadores operacionales que dan vida a la planificación, a fin de operativizar los planes al tener en consideración las condiciones actuales de la mina, como el tipo de material, las condiciones

mecánicas de los equipos, las interferencias, etc. Esta memoria busca establecer una línea base de los KPI utilizados en planificación, a fin de definir los lineamientos para los planes de largo plazo y para poder comparar los resultados de las posteriores implementaciones de las mejoras de gestión propuestas.

## 2.3 CÁLCULO DE FLOTAS

El cálculo de equipos necesarios para cumplir con el ritmo de explotación deseado es realizado en función de la distribución de tiempos de acuerdo a la norma ASARCO utilizado en Operaciones Norte de CODELCO como se describe a continuación

### 2.3.1 Norma ASARCO CODELCO NORTE [5]

La Norma ASARCO (American Smelting & Refinering Group) es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación.

En la Figura 9 se presenta un esquema de la distribución de los tiempos según la definición de Operaciones Norte de CODELCO.



Figura 9 - Esquema Norma ASARCO

El tiempo **nominal** ( $T_{nom}$ ) corresponde al espacio de tiempo en que se produce la medición, puede ser un turno (12 h), un día (24 h), 1 mes (720-744 h), etc.

El **disponible** ( $T_{disp}$ ) corresponde al espacio de tiempo en que el equipo o instalación se encuentra mecánicamente habilitado para cumplir con su función de diseño<sup>1</sup>. Corresponde a la diferencia entre el tiempo nominal y el tiempo **fuera de servicio** ( $T_{FS}$ ) que es el espacio de tiempo en que el equipo o instalación no se encuentra disponible para la operación, ya sea por mantenciones (programado) o por fallas (imprevistos)

$$T_{disp} = T_{nom} - T_{FS} \quad (1)$$

De igual forma, se puede obtener el tiempo disponible al sumar el tiempo **operativo** ( $T_{op}$ ) con las **reservas** ( $T_{res}$ ), donde el primero es el espacio de tiempo en

<sup>1</sup> La función de diseño corresponde a las características de funcionamiento u operatividad, específicas de un equipo, máquina o instalación, que son bases fundamentales para su adquisición.

que el equipo se encuentra mecánicamente apto, con operador y cumpliendo con las actividades asociadas a la operación, mientras que el tiempo en reserva corresponde al espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto para cumplir su función de diseño no teniendo operador que lo utilice, o que hay una condición específica del avance de la operación o condiciones climáticas (extrema) por la cual no pueda ser operado.

$$T_{disp} = T_{op} + T_{res} \Leftrightarrow T_{op} = T_{disp} - T_{res} \quad (2)$$

$$T_{op} = T_{nom} - T_{FS} - T_{res} \quad (3)$$

Las **demoras programadas** ( $T_{D.prg}$ ) corresponden al espacio de tiempo en que el equipo o instalación no cumple su función de diseño debido a actividades reglamentadas como lo son: cambio de turno y coloción.

Las **demoras no programadas** ( $T_{D.No prg}$ ) comprenden el espacio de tiempo en que el equipo no puede cumplir con su función de diseño, debido a condiciones o circunstancias propias de la operación.

$$T_{dem} = T_{D.prg} + T_{D.No prg} \quad (4)$$

El **tiempo efectivo** es cuando el equipo se encuentra desarrollando las actividades específicas de diseño para las cuales ha sido adquirido por la organización.

$$T_{ef} = T_{op} - T_{dem} \quad (5)$$

$$T_{ef} = T_{disp} - T_{res} - T_{dem} \quad (6)$$

### 2.3.1.1 INDICADORES OPERACIONALES

La **disponibilidad** es el porcentaje de horas nominales en que la flota o equipo estuvo en condiciones mecánicas y/o eléctricas de ser operado. El indicador establece la capacidad de la función Mantenición y establece el marco de referencia funcional que deberá enfrentar la operación.

$$Disp \% = \frac{T_{nom}[h] - T_{FS} [h]}{T_{nom} [h]} \cdot 100 \quad (7)$$

La **utilización efectiva** corresponde al porcentaje de horas disponibles en que la flota o equipo se encuentra en tiempo efectivo. El indicador provee información sobre la eficacia global respecto del uso eficiente del equipo.

$$Ut_{ef/BD} \% = \frac{T_{ef}[h]}{T_{disp} [h]} \cdot 100 \quad (8)$$

Por otro lado, se tiene la **utilización operativa** que consiste en el porcentaje de horas disponibles en que la flota o equipo se encuentra operativo. Este indicador provee información acerca de la capacidad excedente que está disponible.

$$Ut_{op} \% = \frac{T_{op}[h]}{T_{disp}[h]} \cdot 100 \quad (9)$$

El **factor de utilización** o factor operacional, es el porcentaje de horas operativas en que el equipo se encuentra en tiempo efectivo. Este indicador mide la eficiencia del uso del recurso, pues deja de lado las reservas, es decir, muestra el resultado de la gestión.

$$Factor\ Utilización\ \% = \frac{T_{ef}[h]}{T_{op}[h]} \cdot 100 \quad (10)$$

El **porcentaje de demoras** es la porción de horas disponibles en que la flota o equipo registró demoras (programadas y no programadas), típicamente el valor es un 7%.

$$\% Demoras = \frac{T_{dem}[h]}{T_{disp}[h]} \cdot 100 \quad (11)$$

El **porcentaje de reservas** es el tiempo disponible en que la flota o equipo fue dejada en reserva, típicamente este valor es un 5%

$$\% Reservas = \frac{T_{res}[h]}{T_{disp}[h]} \cdot 100 \quad (12)$$

El **rendimiento** es el indicador que mide el desempeño productivo según las características del equipo, en un espacio de tiempo definido (horas efectivas).

- *Metros por hora efectiva [m/h<sub>ef</sub>]*: Permite determinar la cantidad de metros perforados por hora efectiva de trabajo. Se establece como base de cálculo las horas efectivas, ya que indican el tiempo en que el equipo de perforación realmente se encuentra ejecutando actividades correspondientes a su función de diseño, descontando las demoras incurridas debido a variables externas al equipo.
- *Toneladas por metros perforados [ton/m]*: Permite determinar las toneladas tronadas o movidas por cada metro perforado.

### 2.3.1.2 ESTADOS EN SISTEMA JIGSAW

Los estados de acuerdo a categorías que pueden tener los equipos en el sistema Jigsaw, representan en alguna medida la distribución de tiempos de la norma ASARCO, es posible observar 9 tipos de categorías: Efectivo, D.prg, D.Noprg, Mecánica, Mantenimiento, Eléctrica, MecExcl, MantExcl y ElecExcl, sin embargo, las últimas 6 pueden agruparse como Fuera de Servicio (FS), es decir, el tiempo en que el equipo o

flota se encuentra fuera de servicio corresponde a la suma de las últimas categorías, es decir

$$T_{FS} = T_{mecánica} + T_{mantención} + T_{eléctrica} + T_{MecExcl} + T_{MantExcl} + T_{ElecExcl} \quad (13)$$

Cabe destacar que debido al contrato MARC de mantenimiento con Atlas Copco hay ciertas fallas o mantenciones que se encuentran excluidas del contrato y por este motivo se encuentran las categorías con Excl. Si bien los tiempos fuera de servicio se suman todos y entregan la disponibilidad física de los equipos, también se maneja una disponibilidad Marc, que no considera los tiempos excluidos y por tanto, es mayor o igual que la disponibilidad física de los equipos.

Los tiempos asociados a las categorías anteriores, que son obtenidos de los datos de la operación, permiten determinar los indicadores operacionales con el fin de establecer un marco más realista para la planificación de perforación y cálculo de equipos.

Para un mayor detalle de las descripciones asociadas a cada categoría ver

### 2.3.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EQUIPOS EN DRT

Para el cálculo de la flota de perforadoras requeridas, se determinan en primer lugar 2 factores de perforación, el primero en toneladas por metro (FP1) y el segundo en metros por hora efectiva (FP2)

$$FP1 \left[ \frac{ton}{m} \right] = \frac{Ton/tiro}{largo tiro} \cdot (1 - 0.02) \quad (14)$$

$$FP2_{mhef} = Largo tiro + \frac{cambio\ pozo}{60 \cdot velocidad\ instantánea} \quad (15)$$

$$\frac{Ton}{h_{ef}} = FP1 \left[ \frac{ton}{m} \right] \cdot FP2 \left[ \frac{m}{h_{ef}} \right] \quad (16)$$

$$Metros\ a\ perforar = \frac{Kton\ a\ perforar}{FP1} \cdot 1000 \quad (17)$$

$$h_{ef} = \frac{metros\ a\ perforar}{(\#_{DML} \cdot FP2_{DML} + \#_{PV} \cdot FP2_{PV}) / (\#_{DML} + \#_{PV})} \quad (18)$$

Además, para cada flota de perforadoras se tiene

$$h_{ef} = 24 \cdot \frac{días}{mes} \cdot UE \cdot Disp \cdot \#_{equipos} \quad (19)$$

$$m_{perforados} = h_{ef} \cdot Rendimiento \left[ \frac{m}{h_{ef}} \right] \quad (20)$$

$$Ton_{perforados} = h_{ef} \cdot \sum_{UG} \%UG \text{ a perforar} \cdot FP1 \quad (21)$$

$$Rendimiento \left[ \frac{m}{h_{ef}} \right] = \frac{\sum_{UG} h_{efUG} \cdot FP2}{h_{ef total}} \quad (22)$$

Donde, el largo de tiro corresponde a la suma entre la altura de banco y la pasadura, UE corresponde a la utilización efectiva medida en % y Disp corresponde a la disponibilidad en %. Por otro lado, la UG corresponde a la unidad geológica y se hace una diferencia porque dependiendo el tipo de roca se tendrá distintas durezas y por lo tanto, distintos rendimientos. Las horas efectivas son representadas por  $h_{ef}$

En resumen, se utilizará el siguiente modelo de planificación para determinar los metros perforados

$$m_{perforados} = h_{nom}[h] \cdot UE\% \cdot Disp\% \cdot \#_{equipos} \cdot Rendimiento \left[ \frac{m}{h_{eff}} \right] \quad (23)$$

De esta forma, sabiendo la planificación de metros para un determinado periodo y los indicadores operacionales de los distintos equipos es posible determinar la cantidad de equipos requeridos para cumplir el plan. Dicho de otra manera, de acuerdo a la cantidad de equipo de las flotas y los indicadores planificados es posible determinar la producción de las perforadoras en el periodo en cuestión.

El plan en general debe ser exigente mientras se consideren las condiciones operacionales, de esta forma se saca el máximo provecho de los activos, pues al cumplir con la disponibilidad, se tiene una buena confiabilidad de los equipos y por otro lado, al cumplir con la utilización efectiva, se demuestra la correcta gestión del área de operaciones, asociado principalmente a las demoras, ya sean programadas o no programadas.

En general, al realizar una planificación de las operaciones unitarias, se utilizan los mismos indicadores operacionales que se muestran en la ecuación (16) y en general, representan compromisos de las áreas, es decir, Mantenimiento oferta una disponibilidad para el periodo, que puede ser diario, semanal, mensual o anual. De la misma forma, Operaciones oferta una utilización efectiva, en función de las condiciones operacionales de la mina en el periodo. Por otro lado, habitualmente los rendimientos utilizados en los cálculos de planificación se relacionan con resultados históricos, así como, lo que indica el fabricante.

## **2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

---

A fin de establecer información a partir de los datos obtenidos de la operación, es necesario realizar un estudio estadístico a fin de establecer relaciones entre variables, distribuciones y variabilidad de la información, para ello se utilizarán las siguientes herramientas

- Estadística descriptiva: Determina los parámetros estadísticos como la media, mediana, moda, desviación estándar, distribución y dispersión de los datos
- Correlación estadística: Determina la relación o dependencia que existe entre las dos variables que intervienen en una distribución bidimensional
- Gráficas de control: sirven para poder analizar el comportamiento de los diferentes procesos y poder prever posibles fallos de producción mediante métodos estadísticos
- Análisis factorial: El análisis factorial consiste en desglosar un resultado en sus componentes y determinar el peso de cada una.

## **2.5 METODOLOGÍA KAIZEN-LEAN**

---

En tiempos de crisis, como el que actualmente está pasando la industria del cobre exige replantearse la forma de hacer las cosas de manera de optimizar el uso de recursos y conseguir mejores productividades y/o reducción de los costos.

Actualmente, CODELCO se encuentra inmerso en una condición de mercado que exige mucho más a sus trabajadores y colaboradores en planes de reducción de costos y mejoras en la productividad, con el fin de generar excedentes para el país, por lo que es necesario realizar una revisión de los procesos y optimizarlos.

Kaizen y la metodología LEAN vienen a hacerse cargo de la revisión de los procesos y establecer una cultura de mejoramiento continuo. Ambas tienen por objetivo identificar las MUDAS (desperdicios de todo tipo como tiempo, sobreproducción, etc) y eliminarlos dentro de lo posible.

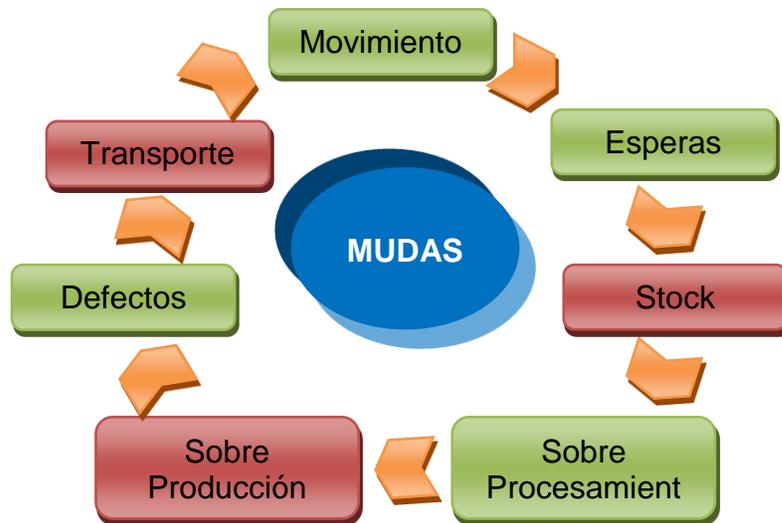


Figura 10 - Esquema MUDAS

Para establecer qué es un desperdicio, es necesario conocer la cadena de valor, visitar el GEMBA (lugar de trabajo) y establecer las actividades que agregan o no valor a la operación en cuestión, de manera de identificar las tareas innecesarias y que generan despilfarro de recursos, pues se entiende como actividades que **agregan valor** a aquella parte del trabajo por la que el cliente está dispuesto a pagar, mientras que las **pérdidas** sólo incrementan los plazos, costos y reducen la calidad.

En estas metodologías de mejoramiento continuo, se busca generar un flujo, que consiste en diseñar, planificar y ejecutar exactamente aquello que el cliente/usuario quiere, en el momento que lo quiere y en el lugar donde lo quiere, lo que extrapolado a la operación minera es generar un plan minero operativo, que considere las condiciones de la mina, a fin de maximizar el uso de los recursos eliminando las mudas asociadas tanto a la ejecución como las establecidas en la planificación.

Las herramientas que son utilizadas en este trabajo como propuestas para la mejora de gestión, corresponden a: eliminación de mudas, gestión visual y estandarización de procesos.

La eliminación de mudas consiste en realizar una observación del proceso e identificar alguna de las actividades de la Figura 10, establecer oportunidades de mejora a fin de reducir o eliminar este foco de desperdicio, que se puede ver reflejado o traducido en tiempo, costo, productividad, etc.

En términos generales, las mudas se pueden describir de la siguiente manera

- **Movimiento:** puede estar asociado a movimiento de personas, equipos, objetos, etc. En general, cuando existe un sistema compuesto por múltiples componentes como es el caso de la mina, el movimiento genera interferencias entre las actividades que se encuentran realizando los distintos equipos, generando a su vez demoras. Para poder disminuir o suprimir esta muda es necesario seguir a los equipos y operadores para establecer un “diagrama de espagueti” el cual esquematiza los

desplazamientos de las personas y máquinas y sus interacciones. El objetivo es identificar mejoras que reduzcan las distancias, los tiempos de desplazamiento y las interacciones que generan interferencias o demoras.

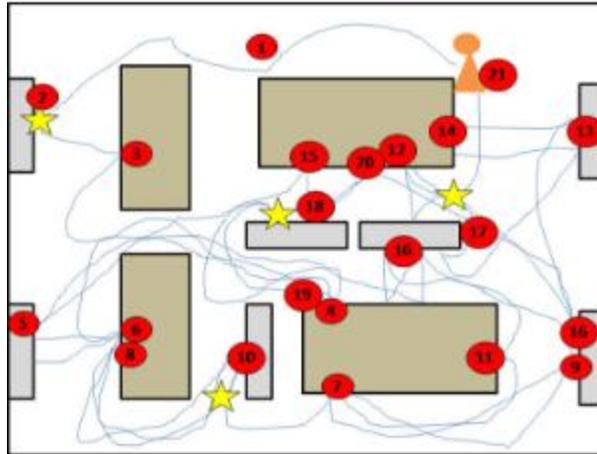


Figura 11 - Ejemplo diagrama spaghetti (Grupo PDCA Home, 2013)

- **Esperas:** corresponde al tiempo perdido por esperar información, materiales, abastecimiento de insumos como combustible, agua, etc. La manera de abordar este desperdicio es identificar si en el proceso existen esperas y si estas pueden reducirse o eliminarse. Por lo general, esta muda es posible reducirla con planificación de actividades y mejora en la comunicación entre los procesos, personas o equipos que deben interactuar. Por otro lado, se puede aprovechar estos tiempos de esperas en realizar otra actividad que puede agregar o no valor.
- **Transporte:** En general, el transporte interno es considerado como pérdida, pues el cliente no paga por él, por lo tanto, no agrega valor a la cadena del negocio. Para esta muda, también es útil el diagrama de espagueti porque permite visualizar oportunidades de mejora para optimizar rutas, reducir distancias e incluso eliminar ciertos transportes a partir de la redistribución de procesos o puestos de trabajo que permitan facilitar el flujo entre las operaciones de la cadena de valor.
- **Stock:** corresponde a almacenar productos y es considerado muchas veces como un “pulmón” dentro de los procesos, pues permiten la operación de un proceso cuando uno anterior está con falla. Por ejemplo, en el caso de una operación minera se maneja un stock después del chancado primario, que permite alimentar a la planta de forma autónoma por un determinado periodo cuando hay problemas ya sea en el chancador o bien en la mina que no puede alimentar con mineral al chancado. En términos generales, en minería es una pérdida necesaria y difícil de reducir, en cambio, hay ciertas industrias en que el stock genera deterioro del producto y disminuye la trazabilidad de defectos.
- **Defectos:** como su nombre lo dice, son fallas que presenta el producto o servicio que puede ser en calidad, funcionalidad, etc. En el caso de la

industria minera hay una serie de defectos en el cátodo (producto final) que generan rechazos por parte del cliente, pues debe cumplir con una serie de características físicas y químicas para aprobar el estándar. En el caso particular de la operación de perforación, esta pérdida o desperdicio generalmente se traduce en un reprocesamiento de pozos tapados, pozos más cortos, etc, por lo que se requiere asignar recursos nuevamente para finalizar una malla, lo que implica aumentar demoras asociadas a traslado de equipos. Generalmente, los defectos se abordan con un proceso de control de calidad, el que puede ser considerado como una actividad que agrega o no valor y esta definición dependerá de si el cliente está o no dispuesto a pagar por ella, no obstante, es una actividad necesaria dentro del proceso para evitar reprocesamiento en operaciones previas. La clasificación de tamaños con harneros e hidrociclones puede ser catalogada como una actividad de “control de calidad”.

- **Sobreprocesamiento:** es cuando se realiza más de lo necesario en un proceso, generando una pérdida en recursos como energía, HH, insumos, etc. Un ejemplo de esta muda en minería sería mantener un material en el chancador más tiempo del necesario, generando un producto más fino del requerido por su cliente (chancado secundario) lo que genera mayor tiempo de procesamiento, reducción en las descargas de camiones por hora, menor tonelaje procesado, etc. Esta muda se puede abordar a través de la estandarización de procesos, lo que reducirá la variabilidad de los resultados.
- **Sobreproducción:** es cuando se produce más de lo que el cliente está dispuesto a comprar, en general, esta muda genera stock y sus consecuencias. En el caso de la industria minera, al tener productos que son commodities, la sobreproducción es beneficiosa pues permite la generación de economías de escala, lo que reduce los costos, por lo que esta muda no es abordada en este trabajo.

La gestión visual permite entregar de forma visual y rápida información relevante como estado de cumplimiento, estado mecánico de equipos, falta de algún instrumento etc. A cualquier persona, sin necesidad de instrucción. Esta herramienta permite mantener el orden en talleres mecánicos, puestos de trabajo, etc, facilita la búsqueda de objetos. Algunos ejemplos de gestión visual se presentan a continuación



Perspectiva	Objetivos	Indicador	Unidad de medida	Frecuencia de seguimiento	Metas 2012			Responsable
					Óptimo	Precaución	Crítico	
Financiera	Aumentar la rentabilidad	Incremento de la utilidad operativa	%	Anual	30% o más	entre 20% y 29%	25% o menos	Encargado de Finanzas
Cliente	Capilar nuevos clientes	Número de nuevos aliados al programa de salud	clientes	Mensual	600 o más	entre 700 y 601	600 o menos	Encargado de Marketing
Cliente	Ofrecer un servicio excelente	Nivel de satisfacción del cliente	%	Semestral	70% o más	entre 74% y 69%	65% o menos	Encargado de Marketing
Procesos internos	Incrementar la calidad de los servicios	Grado de avance en la adquisición	%	Semestral	50% o más	entre 49% y 41%	30% o menos	Encargado de Marketing
Procesos internos	Ofrecer un servicio de calidad	Quejas de clientes respondidas	%	Trimestral	100%	entre 99% y 91%	90% o menos	Encargado del Servicio
Procesos internos	Mejorar la productividad	Tiempo ocioso de médicos	minutos	Mensual	30 o menos	entre 31 y 59	60 o más	Encargado del Servicio
Procesos internos	Mejorar la productividad	Pacientes con seguimiento post consulta	%	Trimestral	hasta 50%	entre 45% y 41%	40% o menos	Encargado del Servicio
Procesos internos	Garantizar la eficacia de los servicios brindados	Pacientes que regresan por la misma enfermedad	%	Mensual	39% o menos	entre 31% y 49%	50% o más	Encargado del Servicio
Capacidades estratégicas	Fortalecer el capital humano	Nivel de satisfacción personal	%	Anual	70% o más	entre 69% y 61%	60% o menos	Encargado de recursos humanos
Capacidades estratégicas	Fortalecer el capital humano	Trabajadores que cumplen con el perfil por competencias	%	Anual	90% o más	entre 89% y 71%	70% o menos	Encargado de recursos humanos
Capacidades estratégicas	Procesar y difundir el conocimiento generado las experiencias	Publicaciones médicas internas	revistas	Anual	0	entre 4 y 5	3 o menos	Alta Dirección

Figura 12 - Ejemplos de gestión visual

La estandarización de procesos sirve para reducir la variabilidad de los resultados, a través de la definición de los tiempos que requiere cada operación, mejorando muchas veces la productividad global. Para utilizar esta herramienta se debe:

- Describir el proceso actual indicando como se realiza cada actividad, esto debe realizarse en equipo a fin de abordar la forma en que cada persona desempeña sus labores. Se puede definir un paso a paso que realizan las personas para desarrollar el trabajo o bien se puede observar el proceso y definir la mejor forma en que se hace. Generalmente se utilizan diagramas de flujo, fotografías o dibujos que describan el proceso.
- Se debe planear una prueba de cómo se realiza actualmente el proceso, ejecutarlo y monitorear la prueba, recolectando información e identificar oportunidades de mejora, por ejemplo, dar instrucciones más claras, actividades no descritas en el diagrama del proceso. Se debe evaluar si se han mejorado los resultados, si se ha reducido la variabilidad y si hay espacios de mejora.
- Se debe revisar el proceso para evaluar si este se puede simplificar el estándar y mejorar la gestión visual.
- Se debe difundir el estándar, asegurarse que sea utilizado y evaluarlo constantemente para su mejoramiento.

Un ejemplo de estandarización con gestión visual es el siguiente

PROTOCOLO OPERATIVO DE LIMPIEZA DE BAÑOS			PROTOCOLO OPERATIVO DE LIMPIEZA DE BAÑOS		
<b>1.- Limpieza de mantenimiento</b> Tiempo requerido: 20 minutos/unidad Frecuencia: cada 2 -2,5 horas			<b>2.- Limpieza en ENTREGA DE TURNO</b> Tiempo requerido: 30 minutos/unidad Frecuencia: 30 min. antes fin de turno		
PASOS	PRODUCTO	MATERIAL	PASOS	PRODUCTO	MATERIAL
Paso 1. Colocar señalización PISO MOJADO		Señal piso mojado	Paso 1. Colocar señalización PISO MOJADO		Señal piso mojado
Paso 2. Limpieza EXTERIOR de WC y urinarios. Utilizar botella OxiPro con pistola pulverizadora. Pulverizar sobre una bayeta o directamente sobre la superficie. Dejar actuar 10 minutos. Tratar la superficie con una bayeta mojada y aclarar (subo e.L. con agua).	OxiPro 410 (300ml)	Bayeta azul roja Bayeta e.L.	Paso 2. Limpieza INTERIOR de WC y urinarios. Aplicar el producto dentro de la taza del WC/urinario, especialmente bajo la borda inferior. Dejar actuar 5 minutos. Tratar con escobillon y aclarar el cisterna. <b>Observación:</b> 1 vez/lavado.	Urto WC OxiPro 44	Escobillon WC
Paso 3. Vaciado de papeleras, reposición de papel y jales.	Gel Ho Monas EFIGARE 1	Jabonero gel manos	Paso 3. Limpieza EXTERIOR de WC y urinarios. Utilizar botella OxiPro con pistola pulverizadora. Pulverizar sobre una bayeta o directamente sobre la superficie. Dejar actuar 10 minutos. Tratar la superficie con una bayeta mojada aclarar (subo e.L. con agua).	OxiPro 410 (300ml)	Bayeta azul roja Bayeta e.L.
Paso 4. Secado de superficies		Bayeta baños amarillo	Paso 4. Limpieza de papeleras, dispensadores de papel y jales, espejos y cisternas. Usar botella OxiPro con pistola pulverizadora. Aplicar técnica del spray.	OxiPro 40 (300ml) & Fervete (300ml)	Bayeta baños amarillo
Paso 5. Limpieza cisternas/espuma. Utilizar botella OxiPro con pistola pulverizadora. Aplicar técnica del spray. Limpiar de arriba a abajo y de derecha a izquierda.	OxiPro 40 (300ml) & Fervete (300ml)	Bayeta baños amarillo	Paso 5. Limpieza de sanitarios, grifos y enchufes. Utilizar botella OxiPro con pistola pulverizadora. Pulverizar sobre una bayeta o directamente sobre la superficie. Dejar actuar 10 minutos. Tratar la superficie con una bayeta mojada aclarar (subo e.L. con agua). <b>Utilice el estropajo de baños rojo para la grifos.</b>	OxiPro 410 (300ml)	Bayeta baños amarillo Estropajo baños rojo
Paso 6. Barrido/fregado del suelo. Previa barrido, utilizar fregado plano con mango específico para el baño. Fregar utilizando la técnica del 8, de cuarenta hacia afuera. Al acabar, colocar señalización de piso mojado.	Dixin CI (1 litro)	Sistema de fregado plano	Paso 6. Barrido/fregado del suelo. Previa barrido, utilizar fregado plano con mango específico para el baño. Fregar utilizando la técnica del 8, de cuarenta hacia afuera. Al acabar, colocar señalización de piso mojado.	Dixin CI (1 litro)	Sistema de fregado plano

Figura 13 - Ejemplo de estándar

# CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

La metodología definida para el desarrollo del trabajo de título es desarrollada en el presente capítulo y se resume en las etapas que se muestran en la figura siguiente

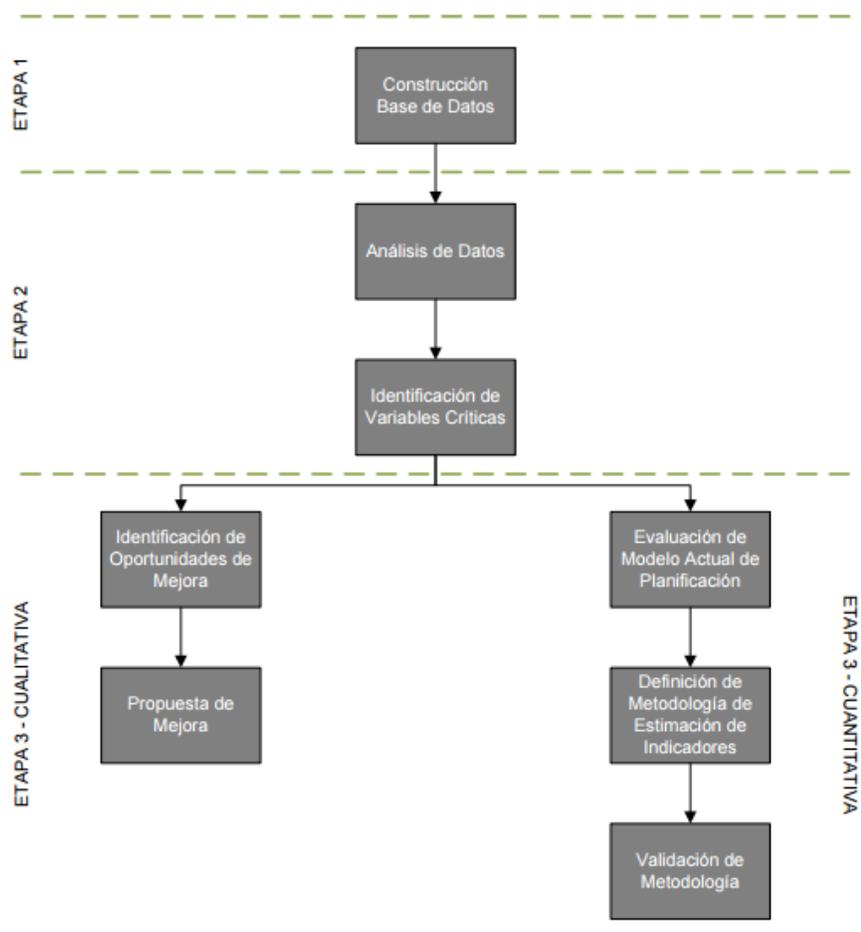


Figura 14 - Esquema Metodología

Las actividades finales de la etapa 3, tanto la fase cuantitativa y cualitativa son desarrolladas en el próximo capítulo.

### 3.1 BASE DE DATOS

---

Es importante destacar, que para obtener conclusiones acertadas y razonables respecto a la realidad de la operación, los datos imputados en el sistema deben ser fidedignos y un reflejo de lo que ocurre en el terreno, de lo contrario, el análisis de los datos no tendrán sentido alguno, pues la interpretación que da lugar a la información y posteriores conclusiones, dirigirá los focos a puntos errados.

La base de datos construida en este trabajo de título incluye; los estados de los equipos por turno y la ubicación (fase, banco) por día de los equipos, así como los metros perforados. Además, se adiciona información de la geometría de los bancos en que está trabajando cada equipo y el tipo de roca (óxido o sulfuro). Esta información permite obtener un detalle de la operación para poder determinar las principales demoras, distribución de los tiempos y focos para la gestión por parte de la operación para un uso más eficiente de los recursos.

La información consolidada en la base de datos diaria, se encuentra compuesta por

- Fecha: año, mes y día
- Equipo: Nombre, flota y tipo de perforadora
- Ubicación: Fase, cota y banco, tipo de mineral
- Producción: cantidad de pozos, metros, duración, rendimiento, largo promedio del pozo
- Variables de diseño: largo de banco, área banco, perímetro banco, ancho equivalente, radio hidráulico, factor de elongación.
- Tiempos: nominal, fuera de servicio, disponible, reserva, operativo, demora programada, demora no programada y tiempo efectivo
- Indicadores operacionales: Disponibilidad, utilización operativa, utilización efectiva, %reservas, %demoras programadas, %demoras no programadas y rendimiento efectivo

De acuerdo a lo rescatado en las entrevistas con los especialistas, se tiene que la información del sistema del año 2012 no es muy confiable, debido a que el sistema era relativamente nuevo y los operadores no asignaban bien los estados del equipo o bien, no generaban los cambios correspondientes, por lo que el tratamiento de esta información se realizará con sumo cuidado para evitar llegar a conclusiones erradas.

En el ANEXO B se encuentra el detalle de la adquisición de la información utilizada en la construcción de la base de datos, la consolidación de los datos y el procesamiento. En ANEXO A se encuentran las descripciones por categoría.

## 3.2 ANÁLISIS DE DATOS

Conociendo la metodología de cálculo de las perforadoras utilizada en la planificación, se estudian los indicadores operacionales relevantes a nivel mensual para conocer su comportamiento en el tiempo e identificar tendencias, comportamientos cíclicos, etc.

La primera conclusión es que los indicadores operacionales no tienen un comportamiento cíclico a nivel mensual o anual, más bien tiene un comportamiento errático o azaroso, por lo que, a fin de reducir la cantidad de información a tratar se escoge un mes con buenos resultados, uno con valores moderados y finalmente uno con malos indicadores, así se determina que el espectro a analizar serán los meses de marzo, mayo y agosto de cada año, desde 2012 a mayo de 2015 para estudiar en detalle a nivel de turno y diario la distribución de los tiempos y las interferencias.

Al observar los indicadores de forma mensual, se ve la globalidad de los resultados, sin embargo, por la naturaleza de las variables, se pierden las interacciones que se generan en la operación y las complejidades que pueden impedir el cumplimiento de los planes. Es por lo anterior, que en este trabajo serán identificadas las principales demoras no programadas que afectan la utilización efectiva y cómo pueden gestionarse para su reducción con el objeto de mejorar la productividad y maximizar el uso de los activos de la Corporación.

### 3.2.1 ANÁLISIS INDICADORES OPERACIONALES

#### 3.2.1.1 DISPONIBILIDAD

La disponibilidad de las flotas DML y PITVIPER 1 tienen una leve tendencia al alza y reducción de la banda de valores a partir de mayo de 2014 para las DML y julio de 2013 para las PITVIPER 1, asociado a la incorporación de nuevos equipos, lo que mejora a nivel global los resultados de la flota, lo que se muestra en la siguiente imagen

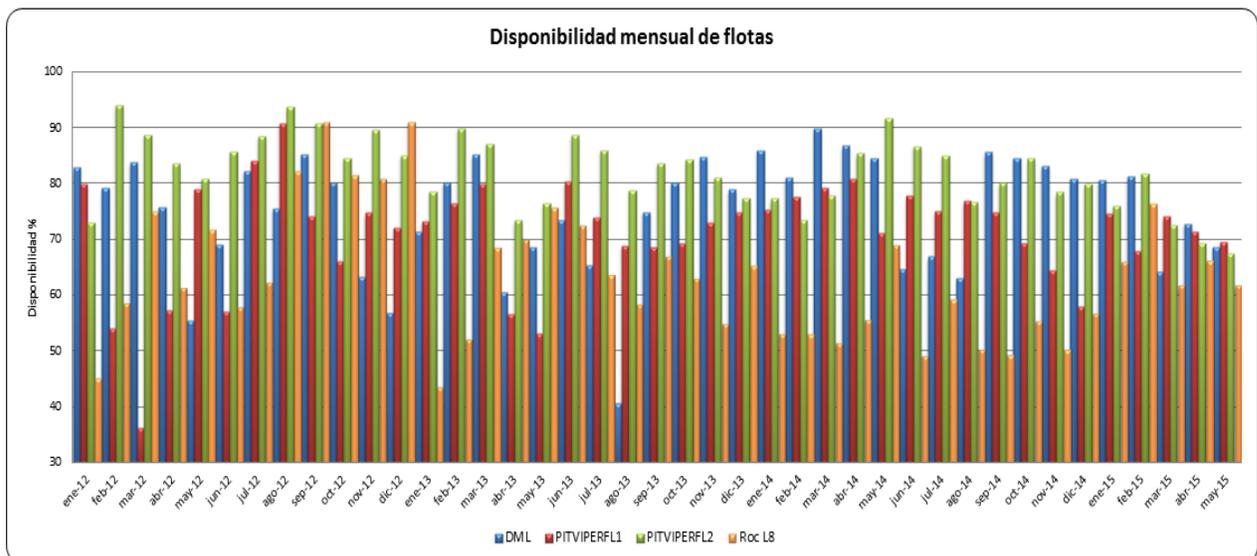


Figura 15 - Disponibilidad mensual por flota

Por el contrario, en el caso de las Roc y PITVIPER 2 tienen una leve tendencia a la baja, la primera flota a partir de junio 2013, mostrando una recuperación en febrero 2015 asociada a la incorporación de nuevos equipos y no a mejora en la confiabilidad de éstos, mientras que en la segunda flota presenta una baja sostenida a partir de octubre de 2014, sin embargo, la disponibilidad de la flota PIT VIPER 2 tiene un rango por sobre el 65% en los últimos 12 meses a diferencia de las otras flotas, la que la hace la flota más confiable por los rangos de disponibilidad en los que se encuentra.

La siguiente tabla muestra los promedios para 2015 (enero a mayo) y el espectro completo de evaluación (enero 2012 a mayo 2015)

*Tabla 4 - Disponibilidad promedio*

<b>Flota</b>	<b>Disp % 2015</b>	<b>Disp % 2012-2015</b>
DML	<b>71.5</b>	<b>75.0</b>
PITVIPER 1	<b>73.4</b>	<b>71.0</b>
PITVIPER 2	<b>66.5</b>	<b>82.1</b>
ROC L8	<b>70.4</b>	<b>63.4</b>

A nivel de planificación de largo plazo se considera una disponibilidad promedio de 79% a nivel mensual, por lo que en 2015 ninguna flota cumple este promedio, sin embargo, estos valores se han cumplido para

- Enero y febrero 2015 para DML y febrero 2015 para PITVIPER 2
- Promedio anual 2014 para DML y PITVIPER
- Promedio anual de 2013 y 2012 para flota PITVIPER 2, que se explica por la menor antigüedad de los equipos.

Al no cumplir la disponibilidad planificada en los equipos, se tendrá una brecha en la cantidad de metros que se podrá producir o dicho de otra forma, los metros planificados requerirán un mayor tiempo para ser logrados, lo que acarrea por tanto retrasos en la operación de perforación y retrasos aguas abajo: tronadura, carguío y así sucesivamente, con una consecuencia en la producción comprometida por la División. Esta condición desfavorable sólo se puede ver revertida por una mayor utilización efectiva y/o mejor rendimiento de los equipos de perforación.

De acuerdo la información entregada por mantención, el primer trimestre 2015, se establece que las principales fallas por flota son las que muestran las figuras que siguen

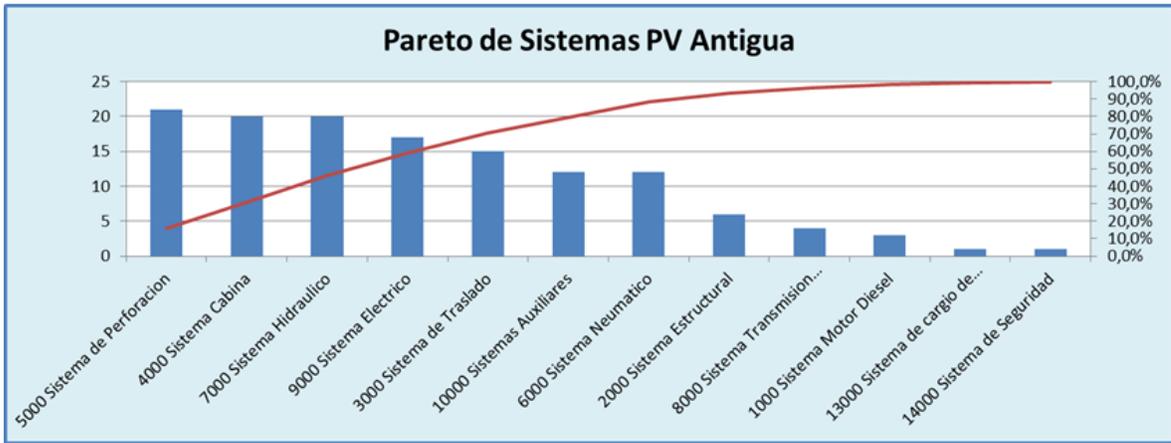


Figura 16 - Pareto fallas flota PV 1

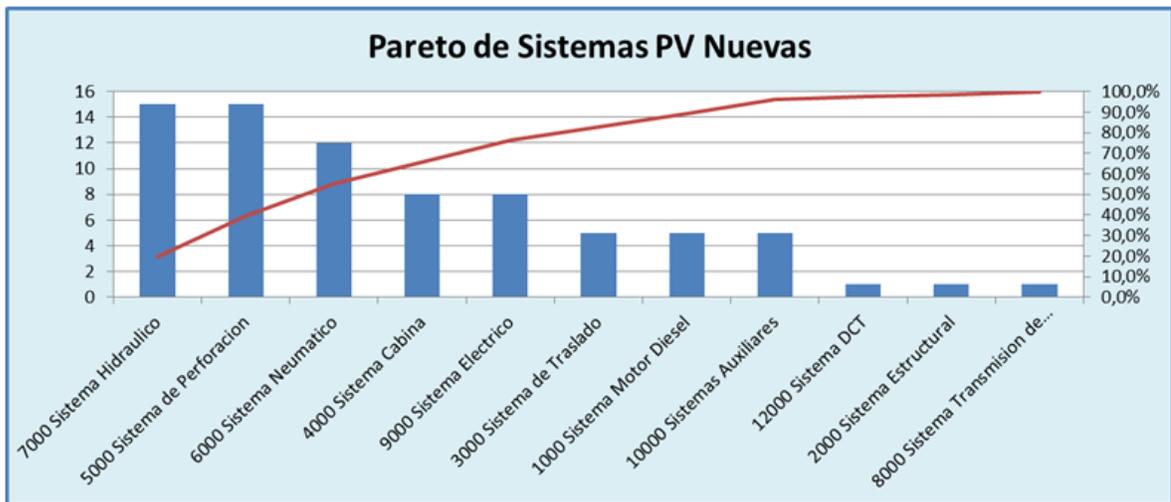


Figura 17 - Pareto fallas flota PV 2

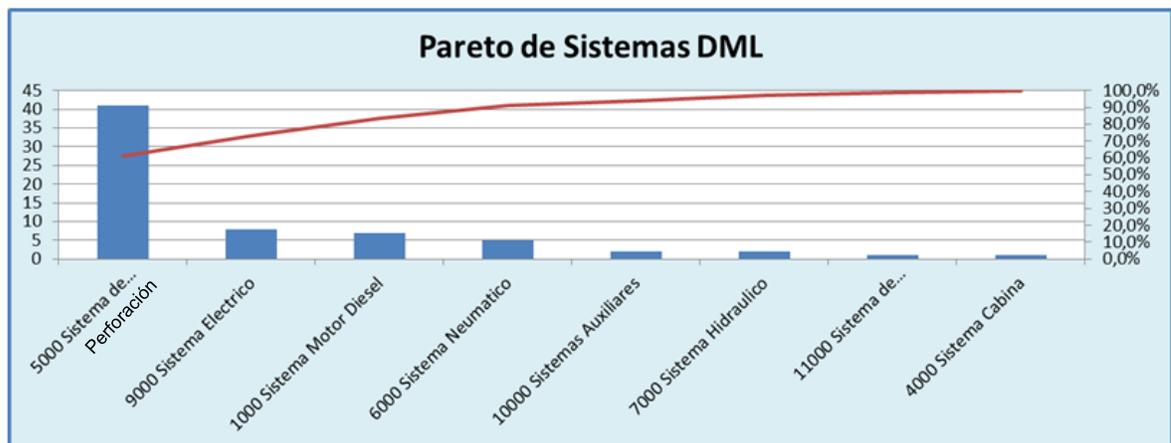


Figura 18 - Pareto fallas flota DML

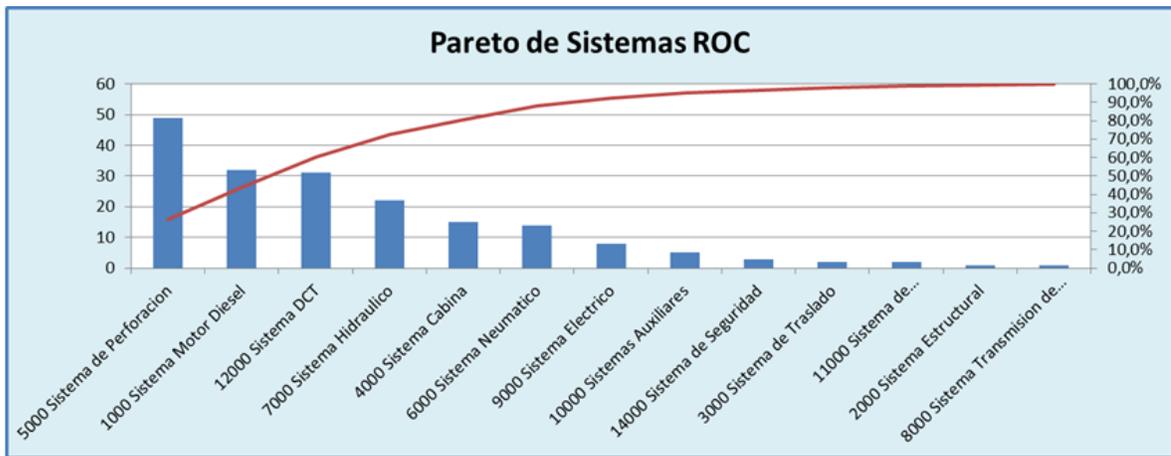


Figura 19 - Pareto fallas flota ROC

### 3.2.1.2 UTILIZACIÓN OPERATIVA

La utilización operativa, que nos muestra el porcentaje de tiempo que el equipo está disponible y se está usando, muestra tendencia a la baja en el tiempo, para todas las flotas de equipos, con una tendencia más significativa para las flotas de control pared. Esto implica que ha habido una mayor porción del tiempo en que los equipos se han dejado en reserva, asociado principalmente a la falta de operador. Sin embargo, a partir de enero 2015, debido a un lineamiento de la gerencia mina se ha buscado maximizar el uso de los activos, minimizando las reservas, motivo por el cual, se ha observado una leve tendencia al alza para todas las flotas, con valores en torno al 90% para las perforadoras de producción y una tendencia más marcada que va de cerca de 65% en enero a 85% en mayo de 2015 para las ROC.

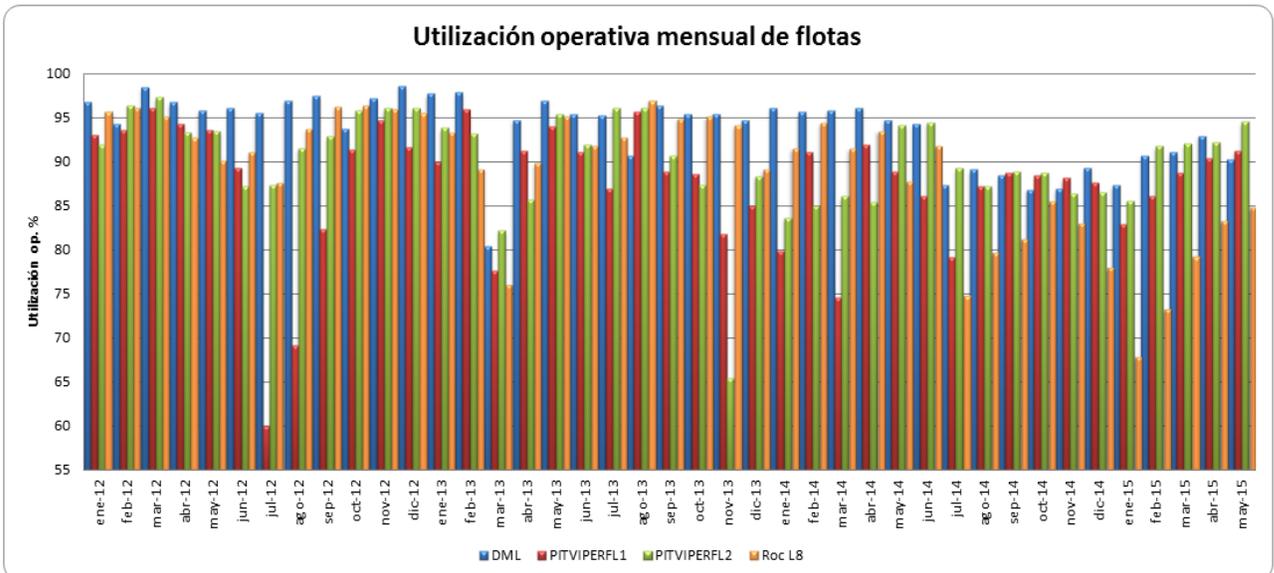


Figura 20 - Utilización operativa mensual por flota

Cabe destacar que si bien la tendencia del 2015 es alza, aún no logra alcanzar los niveles demostrados en los años anteriores, lo que se debe en parte a una mejor

imputación de los datos (información más realista) pues al comenzar a utilizar el sistema Jigsaw para el ingreso de los datos, muchas veces se confundían los estados y en lugar de dejar en reserva el equipo se dejaba operativo, por ejemplo en demora. Por otro lado, mayor ausentismo en los operadores reduce la posibilidad de tener operativos los equipos mina y de acuerdo a la estrategia de operación, se privilegian los equipos denominados “productivos” que corresponden a palas y camiones y el apoyo o servicios a estas operaciones, por lo que la perforación queda relegada sin notar que retrasos en esta actividad tienen implicancias aguas abajo como alteración en la secuencia de explotación, no tener información respecto a las características del material mediante las muestras a los pozos de perforación, etc. En general, se maneja que en la gerencia mina el ausentismo se encuentra en torno al 6% versus una planificación por parte de RRHH del 2%.

En términos generales, los resultados por flota se pueden resumir en la siguiente tabla

*Tabla 5 - Utilización operativa*

<b>Flota</b>	<b>UO % 2015</b>	<b>UO % 2012-2015</b>
DML	<b>90.4</b>	<b>93.7</b>
PITVIPER 1	<b>87.9</b>	<b>87.5</b>
PITVIPER 2	<b>91.2</b>	<b>90.1</b>
ROC L8	<b>77.7</b>	<b>88.9</b>

De esta manera, la utilización operativa de las flotas DML y PITVIPER 2 cumplen lo comprometido en 2015, en promedio, contrastado con la planificación anual.

### **3.2.1.3 RESERVAS**

En el caso de las flotas PITVIPER 1 y ROC L8 se tiene un mayor porcentaje de reservas en base disponible que el planificado, que corresponde a un 10%. Para la primera flota se tiene una diferencia 2.1 puntos porcentuales, mientras que para la segunda alcanza 12.3 puntos porcentuales.

Al iniciar el turno, los equipos se encuentran en estado “Cambio de Turno” correspondiente a una demora programada, equivalente a 15 minutos, si transcurrido este tiempo no hay operador o no es cambiado el estado el equipo entra en “Reserva Sin Operador” de forma automática por el sistema.

Tras el análisis de la información se ha identificado que las “Reservas Sin Operador” son mayores al inicio de turno, asociado al tiempo de traslado de los operadores. Por un lado, las perforadoras se ubican en zonas extremas de la mina, que por tanto, tienen asociadas un largo tiempo de viaje y por otro lado, se tiene que los “cometas” y supervisores trasladan primero a los operadores de equipos de producción y servicios y los operadores de perforadoras quedan esperados como última prioridad, de igual forma esta situación ocurre después del estado Colación.

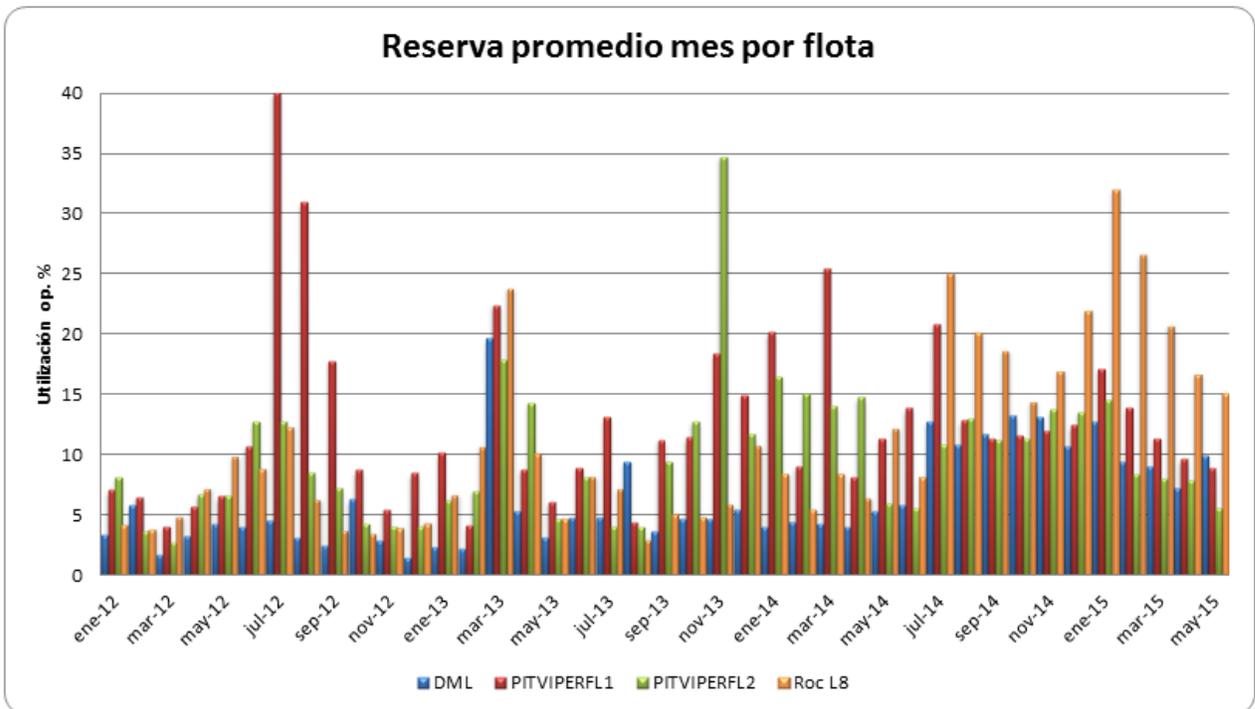


Figura 21 - Reserva mensual por flota

Desde el punto de vista de las tendencias, todas las flotas tienen un porcentaje de reservas con tendencia al alza en el tiempo, con pendiente más pronunciada para la ROC L8, no obstante, como complemento de la utilización operativa, esta tendencia se ha revertido el 2015.

El tener un mayor tiempo de reservas implica una menor cantidad de tiempo operativo y por consecuencia, una menor porción del tiempo disponible en que el equipo puede estar en tiempo efectivo, lo que nuevamente afecta la cantidad de metros que pueden ser perforados por día.

Si bien la tendencia en 2015 es a la baja y los valores de reservas se han estabilizado en el entorno del 7%, se puede observar que de acuerdo a los resultados de 2012 y 2013 hay espacios de mejora en torno a la reducción de este indicador, llevándolo bajo el 5%. Una elevada reserva es manifestación de no contar con la dotación suficiente, tener alto ausentismo y/o una flota sobredimensionada asociada a la baja confiabilidad de la mantención de los equipos.

### 3.2.1.4 UTILIZACIÓN EFECTIVA

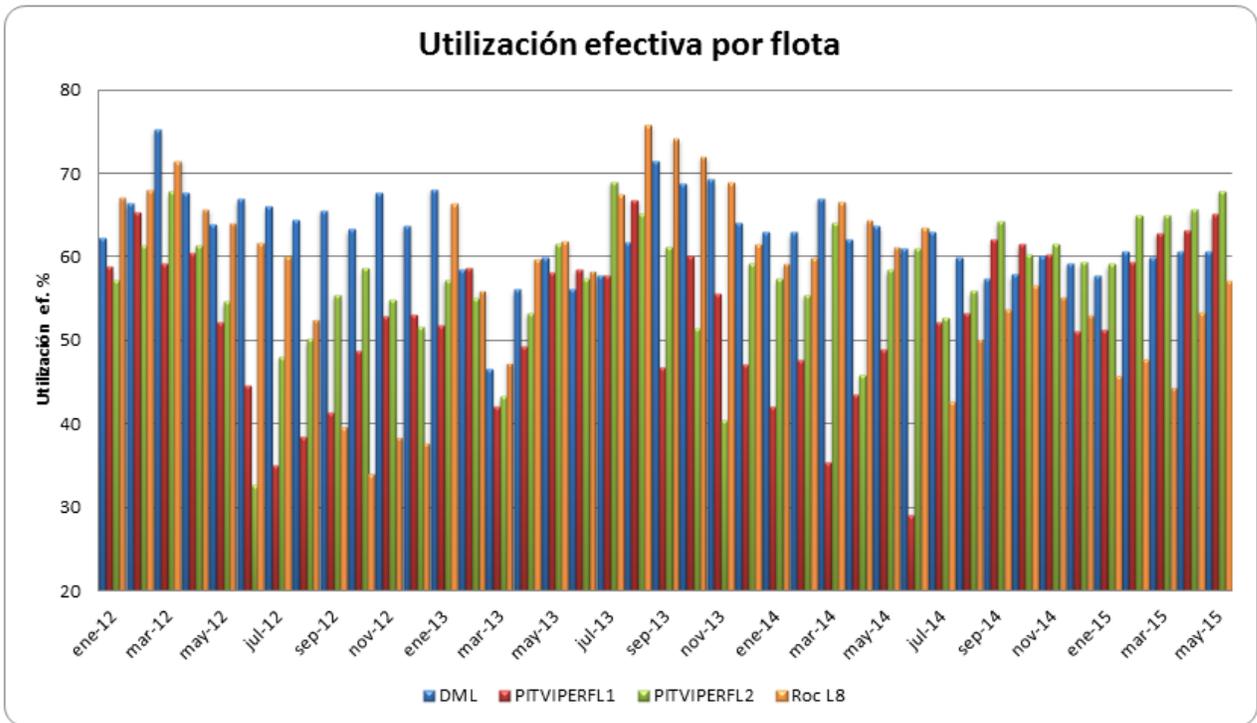


Figura 22 - Utilización efectiva promedio mes por flota

Se observa una tendencia al alza de la utilización efectiva en las perforadoras eléctricas, mientras que en las ROC y DML tiene una leve tendencia a la baja, no obstante todas las flotas han experimentado una tendencia al alza de este indicador en 2015, lo que muestra una mejora en la gestión, asociada a la disminución de reservas y demoras no programadas.

Cabe destacar, que la flota DML ha sostenido valores en torno al 60% en 2015 con baja variabilidad, por lo que es una flota con una operación controlada, lo que se asocia a la mayor versatilidad de estos equipos, comparado con las PITVIPER.

A continuación se muestran los valores promedios de la utilización efectiva para 2015 y el espectro de estudio

Tabla 6 - Utilización efectiva

Flota	UE % 2015	UE % 2012-2015
DML	61.6	62.7
PITVIPER 1	60.3	52.4
PITVIPER 2	64.5	57.2
ROC L8	49.8	57.7

Dado que la planificación considera una utilización efectiva de 58.9% en base disponible, se tiene que sólo las perforadoras de control pared no cumplen con lo planificado, mientras que las de producción se encuentran al menos 1.4 puntos porcentuales por sobre lo esperado.

### 3.2.1.5 DEMORAS NO PROGRAMADAS

Las demoras no programadas, como su nombre lo indica, no son algo planificado, sin embargo, de cierta forma, son explicadas en la utilización efectiva.

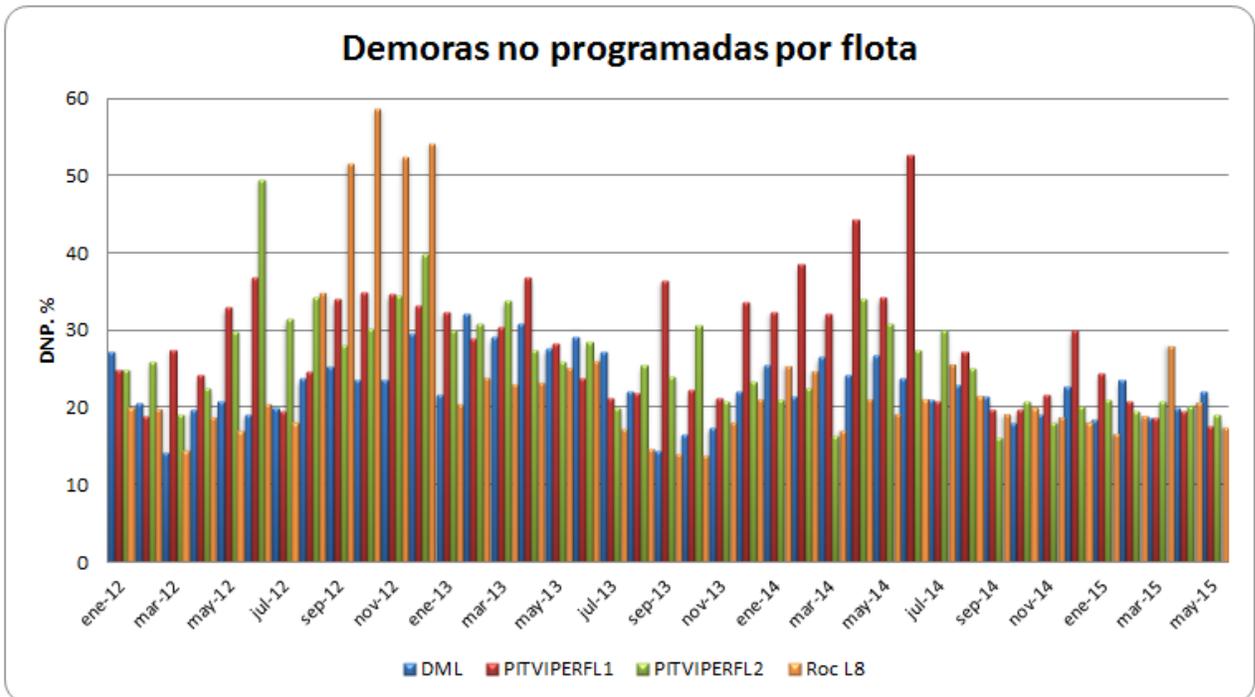


Figura 23 - DNP promedio mes por flota

Las demoras no programadas presentan una menor variabilidad a nivel mensual desde el 2° semestre de 2015, manteniendo en general, valores en torno al 20% en base disponible. A continuación se presenta un resumen del porcentaje de demoras no programadas en base disponible para 2015 y el periodo de estudio

Tabla 7 - Demoras no programadas

Flota	DNP % 2015	DNP % 2012-2015
DML	20.5	22.7
PITVIPER 1	20.1	28.2
PITVIPER 2	20.0	26.1
ROC L8	20.5	23.9

Disminuir el porcentaje de demoras no programadas a través de gestión permite aumentar la cantidad de tiempo efectivo y por lo tanto, generar mayor tiempo en que se realiza la labor para la que fueron diseñados los equipos, lo que tiene como consecuencia una mayor cantidad de metros perforados por día. Este punto es abordado más adelante en este documento.

Las demoras programadas se encuentran en un rango controlado entre 6 y 10%, por lo que no son un foco relevante para estudio

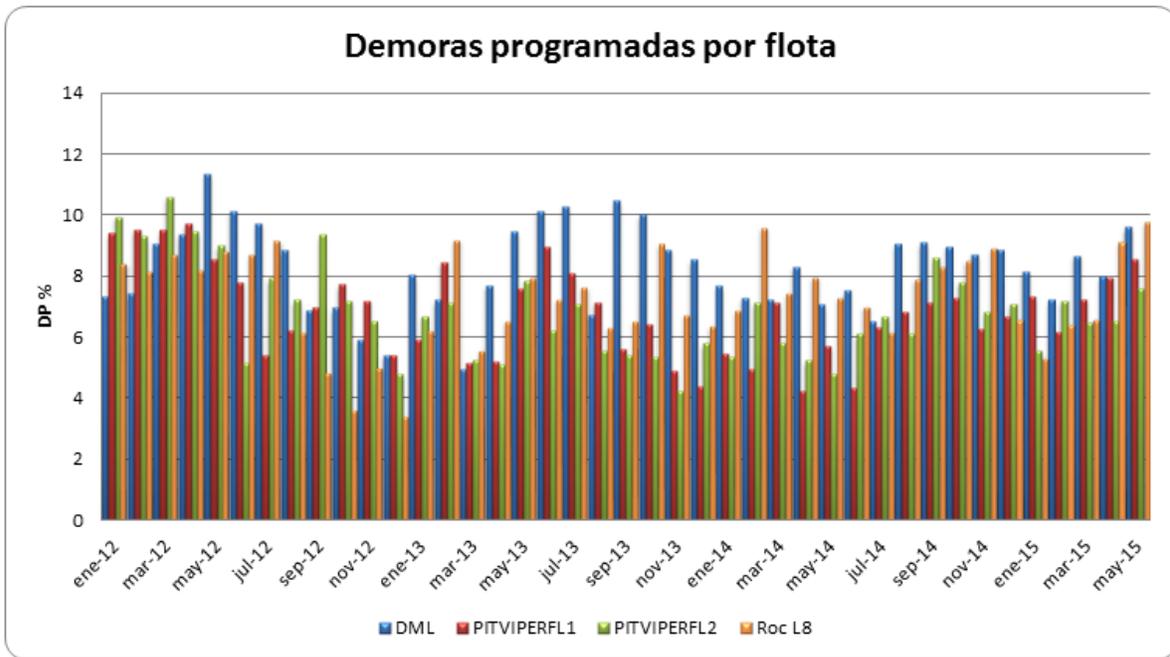


Figura 24 - Demoras programadas mensuales por flota

### 3.2.1.6 RENDIMIENTO

A nivel de rendimiento diario, se observa que tanto para sulfuros como para óxidos las 4 flotas de perforadoras tienen una distribución normal de los rendimientos, como se puede observar en las siguientes figuras

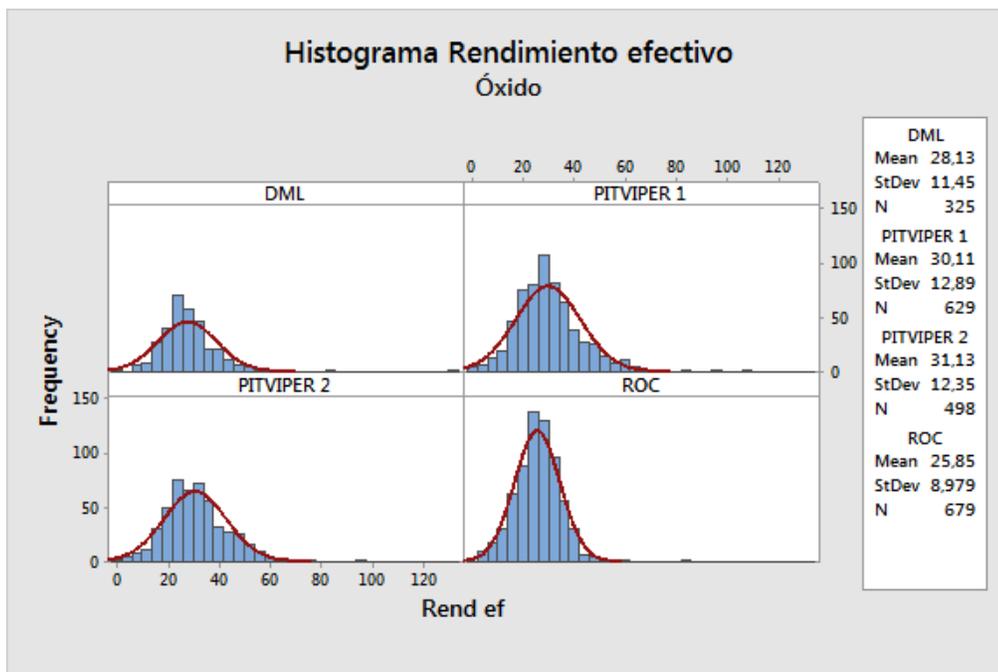


Figura 25 - Histograma rendimiento por flota en óxidos

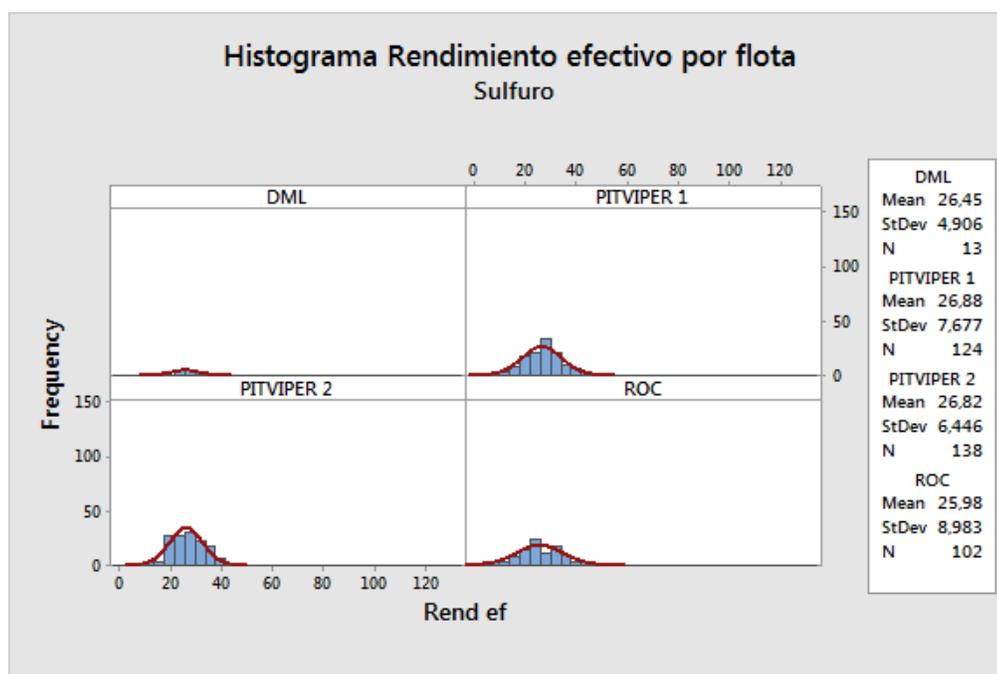


Figura 26 - Histograma rendimiento por flota en sulfuro

Para los meses estudiados se tienen los siguientes promedios para el rendimiento efectivo para óxidos por fase

Tabla 8 - Rendimiento efectivo promedio periodo estudio, óxidos

Flota	DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC L8
F16	21.8	24.5	23.7	24.1
F17	23.0	31.9	30.3	27.0
F18	28.3	34.1	31.2	27.7
F20	17.9	25.9	21.3	26.9
F21		42.5	38.9	23.3
F23	30.8	36.3	36.0	25.3
F26	24.,6			
Promedio	26.4	31.5	30.5	26.1

Y para sulfuros por fase

Tabla 9 - Rendimiento efectivo promedio periodo estudio, sulfuros

Flota	DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC L8
F31		15.2	27.0	24.5
F32		22.0	29.9	25.6
F34	26.5	28.3	27.0	26.9
Promedio	26.5	26.8	28.1	26.0

Como se puede observar en las tablas anteriores, el rendimiento efectivo real se encuentra por debajo de lo planificado y esto se debe principalmente a la dureza de la roca, a las estructuras del macizo rocoso y la *expertise* de los operadores. Los

rendimientos son al menos un 15% menor al esperado, por tanto, se tendrán menos metros perforados por día asociados a este efecto.

Los rendimientos para óxidos son superiores que para sulfuros y esto se debe a que los primeros son más superficiales y tienen dureza menor que los segundos, asociado a la condición de formación del pórfido cuprífero.

Sin embargo, para 2015 estos valores se ven incrementados como se muestra a continuación

Tabla 10 - Rendimiento efectivo promedio 2015

Flota	DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC L8
F18	29.0	26.1	25.7	28.0
F21		41.2	38.8	23.3
F26	24.6			
F34 (sulfuro)	26.5	29.2	26.8	31.1
Promedio óxidos	28.8	33.1	31.5	27.5

Un aumento en el rendimiento efectivo permite tener mayor cantidad de metros perforados por día y esto se puede esperar principalmente en F21.

Visto desde el punto de vista del rendimiento de metros por día en el tiempo, se tiene una tendencia al alza en la flota DML, así como en las flotas de perforadoras eléctricas, aunque estas últimas experimentan una menor pendiente de aumento.

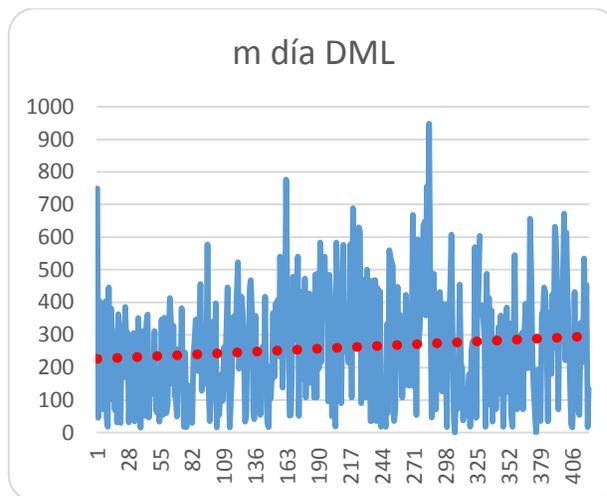


Figura 27 - m perforados por día DML

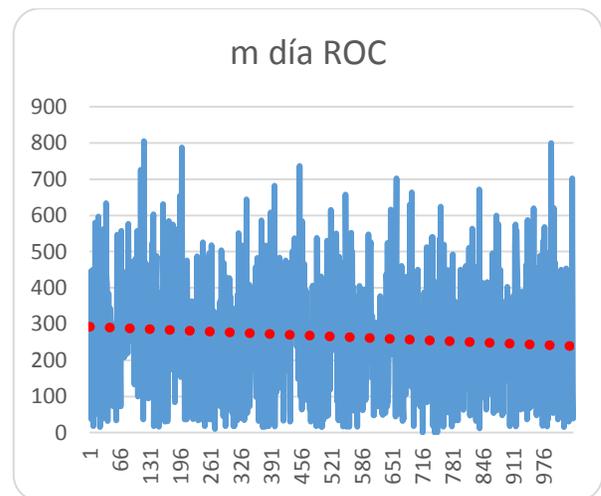


Figura 28 - m perforados por día ROC

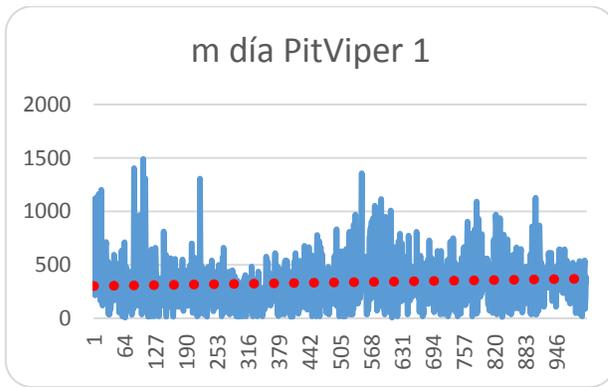


Figura 29 - m perforados por día PV1

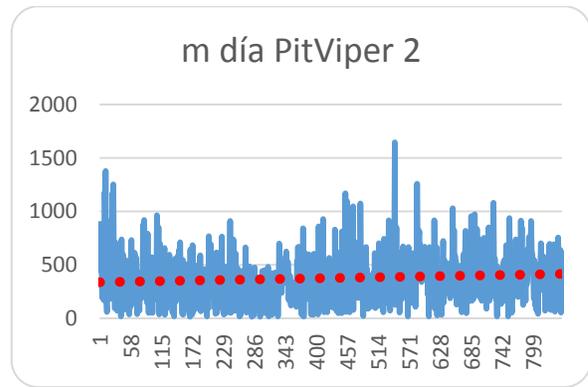


Figura 30 - m perforados por día PV 2

Por otro lado, las perforadoras de control pared muestran una tendencia a la baja en el rendimiento asociado a un mayor tiempo de cambio entre pozos y a la naturaleza de los minerales. El trabajo de control pared requiere cuidado para evitar incidentes operacionales, pues se está muy expuesto a la caja y si se tienen condiciones geotécnicas puede ser riesgoso y requerir que los operadores hagan de forma más lenta los procesos y mayores interrupciones asociadas al monitoreo geomecánico.

En promedio, para el espectro de tiempo de estudiado, el rendimiento diario está por sobre lo planificado para las flotas DML y PITVIPER 2, situación contraria para PITVIPER 1 y ROC, con diferencias de -1% y -12%, respectivamente. Este menor rendimiento diario, se ve asociado a mayores interferencias en la operación unitaria de perforación como lo son las demoras no programadas. De igual manera, se ve afectado por la disponibilidad de equipos y reservas.

### 3.2.2 DEMORAS NO PROGRAMADAS PRINCIPALES

De las 36 descripciones de demoras no programadas, se estudia el 20% de causas (~7) que explican al menos el 80% del tiempo

Para las perforadoras de producción se tiene que las principales demoras no programadas están dadas por

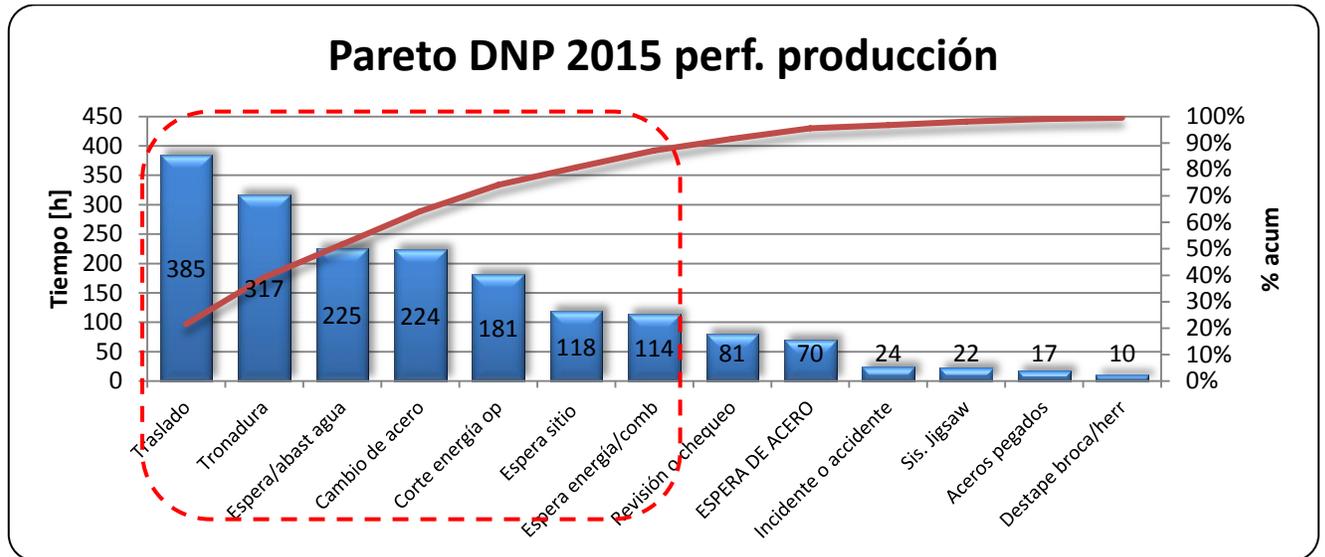


Figura 31 - Pareto DNP perforadoras de producción

Por otro lado, las demoras principales para las perforadoras de control pared son las siguientes

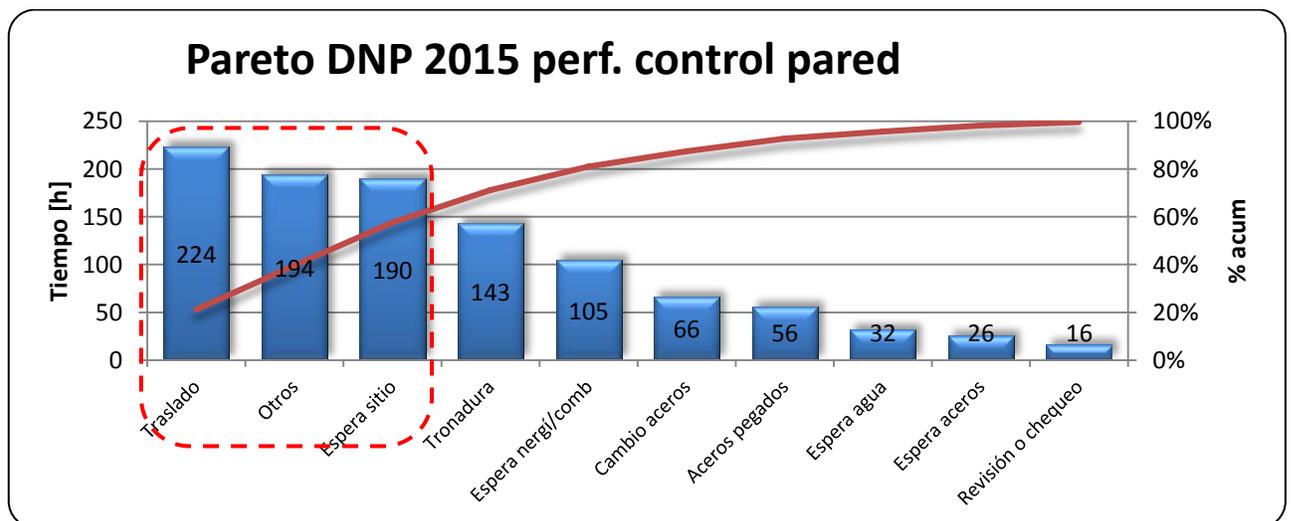


Figura 32 - Pareto DNP perforadoras control pared

A continuación se presenta la cantidad de demoras principales en base disponible por flota

Tabla 11 - Porcentaje demoras no programadas en base disponible

Flota	DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC L8
ABASTECIMIENTO DE AGUA		1.2%	1.0%	
CAMBIO DE ACEROS	1.8%	1.9%	3.4%	
CORTE ENERGIA NECES OPERAC		2.2%	2.8%	
ESPERA DE AGUA	3.9%			
ESPERA ENERGIA/COMBUSTIBLE	1.7%	1.0%		2.3%
ESPERA SITIO PARA PERFORAR		1.6%	1.1%	4.1%
OTROS			1.0%	4.2%
TRONADURA	3.8%	3.4%	3.2%	3.1%
TRASLADO	5.7%	3.7%	3.6%	4.9%
Total	16.9%	15.0%	16.1%	18.6%

### 3.2.2.1 **TRASLADO DE PERFORADORA**

Corresponde al tiempo en que un equipo se encuentra en movimiento desde un punto a otro, ya sea un cambio de banco y/o de fase. Cabe destacar que las perforadoras deben ser escoltadas para trasladarse y se realiza en tiempos 1:1, es decir, si el equipo se traslada 30 minutos, debe parar 30 minutos para evitar daño en las orugas, principalmente por sobrecalentamiento. Esta demora no es posible eliminarla, pues los equipos no pueden quedarse estáticos en un mismo punto, no obstante se puede reducir el número de traslados que debe hacer una perforadora en el mes y para ello se debe planificar de forma conjunta con operaciones, para tener en cuenta los recursos que se requieren para el traslado y no trasladar el equipo hasta que esté el patio listo para perforar, de manera que se eviten reservas y/u otras demoras.

En general, el traslado de equipos tiene una duración entre 0 y 1 hora para todos los equipos y en ambos turnos, como se puede observar en la Figura 33. No obstante, también es posible observar que si bien son menos frecuentes los traslados de 1 a 2 horas, representa el mayor porcentaje en tiempo del total de esta demora, por lo que sigue siendo relevante considerarlo como parte del estudio

Las perforadoras DML son más versátiles al ser diesel, lo que facilita su traslado pues no requieren recursos adicionales para realizarlo. La versatilidad en el traslado, además, permite que apoye a otro equipo de manera de terminar el polígono en menor tiempo o porque un equipo con alta prioridad queda fuera de servicio y es necesario terminar la labor de esa perforadora a la brevedad.

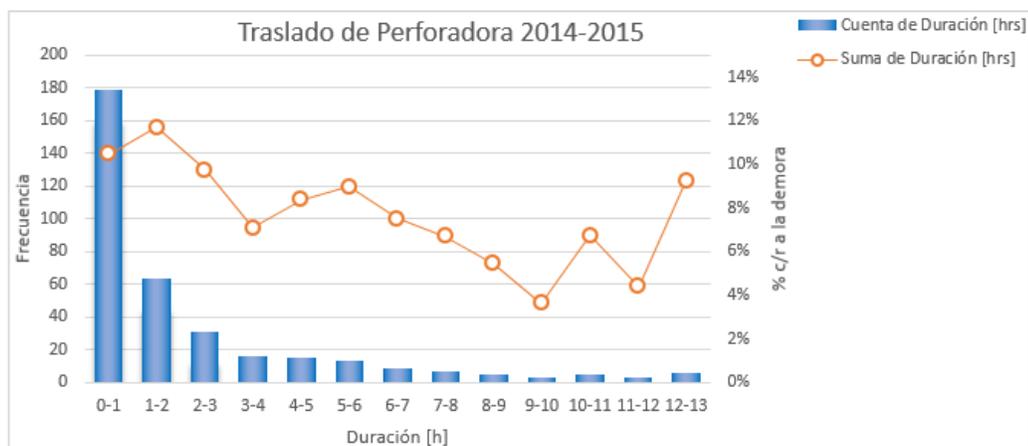


Figura 33 - Histograma traslado de equipos

Para reducir esta demora se propone utilizar un estándar como una lista de chequeo previa a cada traslado a fin de evitar gatillar otras demoras en ese equipo u otros equipos de la mina y optimizar las rutas con un diagrama de spaghetti.

### 3.2.2.2 TRONADURA

Incluye el tiempo de despeje, evacuación, tronadura y reincorporación del operador al equipo. En ocasiones parte de este tiempo es utilizado por colación, por lo que esta interferencia se ve reducida asociada a mejoras en la estrategia de su gestión

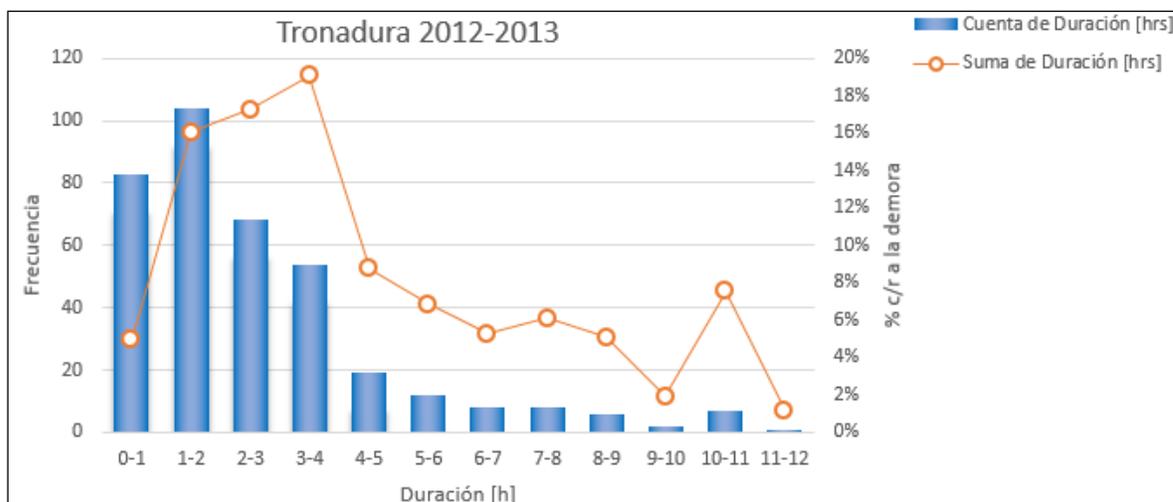


Figura 34 - Histograma Tronadura

Como se puede observar, los eventos con mayor frecuencia ocurren con duraciones entre 0 y 4 horas y de igual forma, corresponden a la mayor proporción respecto del tiempo total de esta demora, visto en tiempo.

Esta demora es compleja de manejar pues su impacto dependerá del radio de influencia de la tronadura, las zonas de evacuación, las distancias que debe recorrer el equipo para su evacuación, la cantidad de tiempo antes y después en que se evacúa a los operadores de perforación, asociado principalmente a la falta de recursos para

traslado de personas, así como también el tiempo antes y después del evento de tronadura en que las PITVIPER quedan desconectadas por dar prioridad al reabastecimiento de energía a los equipos de carguío.

En general, la evacuación de los operadores es realizada por el operador mayor, ingeniero de producción o ingeniero de tronadura, por lo que los perforadores deben esperar ya que no cuentan con camioneta propia para el traslado, esto genera aumento en los tiempos asociados a la tronadura.

### 3.2.2.3 ESPERA DE AGUA

Es el tiempo en que la perforadora se encuentra esperando que llegue el camión aljibe para el abastecimiento. Cabe destacar que muchas veces cuando el camión comienza el abastecimiento el operador no cambia el estado del equipo a “abastecimiento de agua”.

Cuando se asignado de forma correcta el estado del equipo se puede observar que los eventos de abastecimiento de agua son de corta duración (0-1 horas). El abastecimiento propiamente tal es imposible reducirlo a menos que se aumente el flujo para la carga, de lo contrario, será una actividad que no agrega valor, pero que es parte del proceso.

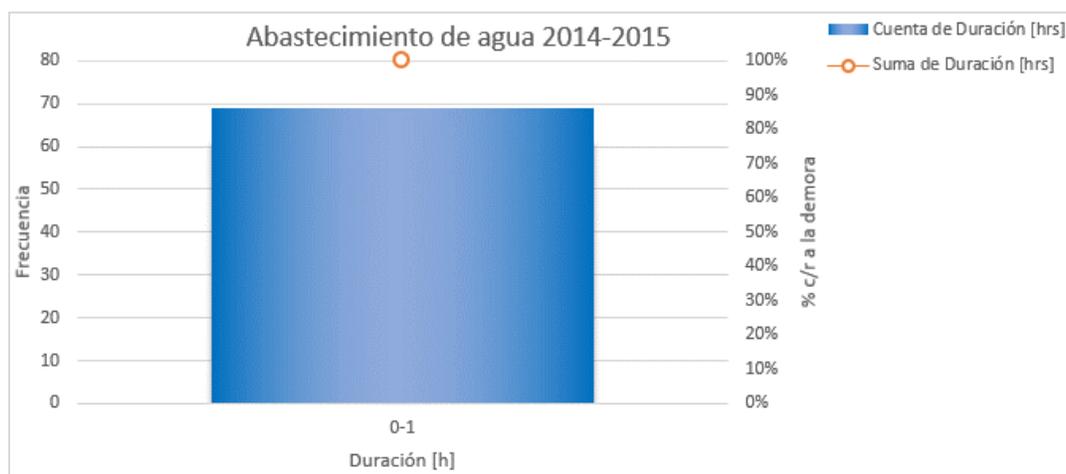


Figura 35 - Histograma de demora por abastecimiento de agua

La espera de agua es una pérdida que puede ser eliminada con una correcta coordinación con el operador, definiendo un porcentaje de estanque crítico, con el cual debe gatillarse si o si la carga de agua en la perforadora, para ello se define un estándar que permita evitar esta muda

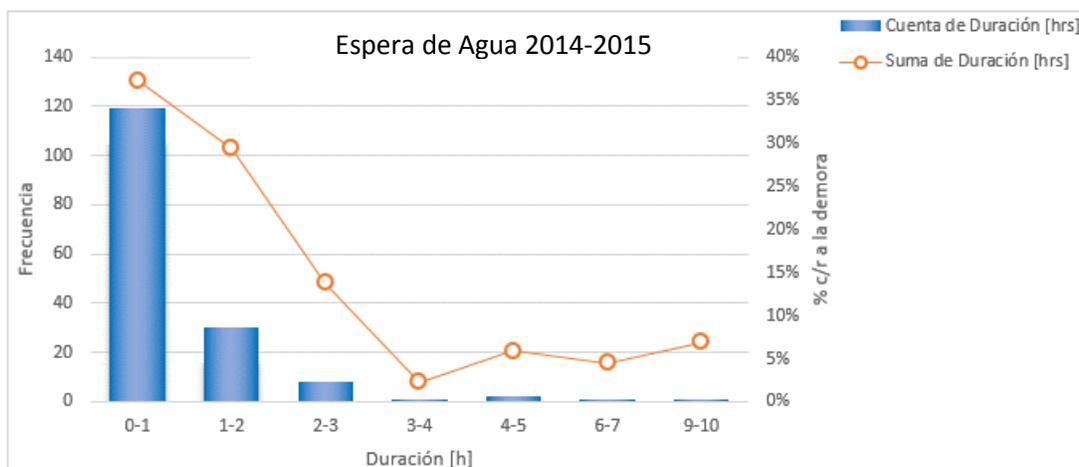


Figura 36 - Demora por espera de agua

### 3.2.2.4 CAMBIO DE ACEROS

Corresponde a cambio de componentes de desgaste como triconos, barras, etc. Esta demora sólo se puede mejorar si se previenen anticipadamente los cambios y se tienen todos los recursos necesarios

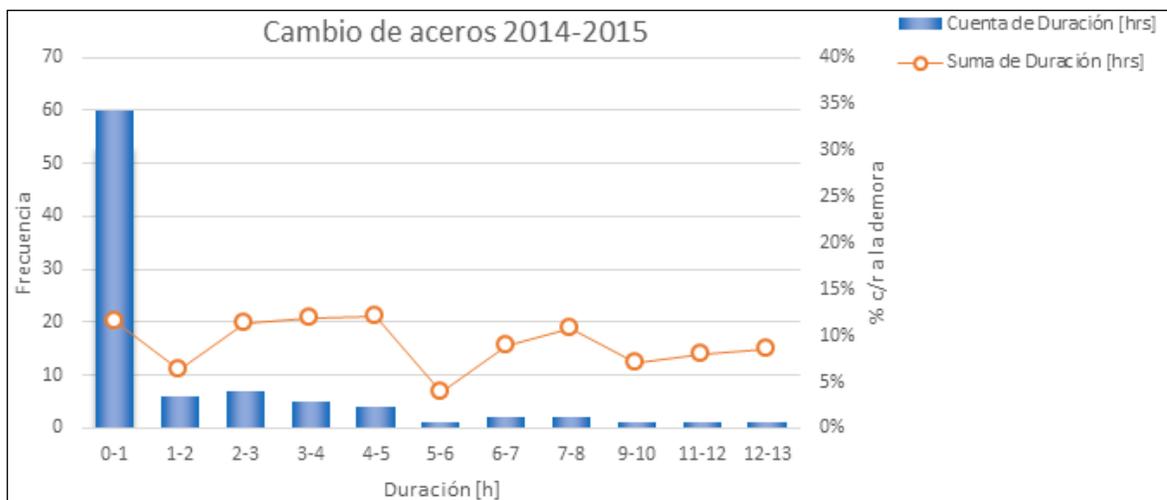


Figura 37 - Histograma cambio de aceros

Esta demora en general tiene una mayor frecuencia en eventos que duran menos de 1 hora. Esta DNP es una actividad propia del proceso, pese que no agregue valor. La única forma de disminuirla en términos globales es enfocarse en los eventos sobre las 5 h de duración

### 3.2.2.5 CORTE ENERGÍA NECESARIA POR OPERACIÓN

Esta demora sólo afecta a perforadoras eléctricas y tiene que ver con la desenergización del equipo debido a un movimiento en el cable de otra perforadora o pala o bien por la reubicación de cajas eléctricas. Esta demora no se podrá eliminar del proceso, sin embargo, sí se pueden eliminar los eventos sobre 6h pues en general,

estos ocurren por una mala planificación de los recursos necesarios para desempeñar la labor.

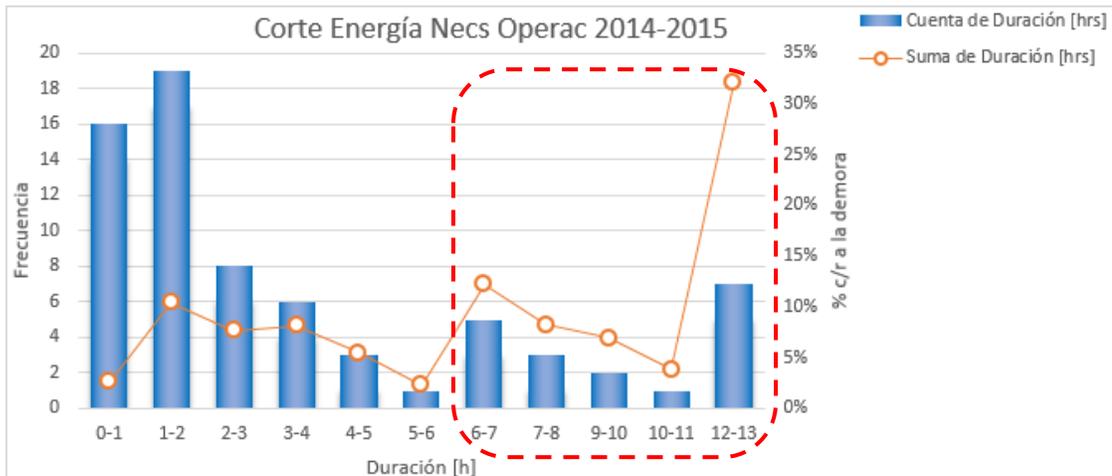


Figura 38 - Histograma corte energía necesaria para la operación

Como se puede observar en la figura anterior, esta demora tiene una mayor frecuencia con duraciones entre 0 y 2 horas, sin embargo, las duraciones sobre 6 h pese a ser menos frecuentes, representan en el tiempo total de la demora una mayor proporción.

### 3.2.2.6 ESPERA SITIO PARA PERFORAR

La espera de sitio para perforar por definición es cuando la perforadora queda sin espacio para seguir perforando y no tiene designado otro lugar, sin embargo, en esta descripción muchas veces es confundida por los operadores con otros estados como: falta marcación, demora por sello, espera por estacas, por lo que espera sitio para perforar absorbe en parte los tiempos de estas descripciones. En resumen, este estado es usado principalmente cuando no hay espacio (patio de perforación) así como cuando no se ha limpiado el sitio que es asignado para que la perforadora trabaje. Esta muda es posible hacerla tender a cero con una correcta planificación de actividades y comunicación entre las áreas que interactúan: área de perforación, empresa eléctrica, topografía, servicios mina, planificación de corto plazo, etc.

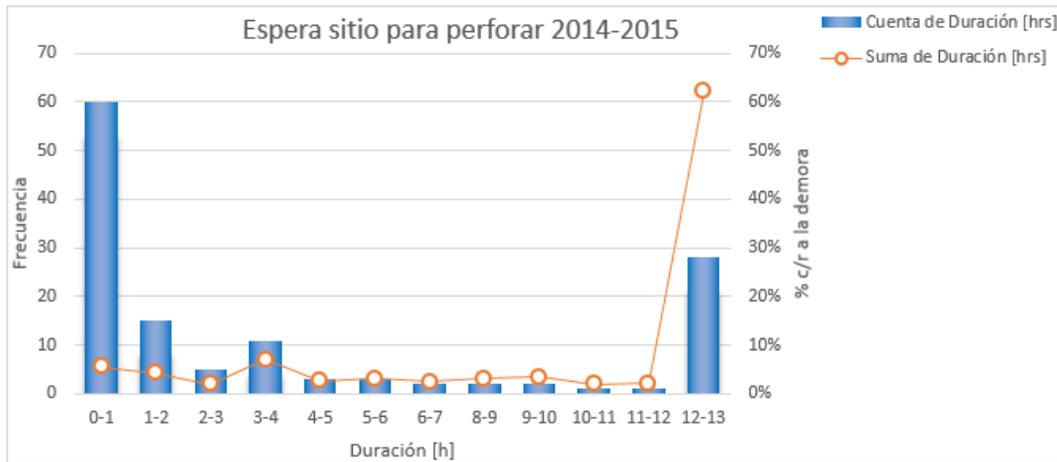


Figura 39 - Histograma espera sitio para perforar

En la espera de sitio para perforar la mayor cantidad de eventos se encuentra en las duraciones de 0 a 1 hora, sin embargo, existe una cantidad no menor de eventos de espera entre 12 y 13 h, que significa sobre un 60% del tiempo de esta demora, como se muestra en la Figura 39, por lo que se debe poner como foco eliminar las demoras de espera de sitio para perforar que mantienen el equipo sin operar por un turno o más tiempo, pues esta muda tiene un efecto en reducir la utilización efectiva, generando una alta variabilidad en el proceso, lo que podría evitarse con un estándar de operación.

### 3.2.2.7 ESPERA ENERGÍA/COMBUSTIBLE

Esta demora para combustible afecta a flota DML y ROC y ocurre cuando el equipo está esperando la llegada del camión de combustible para ser abastecido. Por otro lado, la espera de energía se tiene principalmente cuando la perforadora eléctrica llega a una nueva postura y no están coordinados los recursos para su energización, no obstante, muchas veces es imputada esta demora post tronadura o se confunde con la demora por corte energía necesaria por operación.

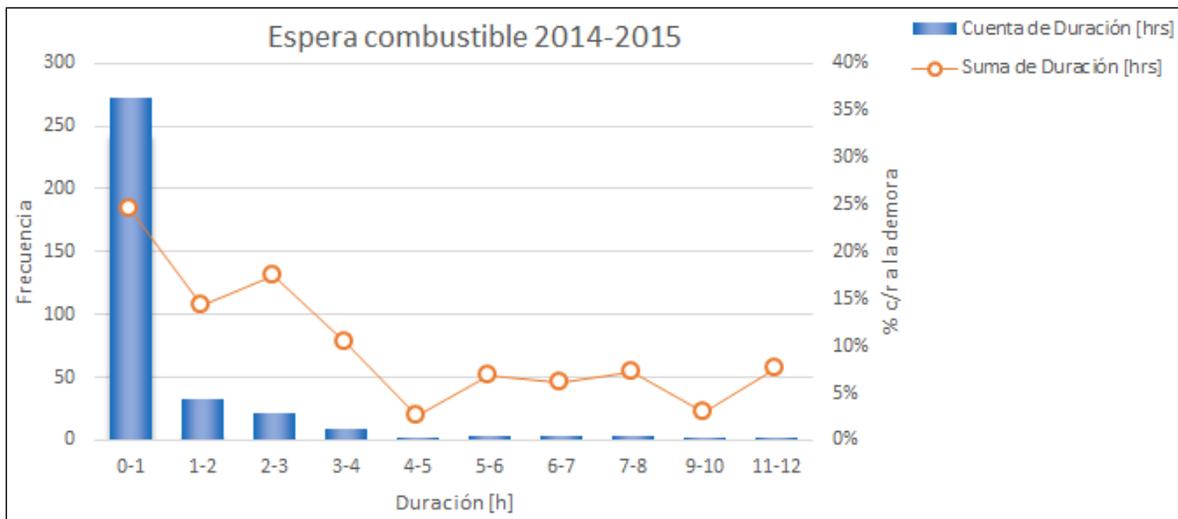


Figura 40 - Histograma espera combustible y energía

Como se puede observar en la figura anterior la mayor parte de los eventos a nivel de frecuencia, tienen una duración menor o igual a 3 horas, sin embargo, en su mayoría son menores a 1 h.

Contando con una correcta planificación esta demora puede ser reducida e incluso eliminada. Para ello al igual que en el caso de otras demoras, se establecerá gestión visual y estándares para su minimización

### 3.2.2.8 OTRAS DEMORAS

En la categoría otros, se tiene una descripción amplia de demoras que por baja frecuencia de ocurrencia o su poca duración no son suficientes para ser descrito como opción, por lo que pueden ser múltiples las causas que quedan en “otros”

En efecto, la demora “otros” tienen la mayor frecuencia de eventos agrupados entre 0 y 1 h, como se muestra en la figura de más abajo, adicionalmente como se puede observar, esta demora tiene una menor frecuencia que las demoras antes descritas.

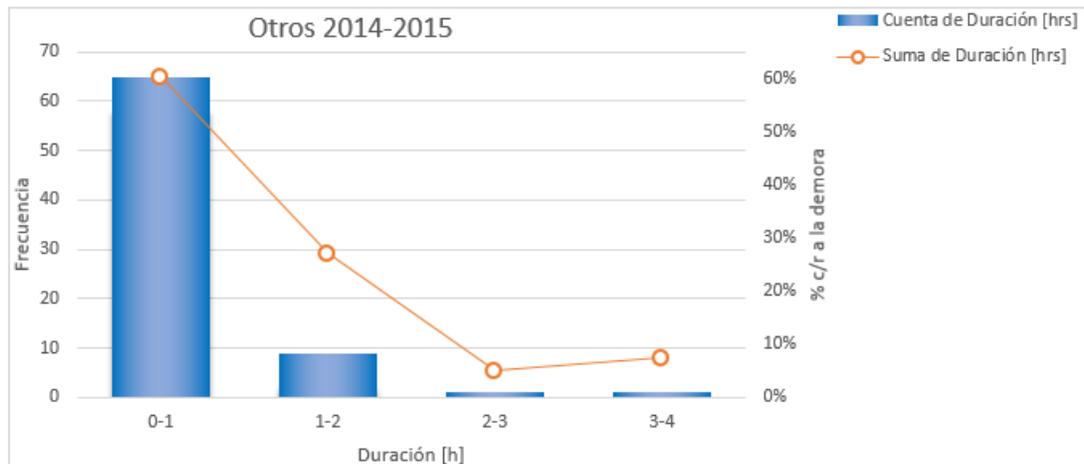


Figura 41 - Histograma demora no programada “otros”

En el caso de los incidentes o accidentes, la mayoría se encuentra entre 12 y 13 h para 2012 y 2013, mientras que para el periodo 2014 y 2015 se encuentra al igual que las otras demoras entre 0 y 1 h.

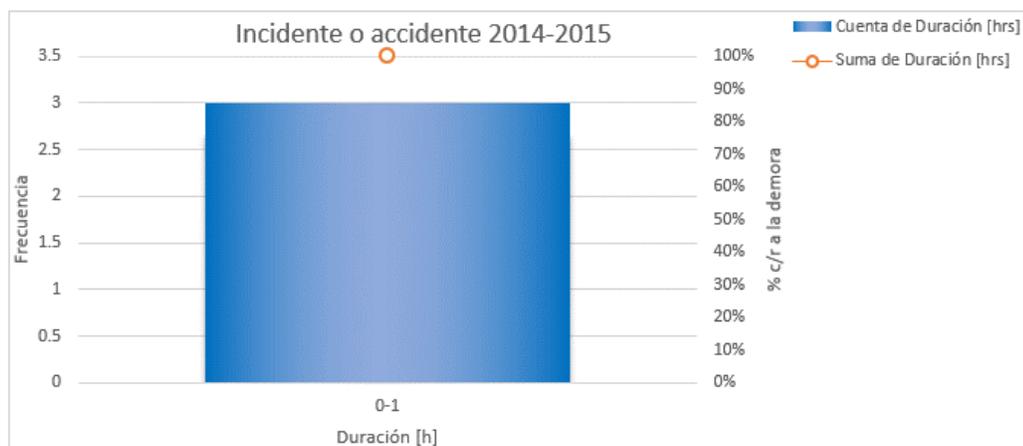


Figura 42 - Histograma demora Incidente o accidente

Si se agrupan las demoras principales, la espera de agua, espera de energía/combustible y espera de sitio para perforar pueden categorizarse de forma conjunta, pues con adecuada planificación de tareas y asignación de recursos éstas pueden ser gestionadas para ser minimizadas, incluso a su eliminación. Si éstas demoras se eliminaran y considerando los resultados sólo de marzo y mayo 2015, se tendrían sobre 4,000 m de pozos de producción por mes y sobre 4,000 de control pared, en total de 7,980 m sólo por concepto de la eliminación de 3 demoras asociadas a esperas, contribuyendo en el aumento de al menos 1,1% la utilización efectiva a un máximo de 6,4% dependiendo de la flota, que traducido en la producción mensual significa un 13% más de m de control pared y un 4% de m de perforadoras de producción

Si el total de tiempo de demoras no programadas se redujera en un 20% por flota, se tendría un aumento de un 5% de m de producción mensuales y un 7% de m de control pared, lo que equivale a sobre 7,000 m mensuales en total.

Es decir, si se eliminan las demoras asociadas a esperas o bien se tiene como meta reducir en un 20% las demoras no programadas totales, se obtienen resultados similares en el aumento de metros perforados a nivel mensual, mejorando los resultados de productividad, estimación de leyes de polígonos a ser cargados y resultados a nivel de costos, pues se tiene un efecto de economía de escala, es decir, a mayor cantidad de metros perforados, mayor es el gasto, debido a mayor nivel de actividad, no obstante, se reduce el costo tanto a nivel de operación como de proceso global.

### 3.3 EVALUACIÓN MODELO ACTUAL DE PLANIFICACIÓN

La primera hipótesis de este trabajo es que se necesita de una nueva metodología de cálculo o de planificación para estimar la producción de las flotas de perforadoras, motivo por el cual se calculan los metros con (23) utilizando los indicadores reales obtenidos ese mes (disponibilidad, utilización efectiva, rendimiento efectivo), contrastando con los metros reales obtenidos, como se muestra a continuación

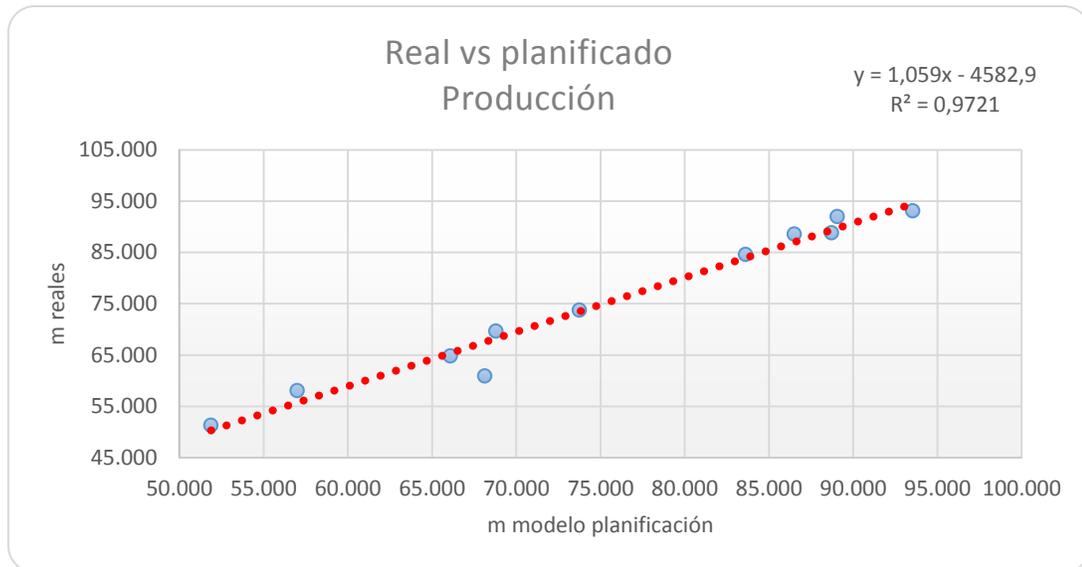


Figura 43 - Ajuste de modelo de planificación para perforadoras de producción

Se considera según el modelo de planificación que un 14% de los metros de producción se realizan con flota DML y el 86% restante lo realizan perforadoras PITVIPPER, sin embargo, en la realidad la distribución fue de un 16% y 84%, respectivamente, lo que genera una diferencia entre planificado y real de un 0,2%.

De acuerdo a lo anterior y a lo presentado en 3.2 se puede concluir que el modelo de planificación se ajusta de muy buena forma si es que se utilizan los correctos parámetros de entrada, teniendo un 10,6% de sobrestimación a un 2% de subestimación, como se muestra a continuación

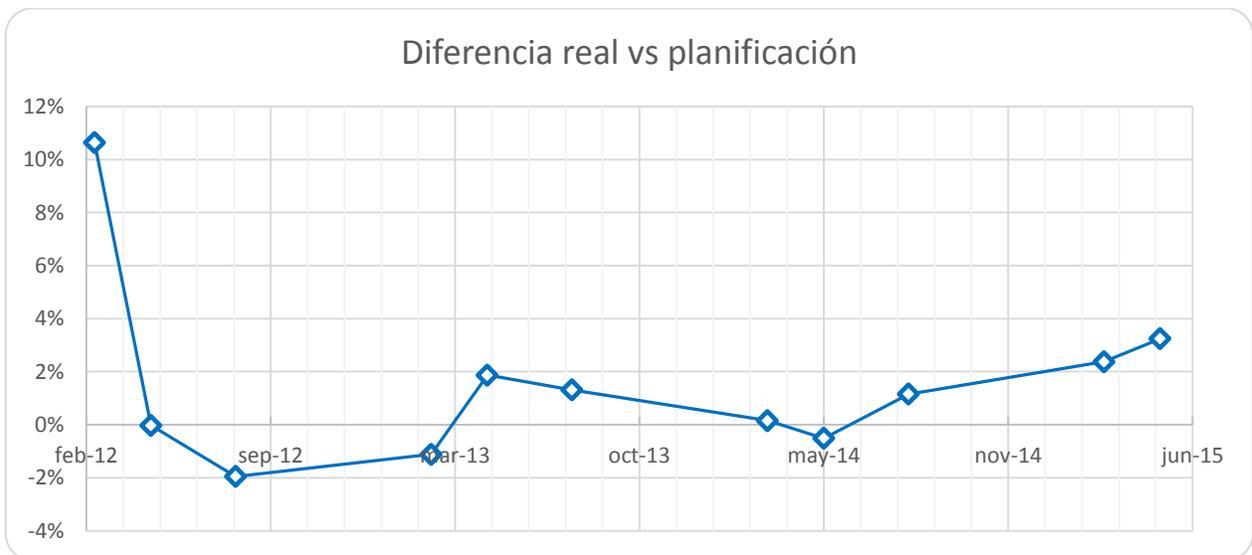


Figura 44 - Diferencia entre modelo de planificación y real para perforadoras de producción

De igual forma, se evalúa el modelo de planificación para la flota de control pared (ROC-L8), obteniéndose un mejor ajuste que para las perforadoras de producción, con una sobrestimación de cerca de un 6% y una subestimación entorno al mismo valor, como se muestra a continuación

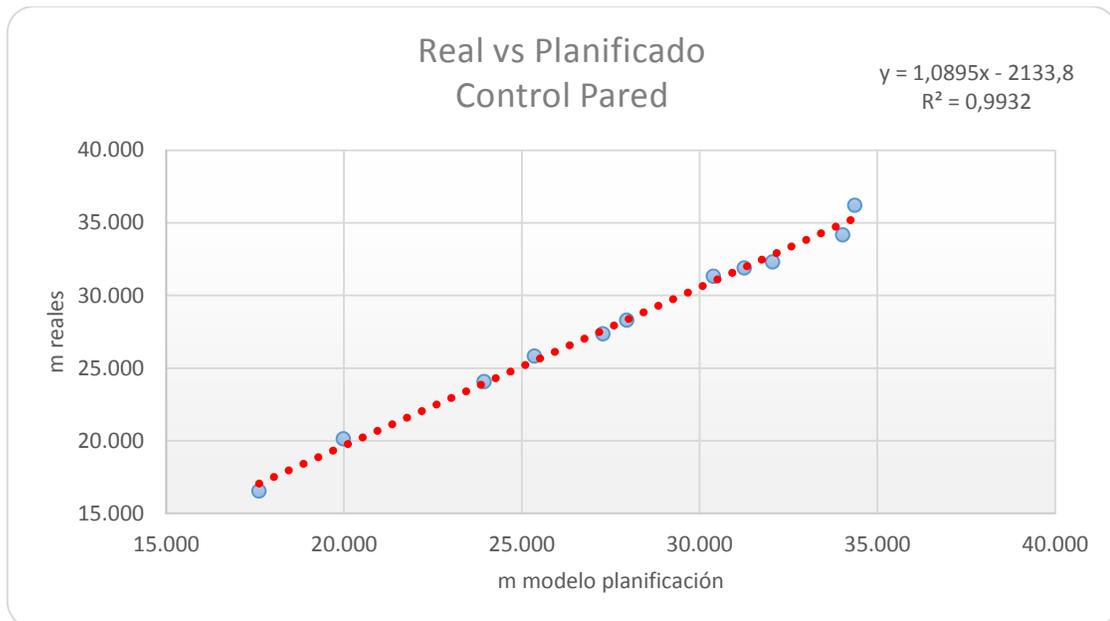


Figura 45 - Ajuste de modelo de planificación para perforadoras de control pared

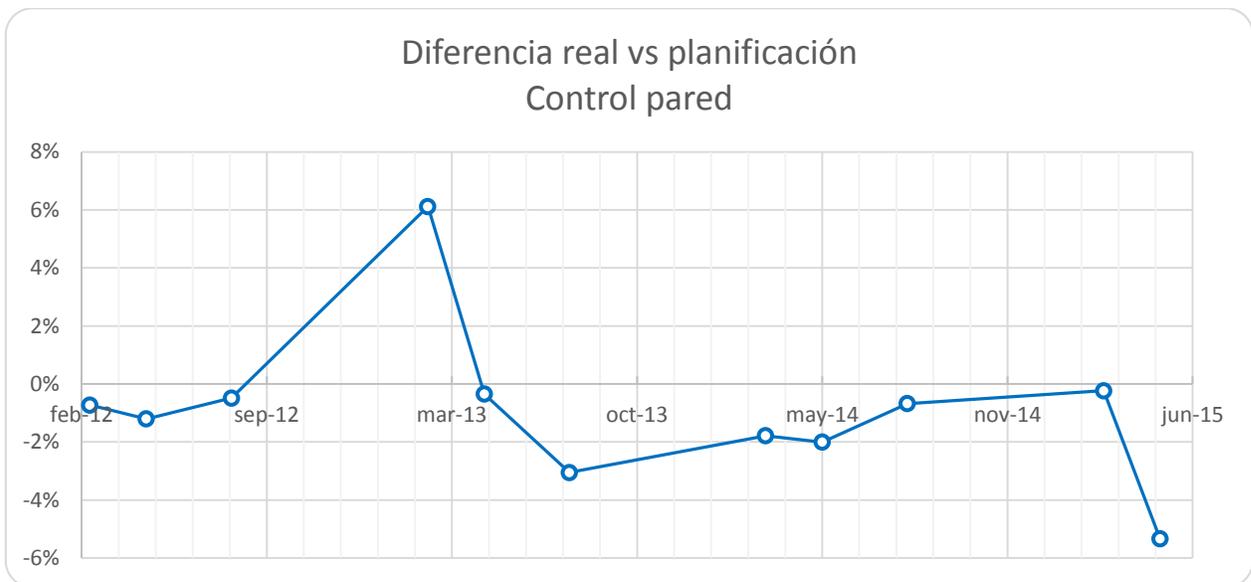


Figura 46 - Diferencia entre modelo de planificación y real para perforadoras de control pared

Se colige por tanto, que no es necesario un nuevo modelo para el cálculo de la producción de las perforadoras o de cálculo de flota, más bien es necesario incorporar a la metodología de cálculo la variabilidad de los *inputs* del modelo. En particular, se tiene

- El rendimiento efectivo (m/hef) depende principalmente de: tipo de equipo, tipo de malla (tiempos de cambio de pozo) y tipo de roca (dureza)
- Utilización efectiva (%UEBD) incorpora todas las interferencias que tiene el equipo de perforación, a través del tiempo de demoras no programadas como son: traslado de equipo, espera de agua, combustible o energía, tronadura, entre otras.
- La disponibilidad depende principalmente de la programación por parte de mantenimiento, así como la confiabilidad de los equipos. En general, para esta variable se utiliza un valor entregado por mantenimiento que se conoce como “disponibilidad ofertada”, sin embargo, es posible incorporar la variabilidad según el estudio estadístico histórico para las distintas flotas de perforación a fin de definir una banda de valores. No obstante, en este trabajo sólo se considerarán como valores ciertos las disponibilidades ofertadas.

### **3.4 ESTUDIO DE VARIABLES RELEVANTES Y SUS RELACIONES**

---

Es claro que para obtener una mayor productividad de las flotas de perforadoras en un determinado espectro de tiempo, se requiere un maximizar el tiempo efectivo y por ello estudiar los indicadores operacionales es clave, pues agrupan o relacionan los tiempos en determinado estado de los equipos. De esta forma se espera que la disponibilidad física y la utilización efectiva sean directamente proporcionales y de manera que el tiempo en que el equipo puede operar, lo está realizando. A partir del Gráfico dispersión disponibilidad versus utilización efectiva se observa que sólo en los equipos PE107, PE115, R04 y R05 hay una relación directamente proporcional, mientras que en los equipos PE110, PE114 y R01 no existe una tendencia clara entre ambas variables.

Mientras mayor es la disponibilidad física, menor es el tiempo fuera de servicio y por lo tanto, hay una mayor posibilidad que el equipo esté en tiempo efectivo. No obstante, muchas veces se puede observar en la operación que la utilización efectiva es inversamente proporcional a la disponibilidad es decir, cuando la disponibilidad tiene a disminuir, la utilización efectiva tiende a subir y viceversa, lo que en términos generales, en el caso de que aumente la disponibilidad y disminuya la UE, la gestión tiene espacios de mejora, lo que se ve en los equipos PE108, PE109, PE111, PE112, PE113, R02 y R03.

Por lo tanto, un 55% de las perforadoras de producción tiene un espacio de mejora en términos de gestión del uso de los recursos, es decir, siempre que se encuentren disponibles sean utilizados. En el caso de las perforadoras de control pared el porcentaje es un 40%, sólo considerando aquellos equipos que tienen una relación inversamente proporcional entre la disponibilidad y la utilización efectiva.

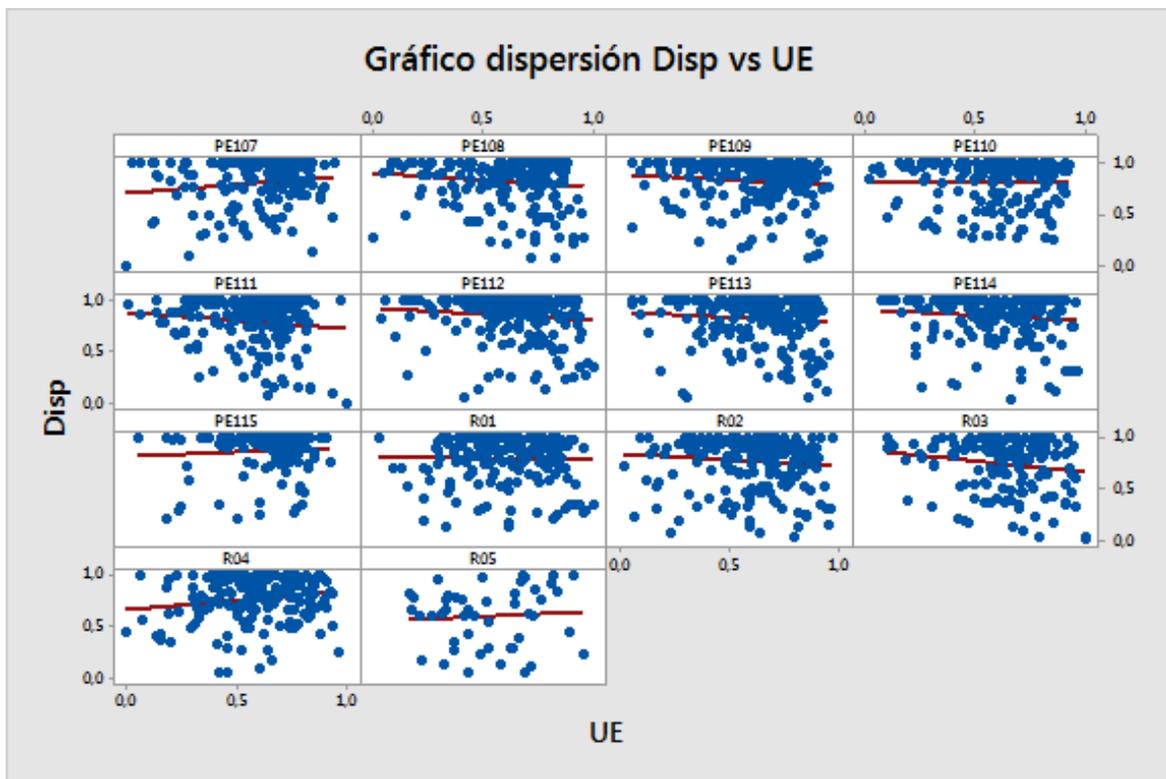


Figura 47 - Gráfico dispersión disponibilidad versus utilización efectiva

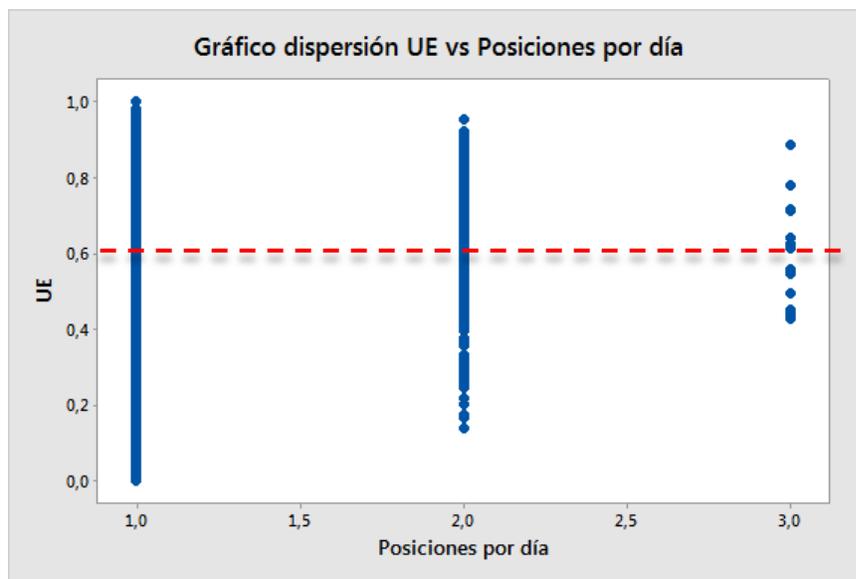


Figura 48 - Gráfico de dispersión utilización efectiva versus número de posiciones por día

A partir de la figura anterior, es posible establecer que cuando un equipo se encuentra en una ubicación (fase, banco) por día, existe una alta variabilidad en los resultados de la utilización efectiva, mientras que al aumentar el número de posiciones, se tiene un acortamiento en la banda de valores obtenidos, asociados principalmente a que se reduce la UE por los traslados de equipos asociados. No obstante, pese a tener 2 o 3 posiciones distintas un mismo día se llega a UE sobre un 60%. Esto se puede a

deber a que es un traslado corto dentro de una misma fase, sin embargo, son valores que pueden haber sido manipulados para mejorar el indicador, pero el efecto será observado en el rendimiento efectivo, como se puede observar en la figura de a continuación, cuando se tiene 1 o 2 posiciones, se tiene una razón inversamente proporcional entre el rendimiento y la utilización efectiva, por lo que se puede sospechar de los valores sobre 75%, mientras que en el caso de 3 posiciones la razón es directamente proporcional, por lo que los valores no han sido adulterados a fin de conseguir mejores indicadores.

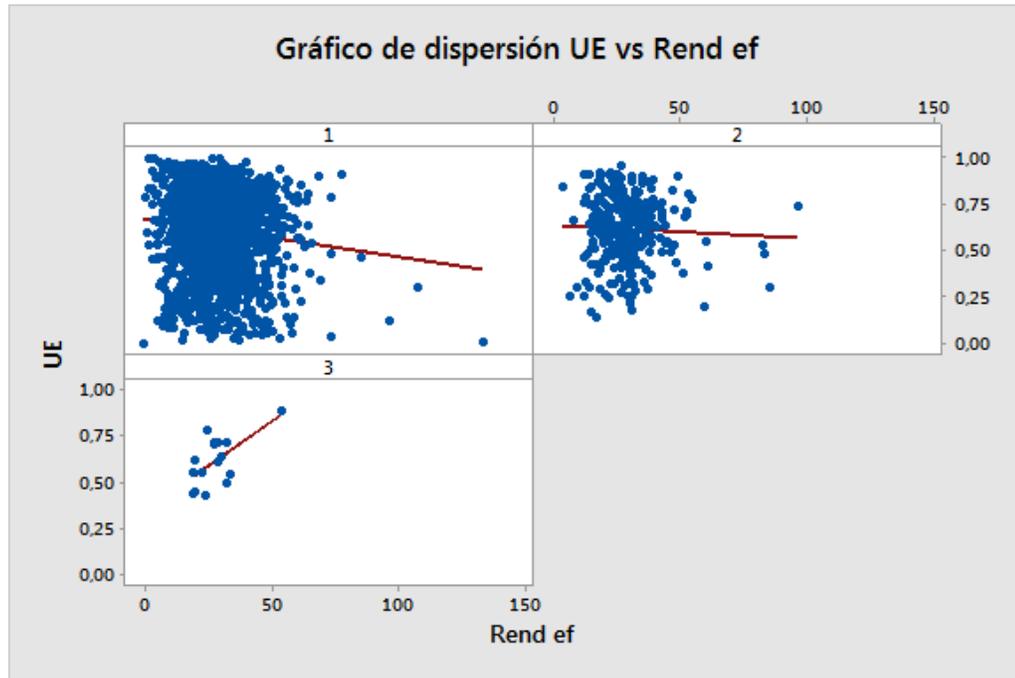


Figura 49 - Gráfico de dispersión de utilización efectiva versus rendimiento efectivo por cantidad de posiciones en el día

Por otro lado, la UO refleja el tiempo en que el equipo está disponible y no está en reserva. Una alta reserva puede relacionarse con un elevado tiempo de traslado de los operadores asociada a una baja disponibilidad de transporte para zonas alejadas donde se encuentran trabajando las perforadoras. Otra arista puede ser una cantidad insuficiente de operadores para cumplir con los requerimientos, lo que a su vez tiene una causa raíz en el alto ausentismo o bien en una dotación menor a la presupuestada.

En el Gráfico dispersión entre utilización operativa y efectiva muestra para todos los equipos tienen una relación directamente proporcional, sin embargo, en los equipos PE108, PE109 y PE113 la pendiente de la correlación entre las variables es poco pronunciada, esto significa que a pesar de que el equipo se encuentre operativo existe una mayor cantidad de pérdidas que en el resto de los equipos, lo que impide transformar una parte significativa del tiempo operativo en tiempo efectivo, por lo tanto, hay oportunidad de mejora.

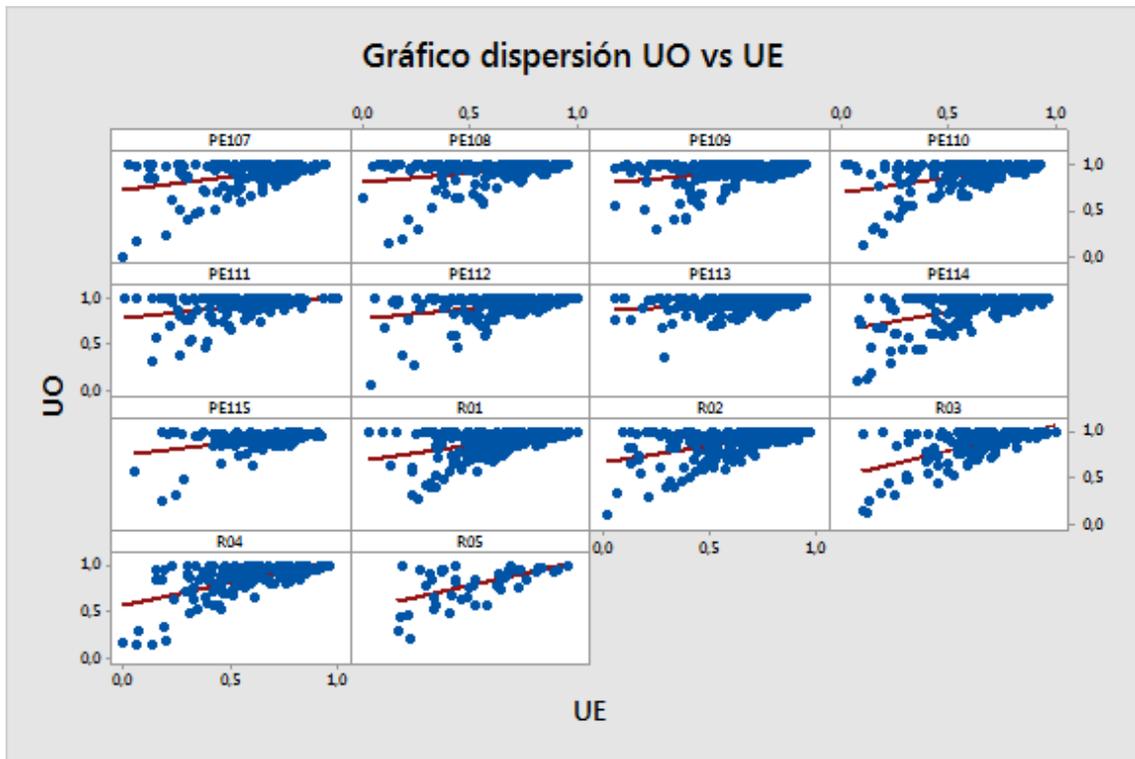


Figura 50 - Gráfico dispersión entre utilización operativa y efectiva

A partir de la siguiente figura es claro que a mayor demoras no programadas, menor es la utilización efectiva, por tanto, tienen una relación inversamente proporcional.

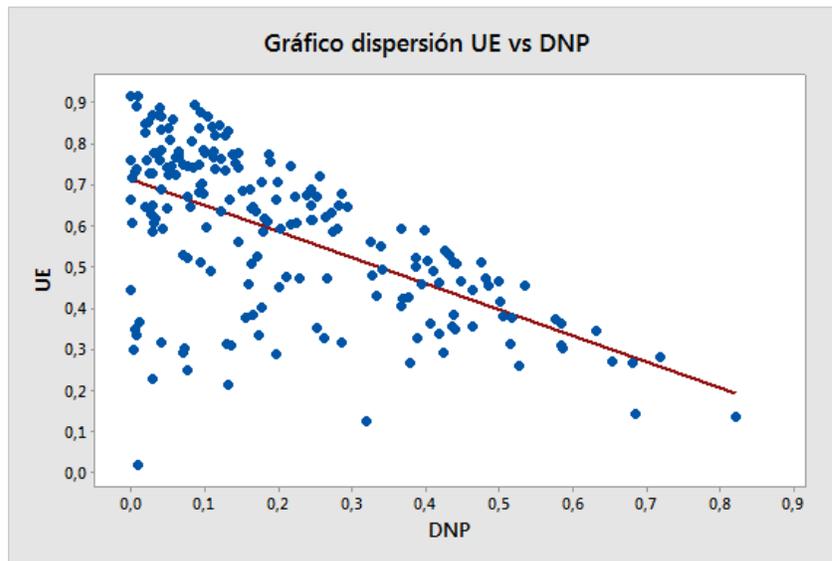


Figura 51 - Gráfico dispersión UE vs DNP

De igual forma, se tiene que la UE es inversamente proporcional con la cantidad de equipos en una frente o banco, pues a mayor cantidad de equipos mayores son las

interferencias, se ven incrementadas las DNP y por tanto, reducida la utilización efectiva, como se muestra a continuación

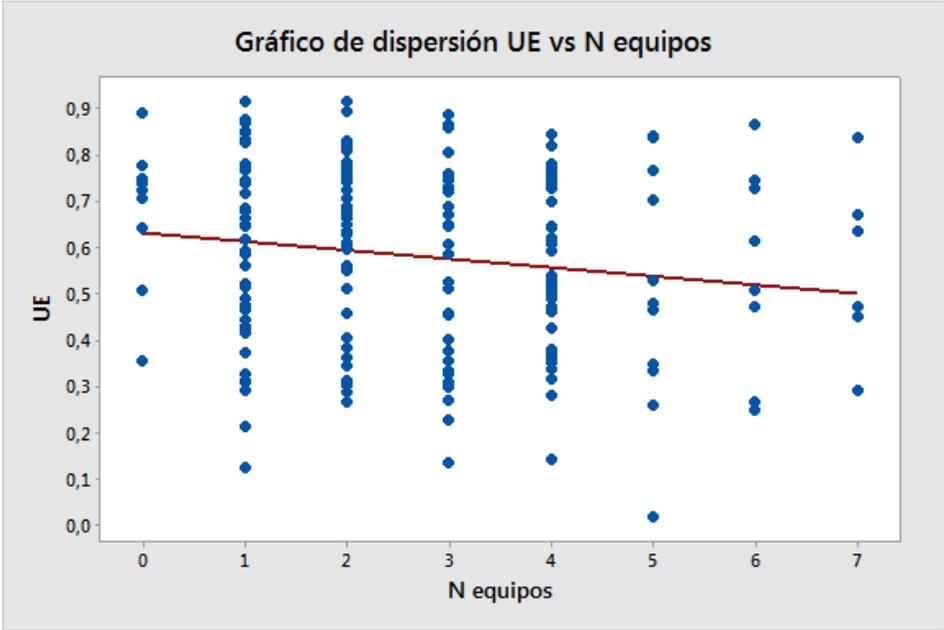


Figura 52 - Gráfico dispersión UE vs número equipos por frente

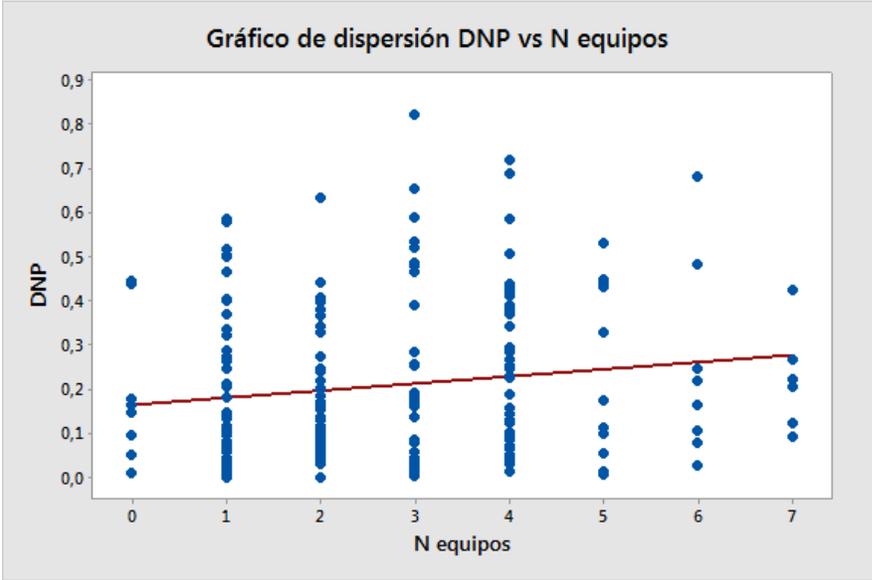


Figura 53 - Gráfico dispersión DNP vs número de equipos por frente

Además, se puede observar independiente de la cantidad de equipos por frente, se tiene distribuciones similares en la utilización efectiva de los equipos de producción, no obstante, el promedio en general se va reduciendo al incrementar la cantidad de equipos en la frente.

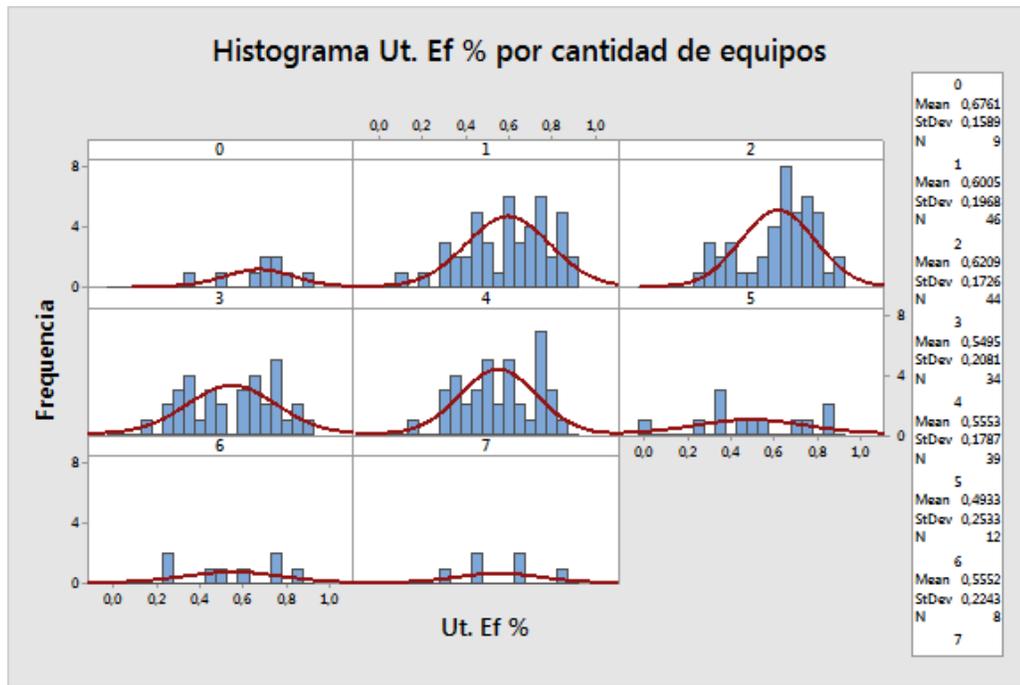


Figura 54 - Gráfico distribución UE por cantidad de equipos por banco

Respecto a las variables de diseño que obviamente no se encuentran agrupadas en indicadores operacionales, por lo que es necesario establecer relaciones con la productividad.

En la Figura 55 se puede observar que hay una relación directamente proporcional entre el ancho equivalente y la productividad diaria, esto asociado principalmente a que a mayor ancho equivalente, la malla de perforación es más amplia y por lo tanto, se reducen las demoras no programadas como lo son la espera de sitio para perforar, traslados, entre otras, ya que el equipo permanece un mayor tiempo realizando labores que agregan valor y permite que en ese tiempo se pueda programar o planificar de mejor tiempo las actividades asociadas a demoras de manera de minimizar su prolongación y por tanto, obtener mejores utilizaciones efectivas de los activos.

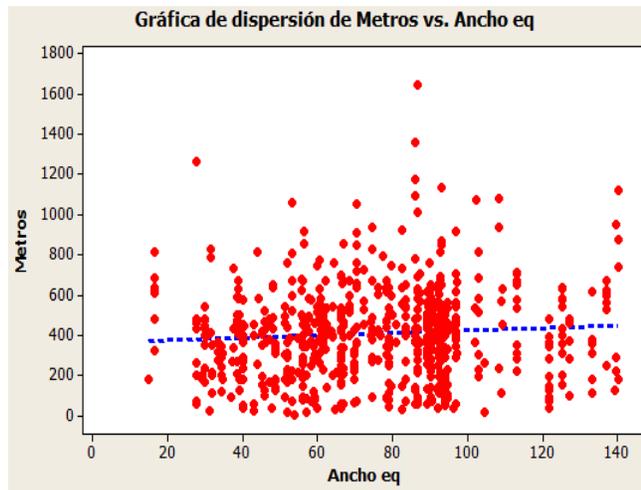


Figura 55 - Gráfico de dispersión metros versus ancho equivalente

De igual forma en bancos superiores se tiene una mayor productividad diaria, como se muestra en la Figura 56. Esto se asocia principalmente a que en los bancos superiores se tiene un mayor rendimiento pues la litología presente tiene menor dureza, esto permite que se realicen más metros en una hora efectiva. Por otro lado, al iniciar las fases (cotas superiores), se tiene grava caliche, por lo que se requiere mallas de perforación más pequeñas a fin de evitar los sobre tamaños. Tener mallas más reducidas permite obtener mejores utilizaciones efectivas, pues el equipo requiere permanecer más tiempo en la zona, evitando en general los tiempos de demoras no programadas, como se menciona anteriormente.

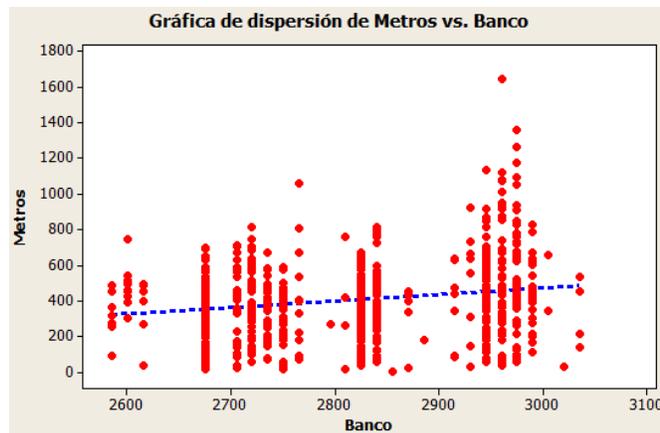


Figura 56 - Gráfico de dispersión m vs banco

Sin embargo, los metros tienen relación con la fase en que se está operando y se observa una mayor productividad en fase 21, luego fase 18 y 23 en orden descendente, pues tienen los mayores anchos equivalentes, permitiendo mallas más amplias. Por otro lado, los distintos equipos de producción tienen producciones en los mismos rangos o bandas de valores para una misma fase, con valores un tanto inferiores en las DML por el menor rendimiento efectivo respecto de las PITVIPER, lo que es una condición del diseño del equipo propiamente tal.

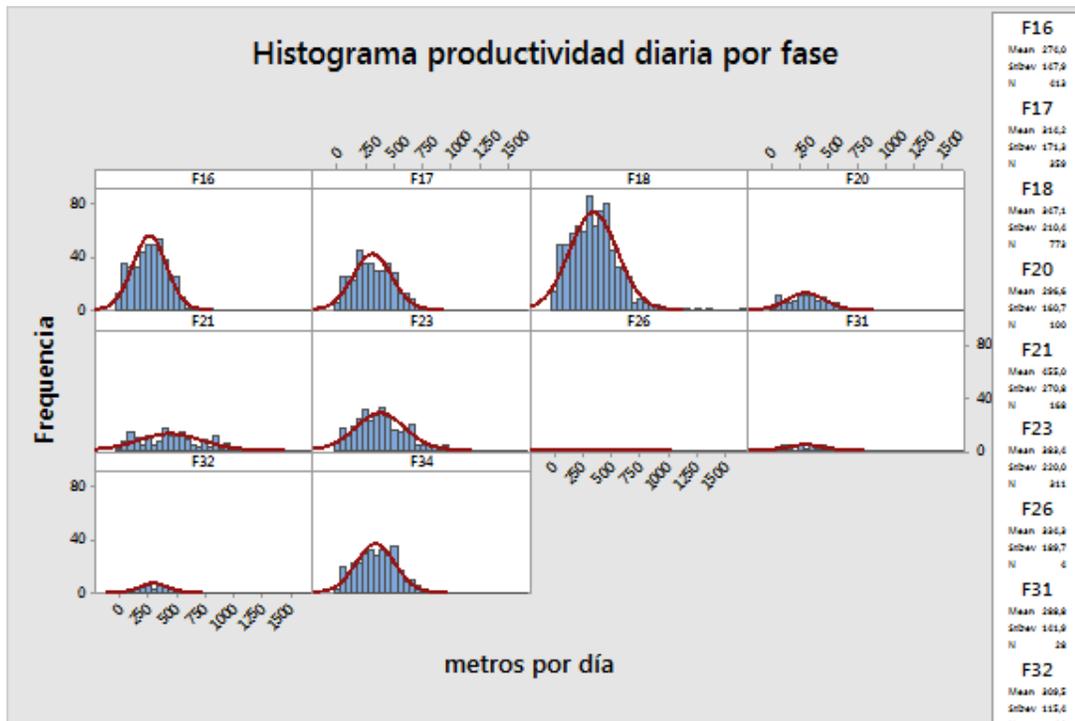


Figura 57 - Productividad diaria por fase

La productividad diaria se encuentra relacionada directamente con el radio hidráulico, que corresponde a la razón entre el área y el perímetro. Es decir, a mayor regularidad y a mayor espacio en el que se encuentren los equipos, mayor es la productividad diaria.

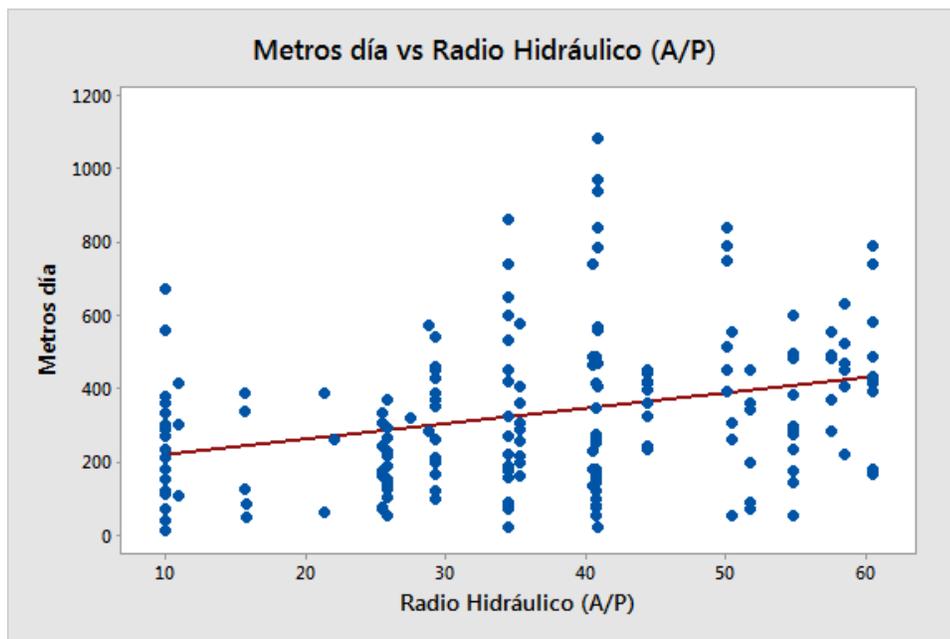


Figura 58 - Gráfico dispersión productividad diaria vs radio hidráulico

Por otro lado, la productividad diaria se ve afectada negativamente al incrementar el número de equipos por frente, tal cual como se observa en el caso de la UE.

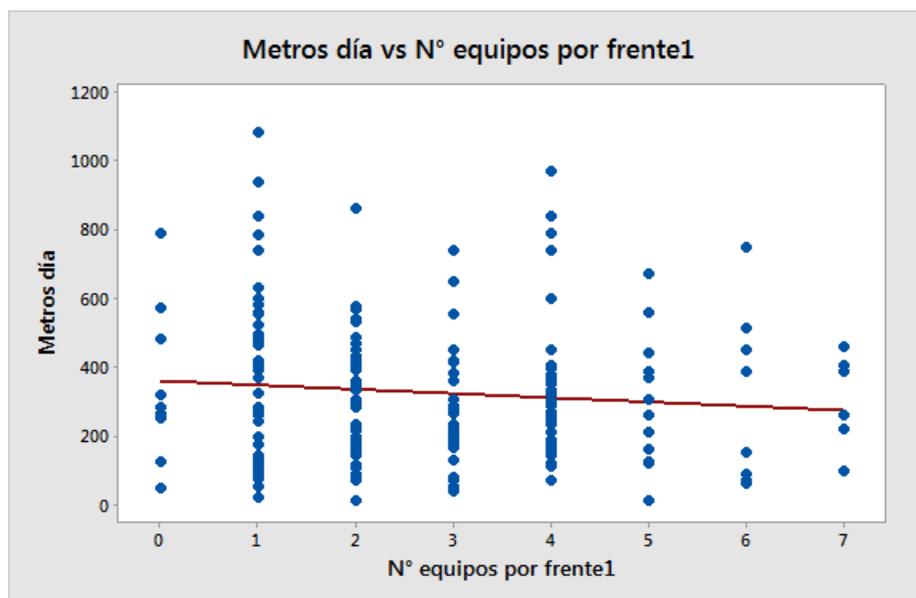


Figura 59 - Gráfico dispersión producción diaria vs número de equipos por frente

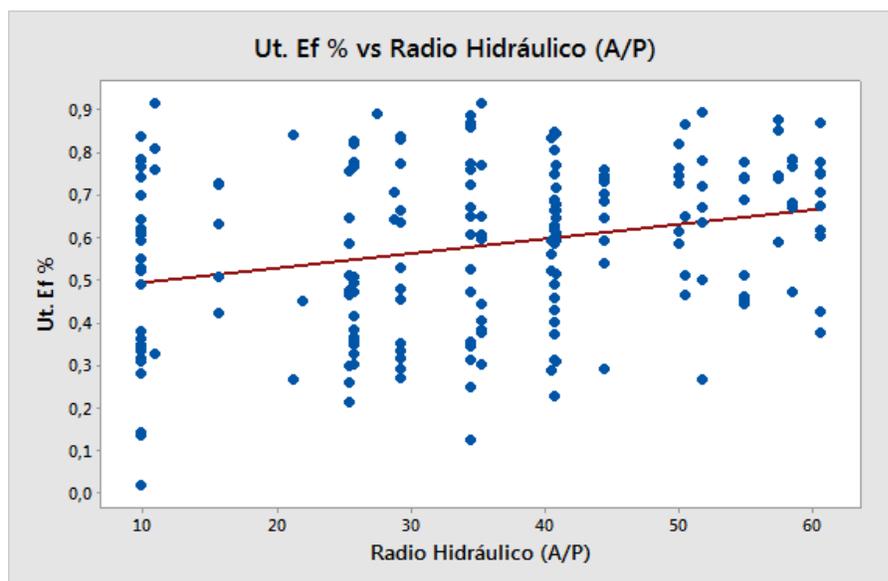
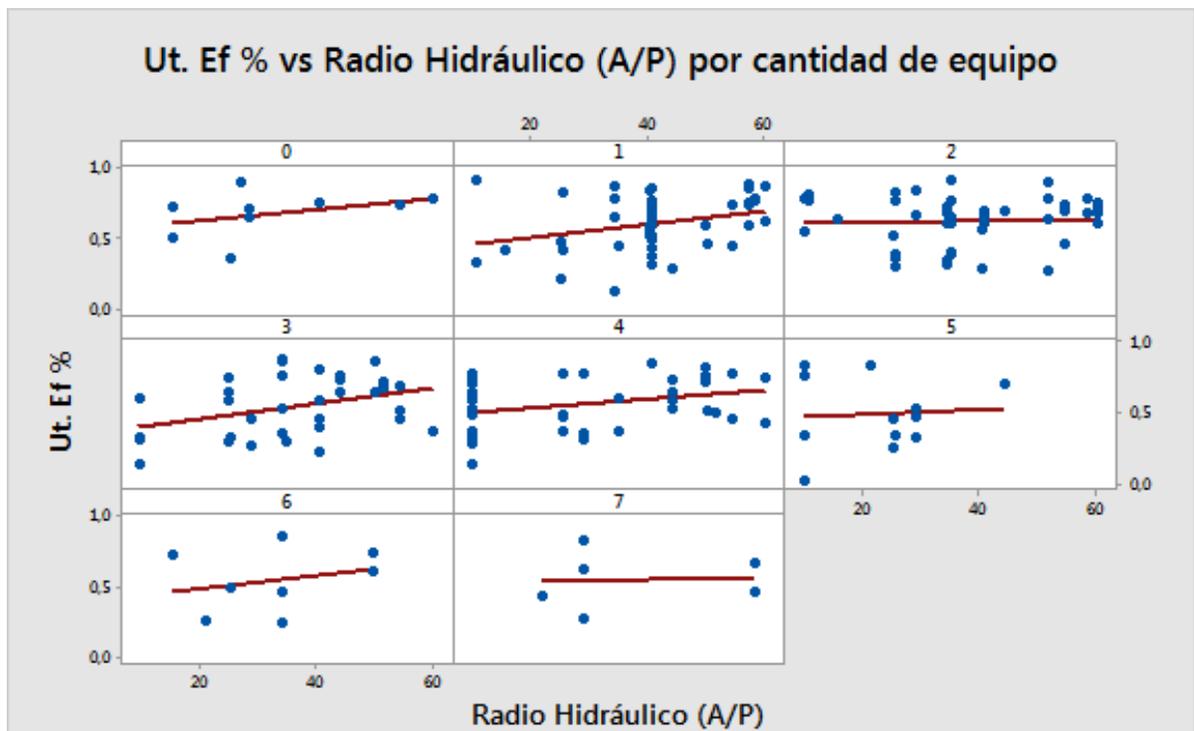


Figura 60 - Gráfico de dispersión UE vs Radio hidráulico

Finalmente, se observa que independiente de la cantidad de equipos por frente, a mayor radio hidráulico la tendencia general es a aumentar la utilización efectiva, aun cuando en alguna de las gráficas se vea una pendiente más bien plana.



Al establecer estas relaciones entre los metros perforados y otras variables que no considera el modelo de planificación en su estimación, es posible concluir que existen parámetros no considerados en los planes y que su incorporación en los cálculos puede permitir mejorar la estimación de los indicadores operacionales, con el objeto de establecer valores más operativos y que por lo tanto, permita acercar los metros presupuestados o con los resultados reales.

### 3.5 METODOLOGÍA CÁLCULO DE INDICADORES

Para mejorar la estimación de la producción de las perforadoras que se tienen como flota nominal, es necesario determinar los indicadores operacionales; utilización efectiva y rendimiento efectivo, de manera que reflejen las condiciones operacionales. En 2015, se tienen 3 fases en explotación: 18, 21 y 34, por lo que la metodología se centrará en los resultados obtenidos ese año, pues representan de mejor manera las condiciones operacionales actuales de la mina y por lo tanto, permitirán mejorar la estimación de indicadores en la planificación actual.

A partir de los análisis antes mostrados es posible definir que las interferencias corresponden a los instantes en que el equipo no puede estar en tiempo efectivo asociado a una incorrecta planificación de actividades, razones operacionales o bien interacciones con otras perforadoras u otros equipos mina.

Las interferencias afectan directamente a la utilización efectiva, por lo que se definirá como interferencias del proceso principalmente a las demoras no programadas, las cuales se ven incrementadas en una zona de trabajo saturada, es decir, un espacio en el que interactúa una cantidad significativa de equipos.

La metodología de cálculo propuesta en este trabajo consiste en determinar los metros totales a perforar en función de la suma de metros a perforar por cada flota, como se muestra a continuación

$$m_{a\text{ perforar}} = m_{DML} + m_{PV1} + m_{PV2} \quad (24)$$

De esta manera, para cada flota se calcularán los metros a perforar con (23) considerando que la disponibilidad es un *input* entregado por el área de mantenimiento. Por otro lado, el rendimiento dejará de ser un valor promedio y se considerará para el cálculo que es un valor definido por la fase en que operará así como a qué flota pertenece el equipo, es decir, la variable será  $Rendimiento_{fase,flota}$  y sus valores están dados por la Tabla 10.

En el caso de la utilización efectiva, será considerado como una resultante de las demoras no programadas y cómo se ven incrementadas en una zona de trabajo saturada. Un ejemplo de zona saturada es la siguiente imagen

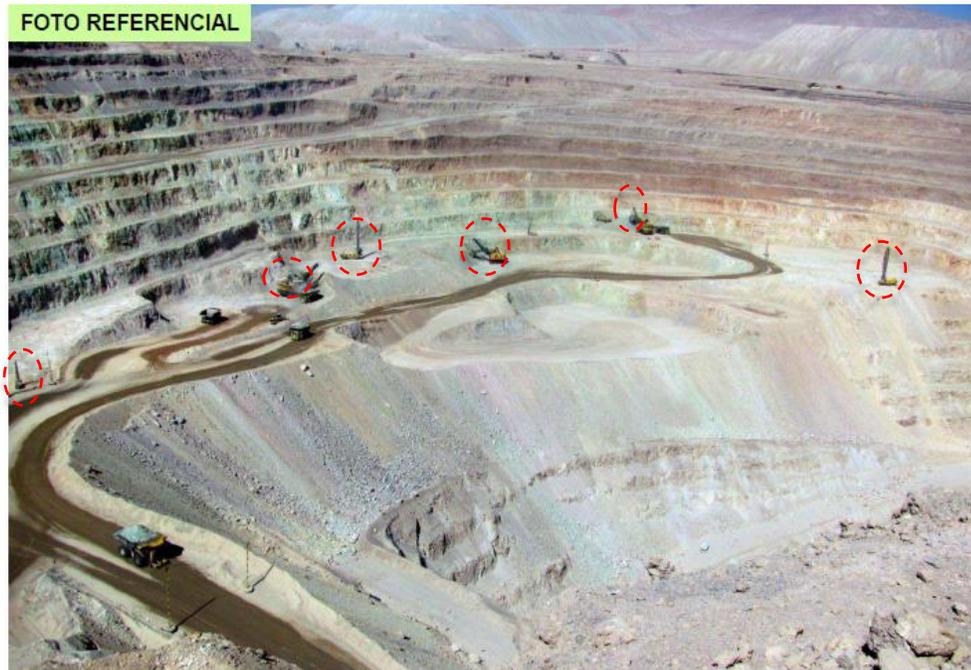


Figura 61 - Foto fase 18, banco angosto con 5 equipos

En la figura anterior, se observan 2 bancos angostos de la fase 18, en los cuales interactúan 6 equipos, de los cuales 3 son equipos de carguío, por lo tanto hay tránsito de camiones, equipos de apoyo para el cuidado de pisos de frentes de carguío como pistas. Por otro lado, pueden existir interferencias en términos eléctricos, pues en general en cada caja eléctrica se conecta una pala y una perforadora, por lo que si se requiere hacer maniobras con las palas, la perforadora verá afectada su alimentación y por tanto, disminuirá su utilización efectiva como su producción diaria.

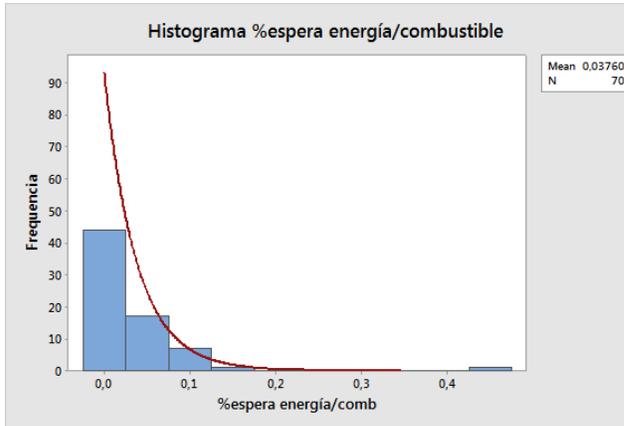
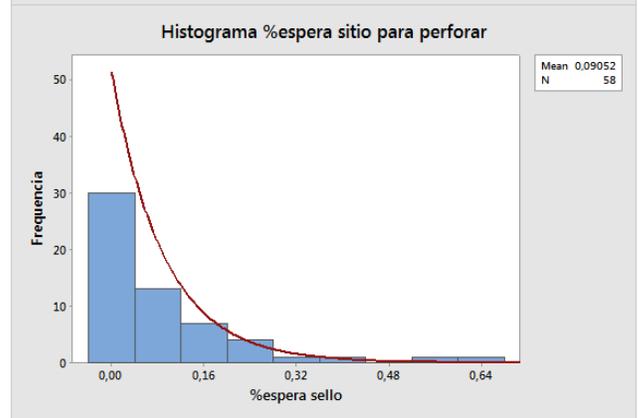
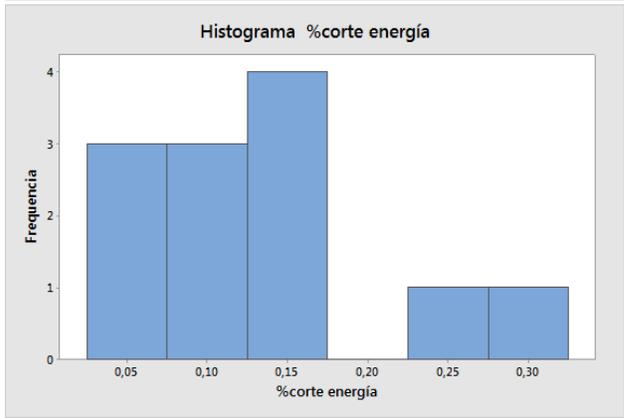
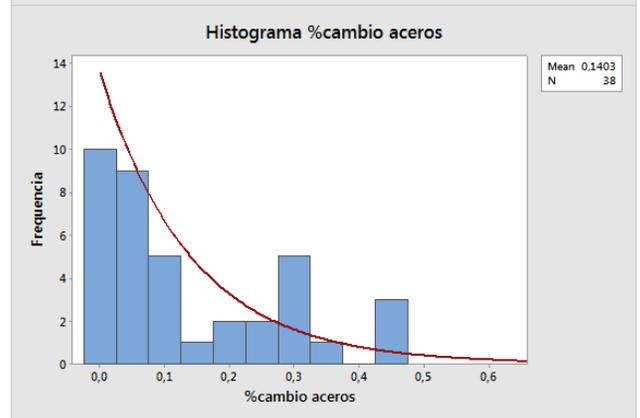
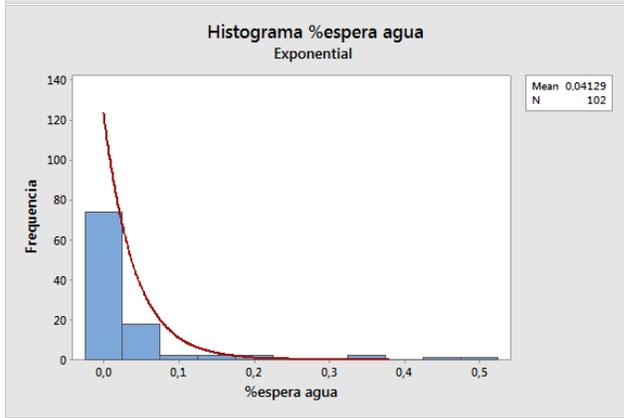
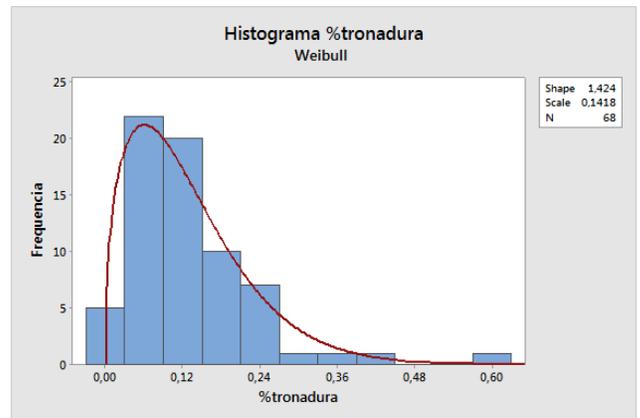
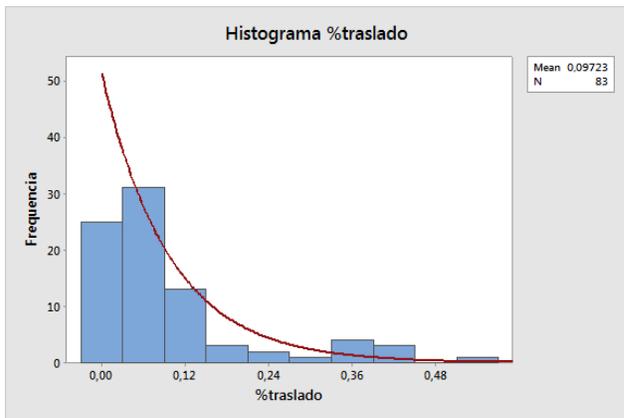
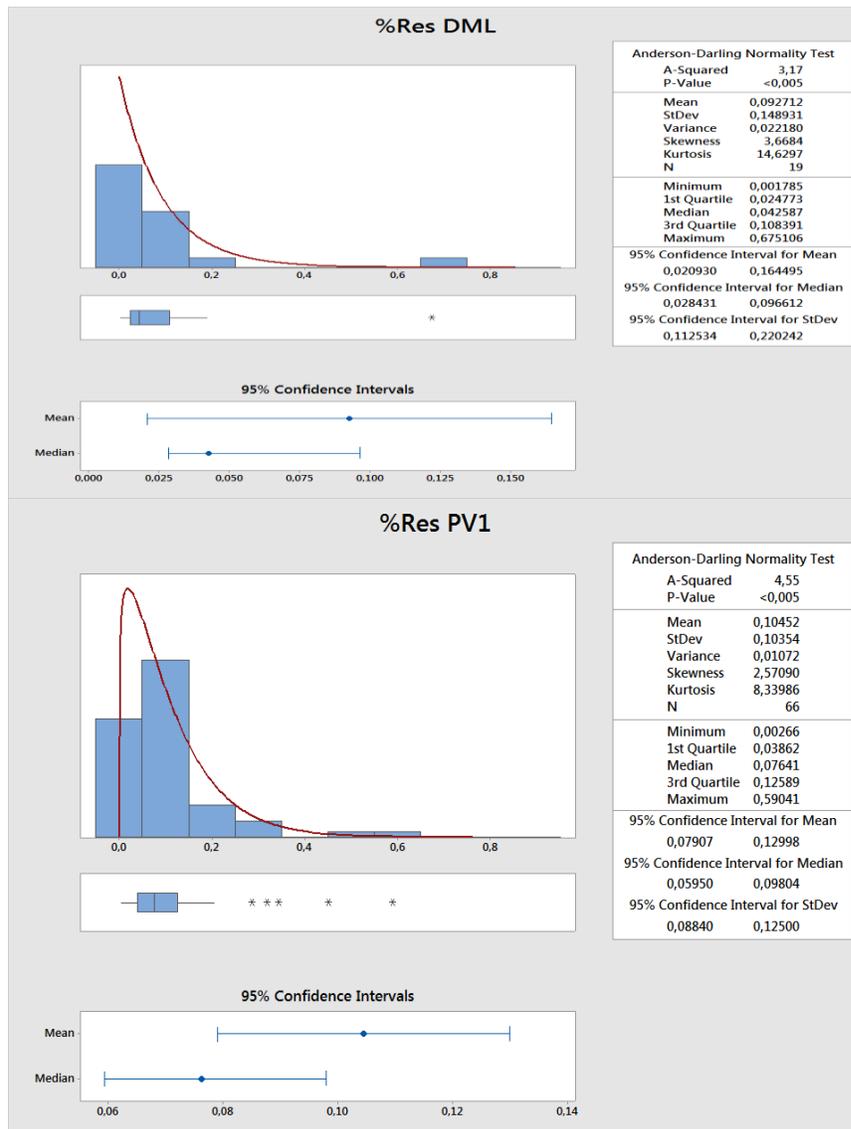


Figura 62 - Gráficos de distribución DNP principales

Según lo revisado en el apartado anterior, se determina la utilización efectiva a partir de las demoras, como parte del cálculo de tiempos según la norma ASARCO. Por lo tanto, se considerará para el cálculo las principales demoras no programadas para el año 2015, como se muestra en la figura anterior. De las 7 demoras definidas, 5 presentan una distribución exponencial al estudiarlas como porcentaje del tiempo disponible, es decir, la mayoría se concentra en los valores más bajos. De las 2 restantes, se tiene que la demora de corte de energía necesaria para la operación no tiene una distribución clara y los valores van de un 5% a un 30%, mientras que la tronadura tiene una distribución Weibull, lo que gráficamente significa que en el valor más pequeño de categoría la frecuencia no es tan alta como en las siguientes categorías, luego, las frecuencias disminuyen similar a una exponencial.

Por otro lado, debido a que se obtendrá una utilización efectiva como resultado para el posterior cálculo de metros a perforar, es necesario conocer el comportamiento tanto de las reservas como de las demoras programadas, como se observa en las siguientes figuras



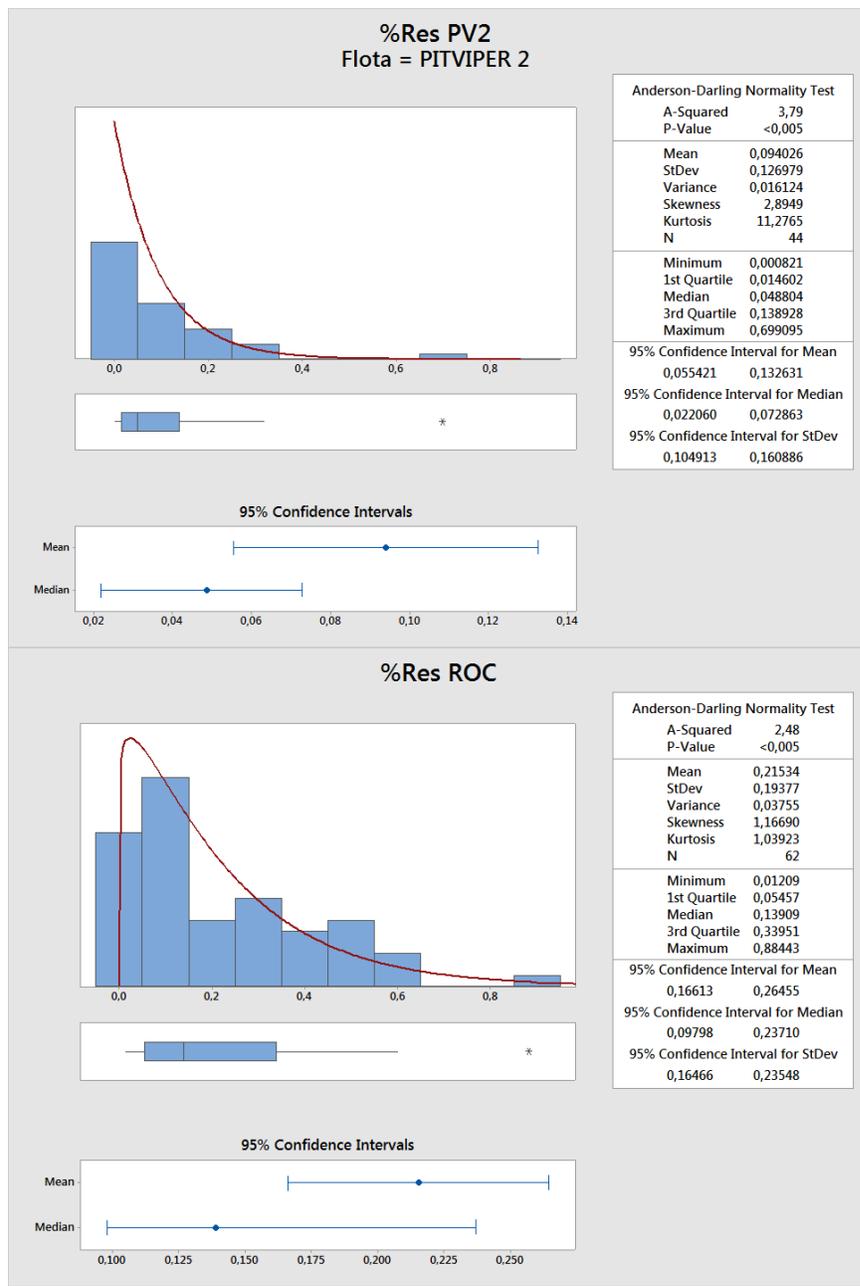
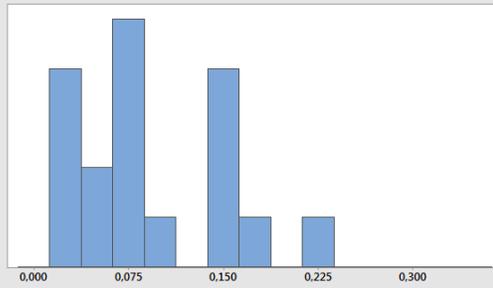


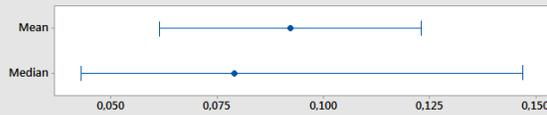
Figura 63 - Distribución de reservas por flota

Las reservas presentan una alta variabilidad, esto asociado principalmente a condiciones operacionales que exigen mantener los equipos en reserva, como se comentó anteriormente. En el caso de las perforadoras de producción se tienen promedios entre 9 y 10 de la base nominal, lo que está dentro de lo esperado por la planificación de largo plazo, no obstante, en las flota de control pared se tiene un promedio superior a 20%, muy por sobre lo estimado y la mayor concentración se encuentra entre 5 y 15%

### %DP DML



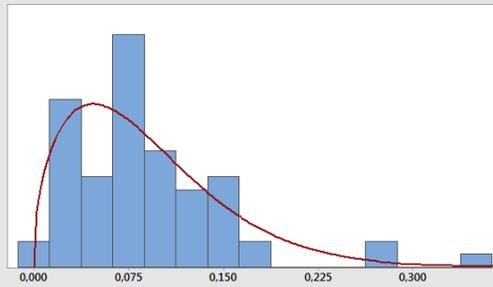
95% Confidence Intervals



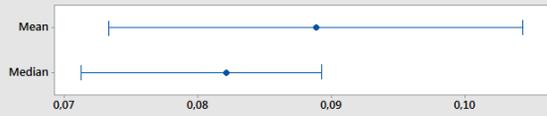
#### Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0,55
P-Value	0,133
Mean	0,092218
StDev	0,062014
Variance	0,003846
Skewness	0,679446
Kurtosis	-0,175431
N	18
Minimum	0,020833
1st Quartile	0,036509
Median	0,079057
3rd Quartile	0,148460
Maximum	0,235996
95% Confidence Interval for Mean	0,061379 0,123057
95% Confidence Interval for Median	0,042974 0,146975
95% Confidence Interval for StDev	0,046535 0,092968

### %DP PV1



95% Confidence Intervals



#### Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	1,85
P-Value	<0,005
Mean	0,088830
StDev	0,063491
Variance	0,004031
Skewness	1,61998
Kurtosis	3,81180
N	67
Minimum	0,010924
1st Quartile	0,041655
Median	0,082124
3rd Quartile	0,123250
Maximum	0,338472
95% Confidence Interval for Mean	0,073343 0,104316
95% Confidence Interval for Median	0,071268 0,089283
95% Confidence Interval for StDev	0,054265 0,076525

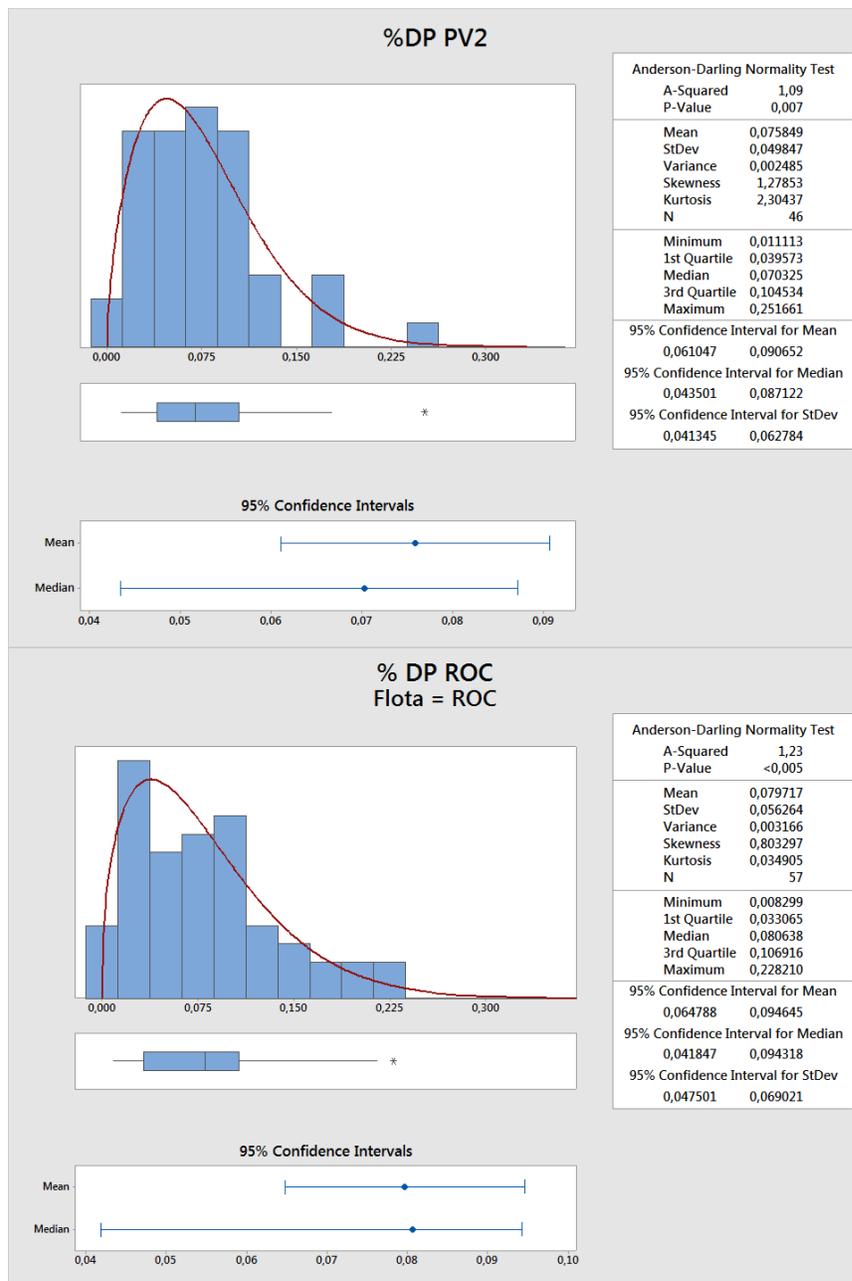


Figura 64 - Distribución demoras programadas por flota

La distribución de las demoras programadas es lognormal, a excepción de la flota DML, la cual no presenta una distribución clara, además las perforadoras DML presentan un promedio superior al resto de las perforadoras, de al menos un punto porcentual.

Conociendo la información antes entregada, se define

$$Tiempo_{pre-efctivo} = \%Disponibilidad \cdot (T_{nominal} - T_{reserva_{flota}} - T_{DP_{flota}}) \quad (25)$$

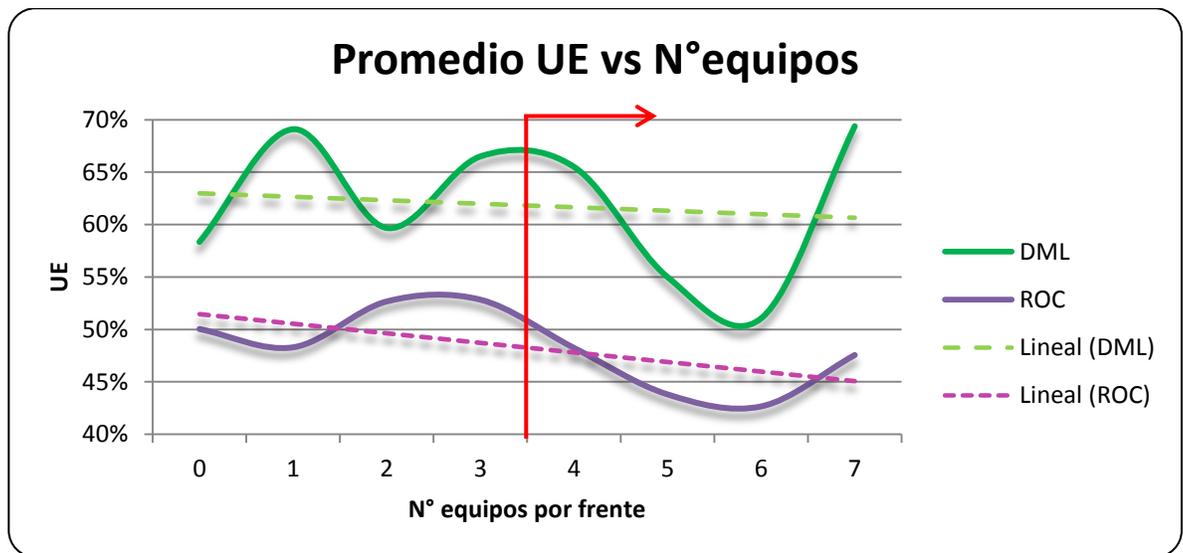


Figura 65 - UE promedio por cantidad de equipos por frente

De esta manera, sólo basta estimar las demoras no programadas para obtener el tiempo efectivo de operación, con ello se determina la UE y por tanto los metros a perforar. Se considera que el punto de saturación de una zona de trabajo es a partir de los 4 equipos, por lo que para estimar las demoras no programadas se separan 2 grupos, o sea

$$DNP = DN \cdot Pppl \cdot F \cdot 1flota \quad \text{si } \#eqfrente < 4$$

$$DNP = DN \cdot Pppl \cdot F \cdot 2flota \quad \text{si } \#eqfrente \geq 4 \quad (26)$$

Se consideran los siguientes parámetros para la estimación

Tabla 12 - Estimación DNP

Parámetro	DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC
% Traslado	6.9%	3.9%	3.1%	2.9%
%Tronadura	7.3%	3.1%	2.7%	4.2%
%Espera agua	4.7%	1.9%	2.4%	3.7%
%Cambio Acero	0.6%	1.1%	5.7%	2.5%
%Corte energía	0.0%	1.2%	1.7%	0.0%
%Espera sito para perforar	0.0%	2.0%	0.1%	5.4%
%Espera energía/comb	1.4%	0.7%	0.6%	1.5%
F1	1.05	1.1	1.15	1.18
F2	1.15	1.1	1.25	1.18

Como se puede observar en el caso de la flota PITVIPER 2 y DML, el factor multiplicador aumenta al aumentar la cantidad de equipos. De esta forma queda entonces determinado el tiempo efectivo y por lo tanto, los metros estimados

$$Tiemp_{oeftivo} = \frac{Tiemp_{pre-efectivo}}{F \cdot \#eq}$$

*DN Pppales*

De esta forma los metros perforados se obtienen a partir de

$$m = Disp_{flota} \cdot (24 \cdot \#días \cdot \#eq_{flota} - DP_{flota} - Res_{flota} - \sum_{flota} DNP \cdot F_x) \quad (28)$$

Así, a modo de resumen, se tiene que, en términos generales, este trabajo de título tiene como resultados propuestas de mejora en la etapa de planificación como en gestión, asociado a la operación, entregado por (28), pues El estimar de una forma correcta los metros que pueden desarrollar los equipos que actualmente componen la flota nominal, a fin de establecer la necesidad de nuevos equipos a nivel de PND o bien la necesidad de establecer un contrato de perforación a nivel anual como el caso del año 2015, en que se tiene un contrato por 5 equipos de perforación como apoyo.

Al verificar el resultado del mes de junio 2015 se tiene que con la metodología de cálculo se reduce en un 23% la brecha entre el plan y la realidad.

### **3.6 PROPUESTAS DE MEJORA Y SU VALORIZACIÓN**

---

El objeto de las propuestas de mejora, es incrementar la utilización efectiva, a fin de maximizar el uso de los activos, logrando mejores productividades diarias de las flotas de perforadoras, de manera de alinear los resultados de esta operación con las exigencias actuales que tiene la Corporación a fin de entregar los excedentes comprometidos al Fisco.

Las propuestas de mejora establecen una línea base con los resultados 2015 y buscan principalmente la eliminación de mudas (identificadas en el capítulo anterior) a través de estandarización y gestión visual. La meta establecida es reducir un 20% de las demoras no programadas, lo que se traduce en 3% de utilización efectiva de los equipos.

Si se hubiese aplicado estas propuestas de mejora que buscan reducir las DNP en un 20% que se traduce en 3% de UE, se hubiesen conseguido 60.500 m adicionales en el año, lo que equivale a un 75% de lo que produce una perforadora DML, lo que se traduce en la posibilidad de reducir en un equipo la flota del contrato de arriendo. Cabe

destacar que para este cálculo se mantienen constantes los resultados de disponibilidad y rendimiento efectivos, así como las horas nominales.

Al analizar las 7 demoras principales se concluye que las demoras por cambio de acero y corte de energía necesaria para la operación es necesario realizar una observación más acorta de la tarea para identificar las oportunidades de mejora y su cuantificación

### 3.6.1 TRASLADO

Se establece un estándar de tipo check list para verificar previo al traslado si se cuenta con todos los recursos y condiciones para realizarlo. La meta es reducir en 5% el porcentaje de esta demora en base disponible, es decir, a nivel global debería como máximo alcanzar

Tabla 13 - Traslado con propuesta de mejora

DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC
6.6%	3.7%	2.9%	2.7%

La siguiente figura muestra el estándar propuesto

ESTANDAR TRASLADOS		V.0
Fecha		
Ubicación inicial		
Ubicación final		

A fin de planificar los traslados de perforadoras, se debe poner x en la casilla que corresponda según si se cuenta con el recurso o condición

Elementos de chequeo	Si	No
Hay operador?		
Se cuenta con escolta?		
El sitio al que se traslada está listo?		
Se realizó ART?		
ART se encuentra firmada por supervisor?		
Hay recursos de empresa eléctrica para el traslado?		
La ruta está despejada?		
Se requiere cama baja?		

Si al responder existe a lo menos una respuesta NO se debe solicitar recursos o bien generar la condición antes de mover equipo de su lugar

Figura 66- Estándar de traslados

Adicional al estándar, se solicita al escolta realizar un diagrama spaghetti de la ruta que conecta el punto de inicio con el de termino. Si existe más de una ruta, se recomienda realizar la con menor distancia

### 3.6.2 TRONADURA

Debido a que la tronadura es una operación que interfiere a nivel global con las operaciones unitarias de la mina, es imposible eliminar esta muda pues es una

actividad propia del proceso y que agrega valor, por lo que se propone reducir en 5% esta demora, lo cual se puede conseguir disminuyendo el tiempo anticipado con el que se evacúan los equipos de perforación.

La propuesta de estándar consiste en una planificación de la evacuación que es realizada entre las áreas de operaciones mina, perforación y tronadura, mantención, empresa colaboradora eléctrica.

Estandar de evacuación de tronadura						V.0
Fecha						
Zonas de tronadura						
Equipos afectados por evacuación						

Orden de evacuación de equipos

Equipo	Hora	Recursos necesarios

Figura 67 - Estándar de evacuación de tronadura

La meta es obtener como máximo los siguiente valores promedio a nivel de mes

Tabla 14 - %Tronadura BD, máximo por mes

DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC
5.6%	4.0%	3.3%	4.6%

### 3.6.3 MUDAS POR ESPERAS

En las demoras no programadas principales se tienen 3 pérdidas asociadas a esperas. En el caso de las espera/abastecimiento de agua y espera energía/combustible ambas son abordados a través de estándar con gestión visual, como el que se muestra a continuación

Se establece los siguientes rangos para solicitar abastecimiento de agua, según la cantidad de pozos que puede perforar el operador con la cantidad de agua en el estanque

0-4 pozos

4-8 pozos

más de 8 pozos

1. El operador debe informar via radial al despacho cuando le quede agua sólo para perforar 8 pozos más
2. Una vez recibida la comunicación radial, el despachador debe gestionar el abastecimiento con un aljibe
3. Si cuando el equipo no ha sido abastecido y el agua restante alcanza sólo para 4 pozos se debe emitir una alerta al jefe de turno mina para la coordinación inmediata del camión aguador
4. Si se acaba el agua por no ser reabastecido a tiempo, se debe informar al área de control procesos para el análisis del caso y encontrar la causa raíz para evitar que vuelva a suceder

Figura 68 - Estándar de abastecimiento de agua

Para la espera por agua se establece una reducción de 50%, mientras que para abastecimiento de combustible se tiene como meta bajar un 20%. El estándar es similar para el caso de las perforadoras diésel, mientras que en el caso de las perforadoras eléctricas se combina con el estándar de evacuación de tronadura, pues muchas veces el tiempo en que el equipo está sin energía por despeje de tronadura es imputado como espera energía/combustible.

En la espera de sitio para perforar se establece como meta una mejora del 10%, con lo que las mudas asociadas a espera, tienen como meta alcanzar como máximo los siguientes valores mensuales en base disponible

Tabla 15 - Valores máximos de mudas por esperas

Parámetro	DML	PITVIPER 1	PITVIPER 2	ROC
%Espera agua	2.5%	1.1%	1.1%	1.2%
%Espera sitio para perforar	0.1%	1.6%	0.1%	5.6%
%Espera energía/comb	0.8%	0.7%	0.9%	1.7%

Finalmente, con la distribución de metas por demora se obtiene el 20% de reducción global de las demoras no programadas, con los resultados antes mencionados.

## CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES

En la actualidad, la industria del cobre se ha visto remecida por una permanente reducción en el precio del metal, lo que exige a los trabajadores de CODELCO mejorar sus procesos en términos de costos y productividad, a fin de generar los excedentes comprometidos al Estado de Chile.

A partir del análisis de una base de datos de 2012 a mayo 2015, se establece que la productividad de las perforadoras es el resultado de una cantidad significativa de variables, las cuales afectan los indicadores operacionales y se relaciona principalmente a condiciones de la operación. En los *peak* de disponibilidad, se observa que están asociados a la incorporación de nuevos equipos a las flotas, mientras que la tendencia al alza de la utilización efectiva a partir de enero 2015 se ve asociado a una reducción de las reservas por lineamientos gerenciales.

A nivel diario, se tiene una alta variabilidad en los resultados, sobre todo en la flota DML que sólo cuenta con 2 equipos, por lo que las mantenciones importantes alteran considerablemente los metros perforados por estos equipos. Las perforadoras eléctricas experimentan una menor variabilidad a nivel de flota, mientras que la flota ROC posee mayor variabilidad asociado principalmente a disponibilidad y reservas. Es recomendable definir planes semanales a fin de predecir de mejor manera los indicadores operacionales y controlar el cumplimiento de la perforación

Si bien, la utilización tiene su propia definición, su predicción puede ser descrita en función de los componentes que no aportan a su valor, así, se puede escribir en función de 7 demoras no programadas principales: traslado, tronadura, espera/abastecimiento de agua, cambio de aceros, corte energía necesario para la operación, espera de sitio para perforar y espera de energía/combustible. Si se agrupan estas pérdidas 4 corresponden a actividades que no agregan valor al proceso, pero que son necesarias, por lo que es imposible eliminarlas, mas es posible reducirlas al planificar las actividades. Estas demoras en general, presentan una distribución exponencial, es decir, la mayor frecuencia de ocurrencia es en los primeros rangos de tiempo.

Se define como interferencia las interacciones entre equipos y operaciones que impiden o limitan los resultados de otros, en términos de utilización efectiva y/o productividad diaria. Se establece que las interferencias son principalmente las demoras no programadas, las cuales se ven incrementadas cuando hay una saturación de una zona de trabajo, es decir, la razón cantidad de equipos en un espacio determinado es alto y por lo tanto, reducen los metros perforados y la utilización efectiva.

A través de la metodología LEAN-KAIZEN se establecen propuestas de mejora al proceso de perforación que permitan incrementar la productividad, ocupando las herramientas de eliminación de mudas, gestión visual y estandarización. Se establece que como meta para el 2° semestre de 2016 se debe reducir en 20% las demoras no programadas, lo que permite aumentar en 3% la utilización efectiva de los equipos. Considerando como línea base los resultados 2015, esta meta se traduce en 60.500 m

adicionales en el año equivalente a 75% de la producción de cada perforadora DML o visto desde otra perspectiva, permitiría reducir en un equipo la flota de arriendo.

Desde la perspectiva de la planificación minera, existe la necesidad de establecer la cantidad de equipos que serán requeridos de acuerdo al plan minero, en horizontes de tiempo que van desde el año a la vida útil de la mina. A fin de mejorar la estimación de la productividad de las perforadoras, se realiza un análisis para la incorporación de variables operacionales como la cantidad de equipos por frente de trabajo, ancho equivalente de la fase, entre otros. De esto se concluye que a menor ancho equivalente y mayor número de equipos por frente, mayores son las demoras y menor es la producción diaria de las perforadoras, según

$$m = Disp_{flota} \cdot (24 \cdot \#días \cdot \#eq_{flota} - DP_{flota} - Res_{flota} - \sum_{flota} DNP \cdot F_x) \quad (28)$$

Al verificar la metodología de cálculo con los resultados de junio 2015 versus su planificación mensual, se tiene una mejora de 23% en la reducción de la brecha que se genera entre los valores reales y los programados.

Se puede concluir, que a pesar de que la perforación no se lleva una parte significativa del costo mina, es relevante, pues una falla en este proceso genera complicaciones en las operaciones aguas abajo como: falta de información de leyes para el corto plazo, cambio en secuencias de extracción por retrasos en polígonos de perforación, retraso en tronadura, etc.

Como recomendación para futuros estudios se propone integrar a la base de datos el tipo de tiro que se está perforando, por ejemplo, de precorte o hacia la pared, borde o centro del banco, de manera de evaluar el efecto en el rendimiento y las medidas de seguridad que deben tomar los operadores al momento de perforar.

Adicionalmente, a fin de generar una data histórica trazable en cuanto a los eventos que afectan en el turno a cada operación unitaria, se recomienda realizar un informe para registrar eventos asociados a menor disponibilidad, utilización, rendimiento entre otros, de manera que se puedan correlacionar los resultados con los eventos ocurridos. Además, realizar un análisis factorial de forma mensual, para determinar las desviaciones respecto al plan, de manera que se puedan identificar los eventos que contribuyen en el sobrecumplimiento o incumplimiento de lo planificado, lo que ayudará a replicar buenas prácticas o bien no replicar errores que hayan impedido cumplir el plan.

## CAPÍTULO 5 BIBLIOGRAFÍA

1. **Comisión Chilena del Cobre.** Informe sobre la encuesta periódica del mercado del cobre. [En línea] 14 de Diciembre de 2013. [http://www.cochilco.cl/Archivos/destacados/20131118110222\\_Informe%20sobre%20la%20encuesta%20periodica%20del%20mercado%20del%20cobre%20%20II%20Semestre%202013.pdf](http://www.cochilco.cl/Archivos/destacados/20131118110222_Informe%20sobre%20la%20encuesta%20periodica%20del%20mercado%20del%20cobre%20%20II%20Semestre%202013.pdf).
2. **A. Jankovic, W. Valery.** Mine To Mill Optimisation For Conventional Grinding Circuits. [En línea] 6 de Octubre de 2002. [http://www.metso.com/miningandconstruction/mct\\_service.nsf/WebWID/WTB-120117-22576-340EC/\\$File/113.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120117-22576-340EC/$File/113.pdf).
3. **Marambio, Guillermo.** *Efecto del Diseño Minero en la Velocidad de los Equipos de Transporte.* Santiago : s.n., 2010.
4. **Codelco.** Radomiro Tomic. [En línea] [http://www.codelco.com/prontus\\_codelco/site/edic/base/port/radomiro\\_tomic.html](http://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/radomiro_tomic.html).
5. **Rafiee, Vahid y Asghari, Omid.** 2008, Journal of Applied Science , Vol. 8, págs. 4512-4522.
6. **Atlas Copco.** *Blasthole Drilling in Open Pit Mining.* Texas : Ulf Linder, 2012.
7. **Cortes, Ricardo Solis.** *Estrategias de Aseguramiento de Disponibilidad Palas de Cable de Mina Radomiro Tomic.* Santiago : s.n., 2013.
8. **Jurado, Ángela Ahumada.** *Esquemas de Explotación del Rajo Chuquicamata y su Respectiva Evaluación Económica.* Chuquicamata : s.n., 1980.
9. **Andrew Wetherlet, Klaas Peter van der Wielen.** Introduction to Open-Pit Mining. *SME Mining Engeneering Handbook 3er Edition.* 2011, págs. 857-876.
10. **SPDMM, GRMD -.** *PND 2015.* s.l. : Codelco, Radomiro Tomic, 2014.
11. **Gobierno de Chile.** *Presidenta en firma de la ley que establece aporte de US\$ 4 mil millones a Codelco: "Iniciamos un nuevo camino para nuestro crecimiento".* 2014.
12. **CODELCO Norte.** Repaso Norma ASARCO y su Aplicación a la Gestión Operacional. 2008.
13. **Grupo PDCA Home.** PDCA Home. [En línea] 10 de junio de 2013. <http://www.pdcahome.com/4726/como-dibujar-y-que-es-un-diagrama-de-espaghetti-o-spaghetti-chart/>.
14. **Le-Feaux, René.** Apunte Operaciones Cielo Abierto.

## ANEXO A DESCRIPCIONES POR CATEGORÍA

Cada categoría de tiempo tiene asociada una serie de descripciones, que entrega de forma más detallada el estado en el que estuvo un equipo.

Tabla 16 - Descripciones Efectivo y D.Prg

Categoría	Descripción
Efectivo	CAMBIO MODULO
	PRODUCCION
	PRODUCCION A COLACCION
D.Prg	CAMBIO DE TURNO
	COLACION

Tabla 17 - Descripciones Fuera de servicio (Mantención)

Categoría	Descripción
Mantención	MANTENCION GENERAL
	MANTENCION PREVENTIVA
	MANTENCION PROGRAMADA (MMS)
	MANTENCIONES PREVENTIVAS PROG
	OTRAS MANTEN.PREVEN.PROGRAMAD
	PM1 250 HRS
	PM3 1000 HRS
	PM4 2000 HRS
	RELLENO ACITE HIDRAULICO
	RELLENO DE AIRE NEUMÁTICOS
	TALLER
	TERRENO

Tabla 18 - Descripciones Reservas y Fuera de servicio (ElecExcl, MantExl, MecExcl y Eléctrica)

Categoría	Descripción
Reservas	CON OPERADOR
	CONDICIONES CLIMATICAS
	GEOTECNIA
	INSTALACION SISTEMAS
	POR SITIO
	REUNION
	SIN OPERADOR
ElecExcl	ACT RADIO COMUNICACION
	FALLA ELECT (FALLA CABLES)
	FALLA ELECT OTROS (EN LOOP)
	FALLA EQ COPLA CASETA SUBESTA

	SOBRECORRIENTE OPERACIONAL
<b>MantExcl</b>	LAVADO DE EQUIPO
<b>MecExcl</b>	CHASIS
	CONDICIONES EXTERNAS
	EQUIPO ESPERA NAVE
	SISTEMA DE SUPRESOR DE INCEND
	580
	ALUMBRADO
	CORREA-FALLA BANCO DE RESISTENCIA
	MOTORES
	ELEC. TALLER
	ELEC. TERRENO
	FALLA ELECTROIMAN
	FALLA MOTOR HID ALIMENTADOR
	GABINETE CIRCUITOS AUXILIARES
	GABINETE CONVERTIDOR
<b>Eléctrica</b>	INSPECCION
	MOTOR ABRIR BALDE
	PROB.SIST.CONTROL SENALES ALA
	SENSORES UNID.HID ALIMENTADOR
	SISTEMA ELECTRICO
	SISTEMA ELECTRICO ELECTRONICO
	SOBRECARGA
	TARJETA ELECTRONICA ALTURA DE POSTE

Tabla 19 - Descripciones Fuera de servicio (Mecánica)

Categoría	Descripción
<b>Mecánica</b>	AIRE ACONDICIONADO
	ALIMENTADOR-ATOLLO NIV. ALTO CHUTE DESCARGA
	CABINA
	CADENA CARRO MOVIL
	CADENA TRANSMISION PERFORADOR
	COMPRESOR DE AIRE
	COMPRESOR PERFORADORAS
	CORREA-DESCANSO DE POLEA Temperatura
	CORREA-FALLA GUARDERAS METALICAS Y GOMA CHUTE CARGA
	CORREA-POLEAS, REVESTIMIENTOS
	CREMALLERA
	DESCANSOS POLEAS
	MANDOS FINALES
	MANT.PREVENTIVA
	Mantencion Progamada
	MAQUINAS (VARIOS)
	PROB.GUARDERAS METALICAS
	REEMPLAZO ELEMENTOS DE DESGAS
	REFRIGERANTE
	SISTEMA COMBUSTIBLE
	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO
	SISTEMA DE DIRECCION
	SISTEMA DE ESCALERA Y BARANDA
	SISTEMA DE FRENOS
	SISTEMA DE GATOS
	SISTEMA DE LUBRICACION
	SISTEMA DE RIPPER
	SISTEMA HIDRAULICO
SISTEMA MECANICO	
SISTEMA DE ROTACION	
SISTEMA TORRE DE PERFORACION	
TREN DE MANDO (VARIOS)	
TREN DE RODADO	

Tabla 20 - Descripciones D.Noprg

Categoría	Descripciones
Demoras no Programadas	ABASTECIMIENTO DE AGUA
	ACEROS PEGADOS
	AIRE ACONDICIONADO
	CAMBIO DE ACEROS
	CARGA DE AGUA
	CHEQUEO DE EQUIPO
	COMBUSTIBLE
	CORTE ENERGIA NECES OPERAC
	DANO OP (COPLA CASETA AEREO)
	DANO OPERACIONAL (CABLE)
	DEMORA POR SELLO
	DESTAPE BROCA O HERRAMIENTA
	ENGRASE DE BARRAS
	ESPERA DE ACERO
	ESPERA DE AGUA
	ESPERA DE MALLA
	ESPERA ENERGIA/COMBUSTIBLE
	ESPERA POR ESTACAS
	ESPERA SITIO PARA PERFORAR
	ESPERA TRASLADO OPERACIONES
	FALTA MARCACION
	INCIDENTE O ACCIDENTE
	INSER
	LIMPIEZA DE CANCHA
	OBSTRUCCION VIA
	OTROS
	REPARACION DE CABINA
	REVISION MAQ Y HERR
	ROTACION DE BARRAS
	SIN ENERGIA DESPEJE TRONAD
	SISTEMA JIGSAW (EQUIPO DE CAMPO)
	TRASLADO DE BANCO
	TRASLADO DE PERFORADORA
TRASLADO DE PALA	
TRONADURA	
EN BLANCO	

## ANEXO B BASE DE DATOS

La información estadística de la División Radomiro Tomic es obtenida del sistema TotalView de JigSaw a través de los reportes, según sea la información que se requiera.

### B.1. ADQUISICIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE INDICADORES MENSUALES

Se estudian inicialmente de forma mensual los indicadores operacionales de enero 2012 a mayo 2015 para evaluar patrones de comportamiento, para ello se extrajo la información de reportes de disponibilidad equipos RT como se puede observar en la Figura 69. En esta planilla se cuenta con los tiempos totales por mes de cada flota de perforadora de los estados: efectivo, detenciones programadas (Detprog), detenciones no programadas (DetNprg), reserva y fuera de servicio (Mantenimiento, Mecánica, Eléctrica, MantExcl, MecExcl, SomExcl) con los cuales se puede determinar los indicadores operacionales: disponibilidad (Disp), utilización operativa (UT.OP), utilización efectiva (UT.EF), reserva en base disponible (Re/Dis), demoras programadas y no programadas en base disponible (Dpg/Dis y DNpr/Dis, respectivamente)

CODIELCO Orgullo de Todos Radomiro Tomic		DISPONIBILIDAD EQUIPOS RT																		
Fecha Inicial : 1/1/2012		Turno Inicial : A																		
Fecha Final : 31/1/2012		Turno Final : B																		
PERFORADORAS P1																				
FLOTA	HORAS											Porcentaje (%)								
	Efectivo	P/O	Detprog	DetNprg	Reserva	Mantenimiento	Mecánica	Eléctrica	MantExcl	MecExcl	ElecExcl	SomExcl	Total	Disp	UT.OP	UT.EF	Res/Dis	P/O/DIS	DPr/Dis	DNpr/Dis
DML (1)	383.14		44.94	167.64	20.19	51.11	76.65						744	82.8	96.7	62.2	3.28	0.00	7.30	27.22
PITVIPERFL1 (4)	1395.22		222.65	589.90	167.06	135.54	368.97	29.82			65.80		2975	79.8	93.0	58.8	7.03	0.00	9.38	24.84
PITVIPERFL2 (1)	309.83		53.86	134.69	44.04	40.72	156.98	2.68		1.16		0.04	744	72.9	91.9	57.1	8.12	0.00	9.93	24.83
ROCL8 M25 (3)	676.28		84.81	204.22	43.29	201.38	1004.74	14.83	1.76				2231	45.2	95.7	67.1	4.29	0.00	8.41	20.25
<b>TOTALES (9)</b>	<b>2764.47</b>		<b>406.26</b>	<b>1096.46</b>	<b>274.58</b>	<b>428.75</b>	<b>1607.34</b>	<b>47.33</b>	<b>1.76</b>	<b>1.16</b>	<b>65.80</b>	<b>0.04</b>	<b>6694</b>	<b>67.8</b>	<b>94.0</b>	<b>60.9</b>	<b>6.05</b>	<b>0.00</b>	<b>8.94</b>	<b>24.14</b>

Figura 69 - Reporte Disponibilidad Equipos RT

A partir de los reportes anteriores se realizó un consolidado que se puede observar en la Figura 70, Figura 71, Figura 72 y Figura 73.

La planificación de largo plazo considera los siguientes indicadores para la determinación de la flota requerida

Tabla 21 - Indicadores planificación largo plazo

Indicador	Porcentaje
Disponibilidad	<b>79.0</b>
Utilización nom.	<b>46.5</b>
Utilización disp.	<b>58.9</b>
Utilización op.	<b>90</b>
Reserva	<b>10</b>

		ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	Promedio	Min	Max	Desv
DML	Disp %	62.8	73.1	83.8	75.7	95.5	63.0	82.2	75.6	85.2	80.2	63.3	56.7	74.1	55.5	85.2	10.5
	Ut.Op %	96.7	94.2	98.4	96.7	95.8	96.1	95.5	96.9	97.5	93.7	97.1	98.6	96.4	93.7	98.6	1.5
	Ut.Ef %	62.2	66.3	75.3	67.7	63.8	66.3	66.0	64.4	65.5	63.3	67.6	63.7	66.1	62.2	75.3	3.4
	Res/Dis %	3.3	5.8	1.6	3.3	4.2	3.9	4.5	3.1	2.5	6.3	2.9	1.4	3.6	1.4	6.3	1.5
	DPPr/Dis %	7.3	7.4	9.1	9.4	11.4	10.1	5.4	8.8	6.9	6.9	5.9	5.4	8.2	5.4	11.4	1.8
DNPr/Dis %	27.2	20.5	14.0	19.6	20.6	19.1	19.8	23.7	25.2	23.5	23.6	23.5	22.2	14.0	29.5	4.1	
PITVIPERFL1	Disp %	79.8	53.9	36.1	57.2	78.9	56.9	84.1	90.8	74.1	66.0	74.7	72.1	68.7	36.1	90.8	15.3
	Ut.Op %	93.0	93.5	96.0	94.3	93.5	89.3	60.0	69.1	82.3	91.3	94.7	91.6	97.4	60.0	96.0	11.4
	Ut.Ef %	58.8	65.3	59.1	60.5	52.1	44.6	35.0	38.4	41.3	48.7	52.9	53.0	50.8	35.0	65.3	9.5
	Res/Dis %	7.0	6.5	4.0	5.7	6.5	10.7	40.0	30.9	17.8	8.7	5.3	8.4	12.6	4.0	40.0	11.4
	DPPr/Dis %	9.4	9.5	3.5	9.7	8.5	7.8	5.4	6.2	6.9	7.7	7.2	5.4	7.8	5.4	9.7	1.6
DNPr/Dis %	24.8	18.7	27.4	24.1	32.8	36.9	19.6	24.5	34.0	34.9	34.6	33.2	28.8	18.7	36.9	6.3	
PITVIPERFL2	Disp %	72.9	94.0	88.7	83.5	80.9	85.7	88.5	93.7	90.8	84.6	89.6	85.0	86.5	72.9	94.0	5.9
	Ut.Op %	91.9	96.4	97.3	93.3	93.4	87.2	87.3	91.5	92.8	95.8	96.0	96.0	93.2	87.2	97.3	3.4
	Ut.Ef %	57.1	61.3	67.8	61.4	54.6	32.6	48.0	50.1	55.4	58.6	54.9	51.5	54.4	32.6	67.8	8.8
	Res/Dis %	8.1	3.6	2.7	6.7	6.6	12.8	12.7	8.5	7.2	4.2	4.0	4.0	6.8	2.7	12.8	3.4
	DPPr/Dis %	9.9	9.3	10.6	9.5	9.0	5.1	7.9	7.2	9.3	7.2	6.5	4.8	8.0	4.8	10.6	1.9
DNPr/Dis %	24.8	25.8	18.9	22.4	29.8	49.5	31.4	34.2	28.0	30.1	34.5	39.7	30.8	18.9	49.5	8.2	
Roc L8	Disp %	45.2	58.7	75.1	61.3	71.8	58.0	62.3	82.3	90.9	81.6	80.9	91.0	71.6	45.2	91.0	14.5
	Ut.Op %	95.7	96.1	95.1	92.8	90.1	91.1	87.6	93.7	96.3	96.4	96.0	95.5	93.9	87.6	96.4	2.9
	Ut.Ef %	67.1	68.0	71.6	65.7	64.1	61.7	60.1	52.5	39.7	34.1	38.4	37.8	55.1	34.1	71.6	13.8
	Res/Dis %	4.3	3.9	4.9	7.2	9.9	8.9	12.4	6.3	3.7	3.6	4.0	4.5	6.1	3.6	12.4	2.9
	DPPr/Dis %	8.4	8.2	8.7	8.2	8.8	8.7	9.2	6.2	4.8	3.6	5.0	3.4	6.9	3.4	9.2	2.2
DNPr/Dis %	20.3	20.0	14.7	18.9	17.2	20.7	18.3	35.0	51.7	58.8	52.6	54.3	31.9	14.7	58.8	17.4	
Promedios	Disp %	67.8	62.8	62.0	66.2	75.4	66.2	79.2	87.9	84.3	76.6	79.4	79.1	73.9	62.0	87.9	8.6
	Ut.Op %	94.0	94.9	96.3	93.9	92.7	89.6	77.6	84.1	90.9	94.4	95.6	94.5	91.5	77.6	96.3	5.5
	Ut.Ef %	60.9	65.6	68.2	62.9	56.7	46.6	47.3	47.4	47.2	48.8	50.6	48.8	54.3	46.6	68.2	8.1
	Res/Dis %	6.1	5.1	3.7	6.1	7.3	10.4	22.4	15.9	9.1	5.6	4.4	5.5	8.5	3.7	22.4	5.5
	DPPr/Dis %	8.9	8.8	9.4	9.2	8.9	7.3	7.4	6.7	7.0	6.3	6.3	4.6	7.6	4.6	9.4	1.5
DNPr/Dis %	24.1	20.6	18.7	21.7	27.1	35.8	22.9	29.9	36.6	39.3	38.8	41.1	29.7	18.7	41.1	8.2	

Figura 70 - Indicadores mensuales 2012

		ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	Promedio	Min	Max	Desv
DML	Disp %	71.4	80.2	85.1	60.5	68.5	73.4	65.3	40.5	74.9	80.0	84.8	78.9	72.0	40.5	85.1	12.5
	Ut.Op %	97.7	97.8	80.4	94.7	96.9	95.3	95.2	90.6	96.4	95.3	95.4	94.6	94.2	80.4	97.8	4.7
	Ut.Ef %	68.1	58.5	46.5	56.1	59.9	56.1	57.7	61.7	71.5	68.8	69.2	64.0	61.5	46.5	71.5	7.2
	Res/Dis %	2.3	2.2	19.6	5.3	3.1	4.7	4.8	9.4	3.6	4.7	4.6	5.4	5.8	2.2	19.6	4.7
	DPPr/Dis %	8.0	7.2	4.9	7.7	9.4	10.1	10.3	6.7	10.5	10.0	8.9	8.5	8.5	4.9	10.5	1.7
DNPr/Dis %	21.6	32.1	29.0	30.9	27.6	20.0	27.2	22.1	14.4	16.5	17.3	22.0	24.1	14.4	32.1	6.0	
PITVIPERFL1	Disp %	73.2	76.4	79.9	56.5	53.0	80.4	73.8	68.9	68.5	69.2	73.0	74.9	70.6	53.0	80.4	8.4
	Ut.Op %	89.9	95.9	77.6	91.2	94.0	91.1	86.9	95.7	88.8	88.6	81.7	85.0	88.9	77.6	95.9	5.5
	Ut.Ef %	51.7	58.6	42.1	49.3	58.1	58.5	57.8	66.8	46.8	60.0	55.5	47.1	54.4	42.1	66.8	7.0
	Res/Dis %	10.1	4.1	22.4	8.8	6.0	8.9	13.1	4.3	11.2	11.4	18.3	15.0	11.1	4.1	22.4	5.5
	DPPr/Dis %	5.9	8.5	5.2	5.2	7.6	9.0	8.1	7.1	5.6	6.4	4.9	4.4	6.5	4.4	9.0	1.5
DNPr/Dis %	32.4	28.9	30.3	36.7	28.3	23.7	21.1	21.8	36.4	22.2	21.3	33.6	28.0	21.1	36.7	5.9	
PITVIPERFL2	Disp %	78.5	89.9	87.1	73.4	76.4	88.6	86.0	78.8	83.6	84.2	81.0	77.3	82.1	73.4	89.9	5.3
	Ut.Op %	93.8	93.1	82.1	85.7	95.3	91.9	96.0	96.1	90.6	87.3	65.3	88.3	88.8	65.3	96.1	8.6
	Ut.Ef %	57.2	55.1	43.2	53.3	61.6	57.3	69.0	65.1	61.2	51.4	40.4	59.2	56.2	40.4	69.0	8.3
	Res/Dis %	6.2	6.9	17.9	14.3	4.7	8.1	4.0	3.9	9.4	12.7	34.7	11.7	11.2	3.9	34.7	8.6
	DPPr/Dis %	6.7	7.1	5.2	5.1	7.9	6.2	7.1	5.5	5.4	5.3	4.2	5.8	6.0	4.2	7.9	1.0
DNPr/Dis %	30.0	30.9	33.7	27.4	25.8	28.4	19.9	25.4	24.0	30.6	20.7	23.2	26.7	19.9	33.7	4.3	
Roc L8	Disp %	43.7	52.2	68.5	69.9	75.8	72.5	63.8	58.5	66.9	63.0	54.9	65.3	62.9	43.7	75.8	9.2
	Ut.Op %	93.3	89.2	76.1	89.8	95.2	91.8	92.8	97.0	94.9	95.1	94.1	89.1	91.5	76.1	97.0	5.5
	Ut.Ef %	66.4	56.0	47.4	59.8	61.9	58.4	67.6	75.9	74.2	72.0	69.0	61.6	64.2	47.4	75.9	8.3
	Res/Dis %	6.7	10.8	23.9	10.2	4.8	8.3	7.2	3.0	5.1	4.9	5.9	10.9	8.5	3.0	23.9	5.5
	DPPr/Dis %	6.2	9.2	5.6	6.5	8.0	7.2	7.6	6.3	6.5	9.1	6.8	6.4	7.1	5.6	9.2	1.1
DNPr/Dis %	20.7	24.0	23.2	23.5	25.3	26.1	17.5	14.7	14.1	14.1	18.3	21.2	20.2	14.1	26.1	4.4	
Promedios	Disp %	66.1	73.8	79.0	65.2	67.7	79.2	72.8	65.5	72.3	71.8	70.9	73.1	71.5	65.2	79.2	4.7
	Ut.Op %	92.5	93.9	78.8	89.5	95.1	91.8	91.9	95.9	91.9	90.7	82.5	88.5	85.8	78.8	95.9	15.2
	Ut.Ef %	57.8	56.9	44.1	54.4	60.7	58.0	64.0	68.8	61.7	61.8	57.0	56.9	58.5	44.1	68.8	6.0
	Res/Dis %	7.5	6.1	21.2	10.5	4.9	8.2	8.1	4.1	8.1	9.3	17.5	11.5	9.7	4.1	21.2	5.0
	DPPr/Dis %	6.4	8.0	5.3	5.8	8.0	7.7	7.8	6.4	6.3	7.2	5.8	6.0	6.7	5.3	8.0	1.0
DNPr/Dis %	28.4	28.9	29.4	29.3	26.4	26.2	20.1	20.7	23.9	21.8	19.7	25.7	25.0	19.7	29.4	3.7	

Figura 71 - Indicadores mensuales 2013

		ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	Promedio	Min	Max	Desv
DML	Disp %	85.8	81.0	89.9	86.8	84.4	84.6	86.9	82.9	85.6	84.6	83.2	80.9	79.7	62.9	89.9	9.4
	Ut.Op %	96.1	96.6	95.8	96.1	94.7	94.2	87.3	89.1	88.4	86.8	86.9	89.3	91.7	86.8	96.1	4.0
	Ut.Ef %	62.9	67.0	62.1	63.6	60.9	62.9	59.9	57.3	57.9	60.0	59.2	57.8	61.0	57.3	67.0	2.9
	Res/Dis %	3.9	4.4	4.2	3.9	5.3	5.8	12.7	10.9	11.6	13.2	13.1	10.7	8.3	3.9	13.2	4.0
	DPr/Dis %	7.7	7.3	7.2	8.3	7.1	7.5	6.5	9.0	9.1	9.0	8.7	8.9	8.0	6.5	9.1	0.9
DNpr/Dis %	25.5	21.3	26.5	24.2	26.7	23.8	20.9	22.9	21.3	17.9	19.0	22.6	22.7	17.9	26.7	2.8	
PITVIPERFL1	Disp %	75.2	77.6	79.1	80.7	71.1	77.8	75.1	76.8	74.8	69.3	64.3	57.9	73.3	57.9	80.7	6.7
	Ut.Op %	79.8	91.0	74.5	91.9	88.8	86.1	79.1	87.2	88.7	88.4	88.1	87.6	95.9	74.5	91.9	5.3
	Ut.Ef %	42.0	47.6	35.4	43.5	48.9	29.1	52.1	53.2	62.0	61.5	60.2	51.1	48.9	29.1	62.0	10.2
	Res/Dis %	20.2	9.0	25.5	8.1	11.2	13.9	20.9	12.8	11.3	11.6	11.9	12.4	14.1	8.1	25.5	5.3
	DPr/Dis %	5.5	5.0	7.1	4.2	5.7	4.3	6.3	6.8	7.1	7.3	6.2	6.7	6.0	4.2	7.3	1.1
DNpr/Dis %	32.3	38.4	32.0	44.2	34.2	52.7	20.8	27.2	19.6	19.7	21.6	23.8	31.0	19.6	52.7	10.4	
PITVIPERFL2	Disp %	77.3	73.5	77.9	85.4	91.7	86.7	84.9	76.6	80.0	84.5	78.4	79.8	81.4	73.5	91.7	5.2
	Ut.Op %	83.6	85.0	86.0	85.3	94.1	94.4	89.2	87.1	88.8	88.7	86.3	86.5	87.9	83.6	94.4	3.4
	Ut.Ef %	57.3	55.4	64.0	45.9	58.4	61.0	52.6	55.9	64.3	60.2	61.5	59.3	58.0	45.9	64.3	5.1
	Res/Dis %	16.4	15.0	14.0	14.7	5.9	5.6	10.8	12.9	11.2	11.3	13.7	13.5	12.1	5.6	16.4	3.4
	DPr/Dis %	5.3	7.1	5.8	5.2	4.8	6.1	6.6	6.1	8.6	7.8	6.8	7.1	6.4	4.8	8.6	1.1
DNpr/Dis %	20.9	22.4	16.2	34.1	30.9	27.3	30.0	25.1	16.0	20.7	18.1	20.2	23.5	16.0	34.1	6.0	
Roc L8	Disp %	53.2	53.2	51.5	55.6	69.1	49.2	59.4	50.4	49.4	55.5	50.4	56.7	54.5	49.2	69.1	5.6
	Ut.Op %	91.5	94.4	91.5	93.5	87.8	91.8	74.9	79.7	81.3	85.5	83.0	78.0	86.1	74.9	94.4	6.6
	Ut.Ef %	59.2	60.0	66.7	64.4	61.2	63.5	42.9	50.2	53.8	56.8	55.2	53.1	57.3	42.9	66.7	6.7
	Res/Dis %	8.5	5.6	8.6	6.5	12.2	8.2	25.1	20.3	18.7	14.5	17.0	22.0	13.9	5.6	25.1	6.6
	DPr/Dis %	6.9	9.6	7.4	8.0	7.3	7.0	6.2	7.9	8.3	8.5	8.9	6.6	7.7	6.2	9.6	1.0
DNpr/Dis %	25.5	24.8	17.3	21.2	19.3	21.3	25.8	21.7	19.2	20.2	18.8	18.3	21.1	17.3	25.8	2.9	
Promedios	Disp %	70.6	69.7	72.0	75.0	77.3	69.0	71.3	66.5	69.8	70.9	66.1	66.0	70.4	66.0	77.3	3.4
	Ut.Op %	86.5	91.2	85.2	91.3	90.9	90.9	82.0	86.7	87.1	87.5	86.2	85.0	87.5	82.0	91.3	3.0
	Ut.Ef %	53.8	55.9	54.6	52.5	56.9	50.8	51.0	53.8	60.1	59.7	59.2	55.1	55.3	50.8	60.1	3.2
	Res/Dis %	13.5	8.9	14.8	8.7	9.1	9.1	18.0	14.3	12.9	12.5	13.8	15.0	12.5	8.7	18.0	3.0
	DPr/Dis %	6.2	7.0	6.9	6.1	6.1	5.9	6.4	7.2	8.1	8.0	7.5	7.2	6.9	5.9	8.1	0.8
DNpr/Dis %	26.6	28.3	23.8	32.7	27.9	34.3	24.6	24.7	18.9	19.8	19.5	22.7	25.3	18.9	34.3	5.0	

Figura 72 - Indicadores mensuales 2014

		ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	Promedio	Min	Max	Desv
DML	Disp %	80.6	81.3	64.1	72.8	68.6	70.3	9.4	89.9	7.5
	Ut.Op %	87.3	90.6	91.0	92.9	90.2	90.4	4.0	96.1	2.0
	Ut.Ef %	60.7	59.9	63.8	65.0	58.6	61.6	2.9	67.0	2.7
	Res/Dis %	12.7	9.4	9.0	7.1	9.9	9.6	3.9	13.2	2.0
	DPr/Dis %	8.1	7.2	8.7	8.0	9.6	8.3	0.9	9.6	0.9
DNpr/Dis %	18.4	23.5	18.6	19.9	22.0	20.5	2.8	26.7	2.2	
PITVIPERFL1	Disp %	74.6	67.9	74.0	71.4	69.5	71.5	6.7	80.7	2.9
	Ut.Op %	82.9	86.1	88.7	90.4	91.2	87.9	5.3	91.9	3.4
	Ut.Ef %	51.2	59.3	62.8	63.1	65.1	60.3	10.2	65.1	5.5
	Res/Dis %	17.1	13.9	11.3	9.6	8.8	12.1	5.3	25.5	3.4
	DPr/Dis %	7.3	6.1	7.2	7.9	8.6	7.4	1.1	8.6	0.9
DNpr/Dis %	24.4	20.7	18.7	19.4	17.5	20.1	10.4	52.7	2.6	
PITVIPERFL2	Disp %	76.0	81.8	72.6	69.3	67.5	73.4	5.2	91.7	5.7
	Ut.Op %	85.5	91.7	92.0	92.2	94.5	91.2	3.4	94.5	3.4
	Ut.Ef %	59.1	65.0	64.9	65.6	67.9	64.5	5.1	67.9	3.3
	Res/Dis %	14.5	8.3	8.0	7.8	5.5	8.8	3.4	16.4	3.3
	DPr/Dis %	5.5	7.2	6.5	6.5	7.6	6.7	1.1	8.6	0.8
DNpr/Dis %	20.9	19.6	20.7	20.0	18.9	20.0	6.0	34.1	0.8	
Roc L8	Disp %	66.1	76.5	61.8	66.2	61.8	66.5	5.6	76.5	6.0
	Ut.Op %	67.9	73.3	79.3	83.3	84.8	77.7	6.6	94.4	7.1
	Ut.Ef %	45.9	47.9	44.5	53.4	57.3	49.8	6.7	66.7	5.4
	Res/Dis %	32.1	26.7	20.8	16.7	15.3	22.3	5.6	32.1	7.0
	DPr/Dis %	5.3	6.4	6.6	9.1	9.8	7.5	1.0	9.8	1.9
DNpr/Dis %	16.7	19.0	28.2	20.8	17.7	20.5	2.9	28.2	4.6	

Figura 73 - Indicadores mensuales 2015

A partir de la Tabla 21 se comparan los indicadores promedio por flota obtenidos en el periodo de estudio con los planificados por largo plazo, como se muestra en la siguiente figura

		Prom	Min	Max	Desv	Dif. Plan
DML	Disp %	75.0	40.5	89.9	10.6	-4.0
	Ut.Op %	93.7	80.4	98.6	4.1	3.7
	Ut.Ef %	62.7	46.5	75.3	5.0	3.8
	Res/Dis %	6.3	1.4	19.6	4.1	-3.7
	DPPr/Dis %	8.2	4.9	11.4	1.4	
DNPr/Dis %	22.7	14.0	32.1	4.3		
PITVIPERFL1	Disp %	71.0	36.1	90.8	10.0	-8.0
	Ut.Op %	87.5	60.0	96.0	7.4	-2.5
	Ut.Ef %	52.4	29.1	66.8	9.1	-6.5
	Res/Dis %	12.5	4.0	40.0	7.4	2.5
	DPPr/Dis %	6.8	4.2	9.7	1.5	
DNPr/Dis %	28.2	17.5	52.7	7.9		
PITVIPERFL2	Disp %	82.1	67.5	94.0	6.6	-3.1
	Ut.Op %	90.1	65.3	97.3	5.7	0.1
	Ut.Ef %	57.2	32.6	69.0	7.6	-1.7
	Res/Dis %	9.9	2.7	34.7	5.7	-0.1
	DPPr/Dis %	6.8	4.2	10.6	1.5	
DNPr/Dis %	26.1	16.0	49.5	6.8		
Roc L8	Disp %	63.4	43.7	91.0	11.8	-15.6
	Ut.Op %	88.9	67.9	97.0	7.4	-1.1
	Ut.Ef %	57.7	34.1	75.9	10.5	-1.2
	Res/Dis %	11.1	3.0	32.1	7.4	1.1
	DPPr/Dis %	7.3	3.4	9.8	1.5	
DNPr/Dis %	23.9	14.1	58.8	10.9		

Figura 74 - Estadísticas indicadores mensuales

Adicionalmente, se identifica la cantidad de equipos en el periodo, como lo muestra la siguiente figura

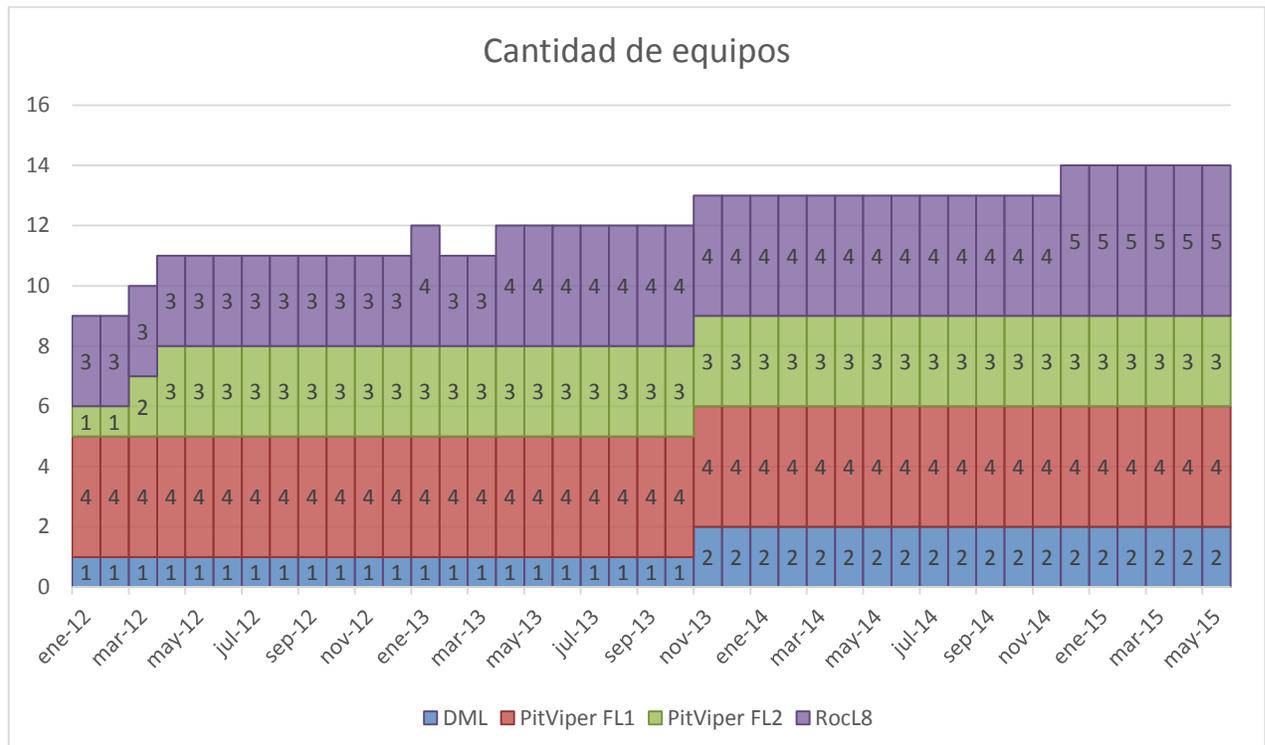


Figura 75 - Gráfico cantidad de equipos

A partir de la información anterior se grafican los indicadores por flota a lo largo del periodo y por años, con esto se determina que no hay un patrón de comportamiento que se asocie al mes, motivo por el cual se seleccionaron 3 meses que tuvieran valores altos, intermedios y bajos, resultando marzo, mayo y agosto los periodos de estudio, para un mayor detalle diario o de turno.

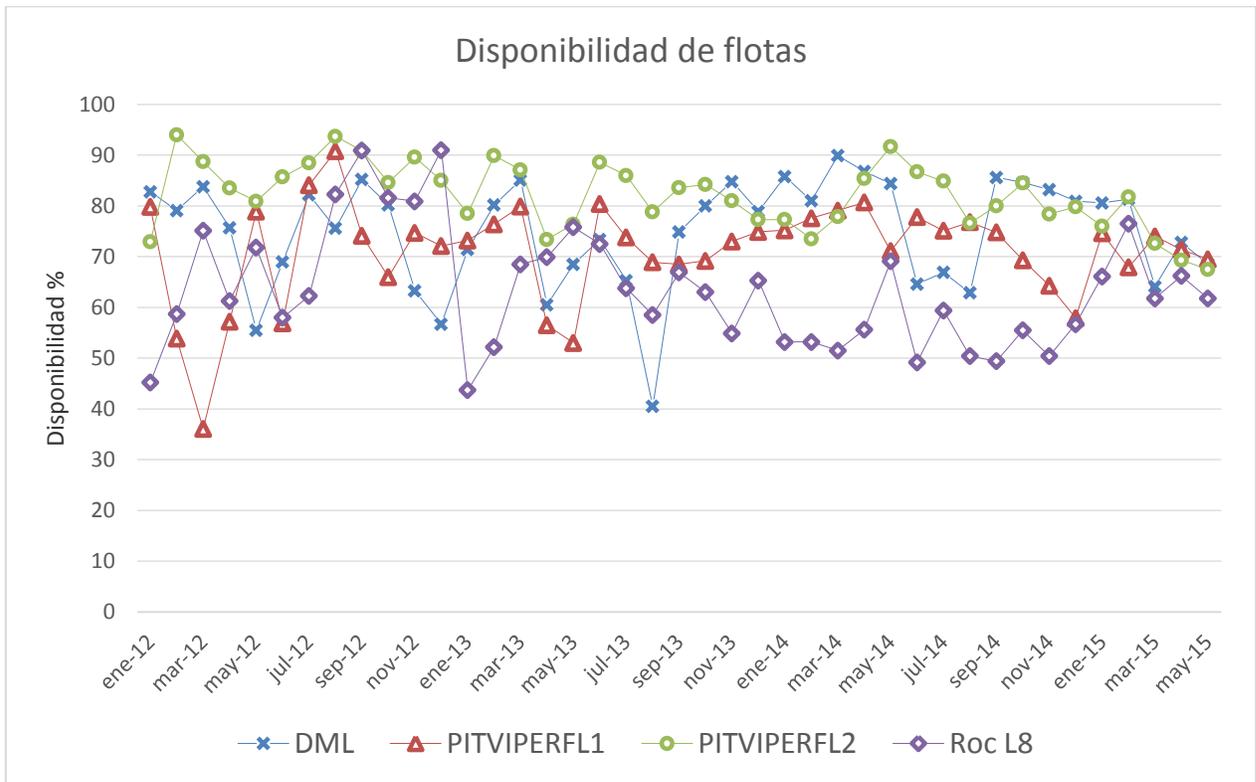


Figura 76 - Gráfico disponibilidad de flotas

En la Figura 76, se puede observar que la disponibilidad presenta alta variabilidad y gran parte de los peak se pueden explicar por ingreso de equipos nuevos y *overall*, así como las caídas se pueden relacionar por grandes mantenencias programadas o por fallas que requieren reparaciones significativas, lo que implica que equipos se encuentran fuera de servicio por un tiempo prolongado.

Por otro lado, se observa que las flotas Pit Viper tienen un comportamiento similar, sin embargo, la disponibilidad de la flota 1 está por debajo de la flota 2, lo que se asocia directamente a la antigüedad de los equipos.

A continuación, se presentan los gráficos de disponibilidad por flota de forma anual, en los cuales se puede observar de mejor manera que no existen tendencias claras de comportamiento.

En la Figura 77 se aprecia que para la flota DML los meses de febrero, junio y octubre presentan valores muy similares para todos los años de estudio.

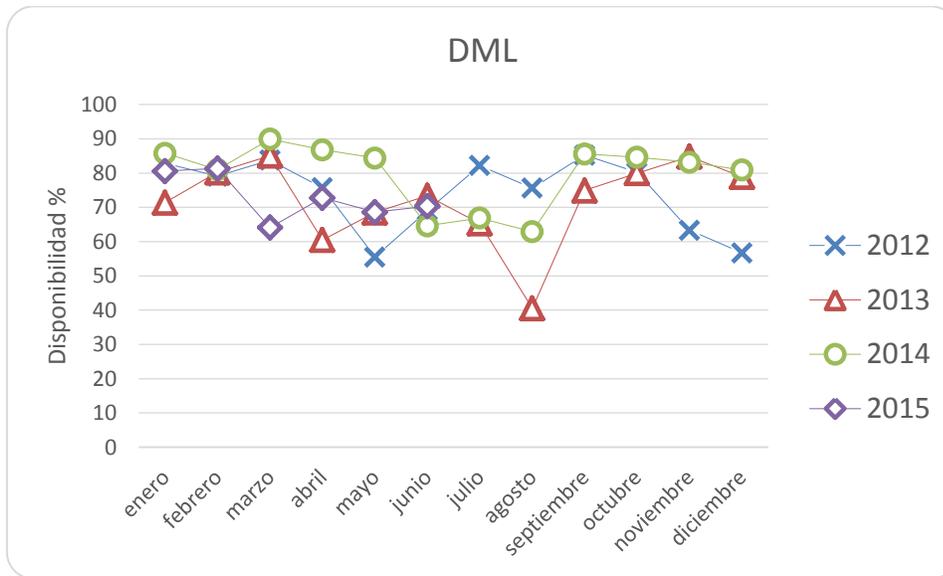


Figura 77 - Disponibilidad DML por año

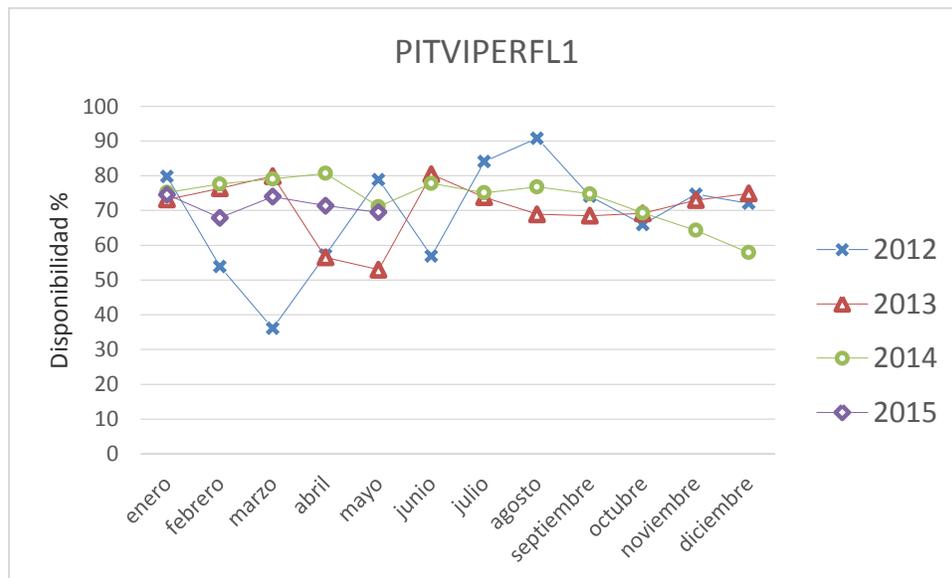


Figura 78 - Disponibilidad Pit Viper FL1

A partir de la figura anterior es posible notar que en octubre se tienen valores similares en los distintos años, sin embargo, se ve un empeoramiento en los meses de noviembre y diciembre, comparados con las tendencias presentadas en 2012 y 2013. Por otro lado se tiene que en el mes de enero las disponibilidades son muy parecidas en los distintos años.

Al comparar la Figura 78 y la Figura 79 se puede notar que la flota 2 tiene mejores disponibilidades que se asocian a que ésta es más nueva que la flota 1. En efecto, para la flota 2 gran parte de las disponibilidades se encuentra ente el 75 y 95%, mientras que para la flota 1 la mayoría se ubica entre un 70 y 80%.

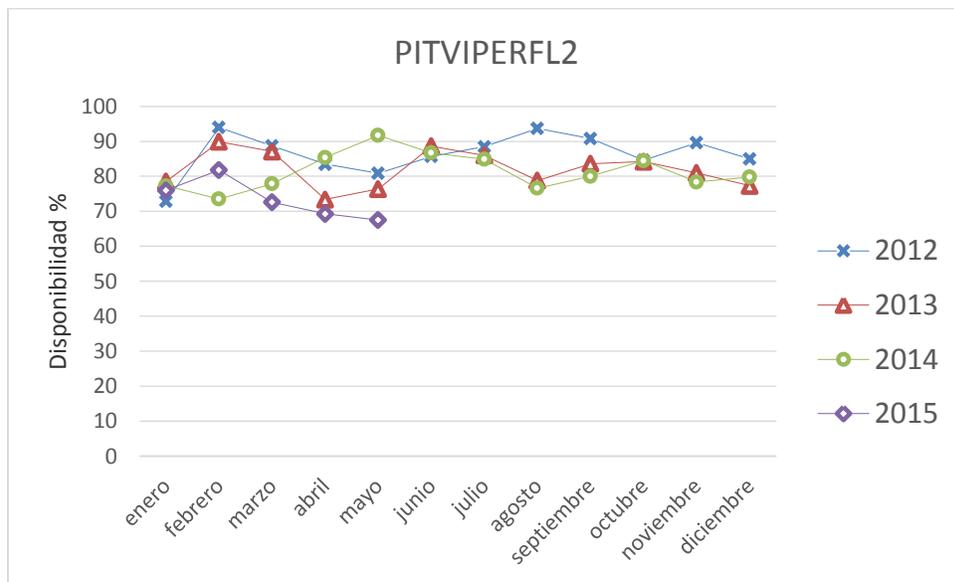


Figura 79 - Disponibilidad Pit Viper FL2

En la Figura 79 se observa que el comportamiento en 2013 y 2014 es muy similar entre los meses de junio y diciembre, mientras que por otro lado, en 2015 se observa una disminución sostenida a partir de febrero. Cabe destacar, que los meses de enero, junio y octubre las disponibilidades son muy parecidas.

En la Figura 80 se puede observar que en general la disponibilidad ha disminuido con los años, sin embargo, el 2015 se ve un incremento a partir de enero versus lo acontecido en 2014 debido al ingreso de un nuevo equipo en diciembre de 2014, se nota además, que el indicador es muy similar en el mes de julio para todos los años.

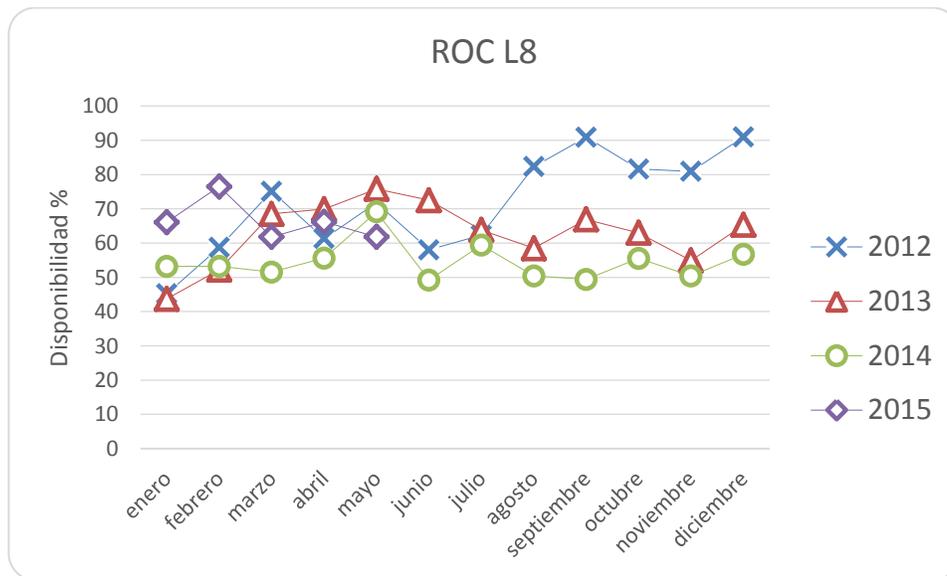


Figura 80 - Disponibilidad ROC L8

Adicionalmente, se estudia la utilización operativa y reservas para cada flota de equipos, como lo muestran los siguientes gráficos

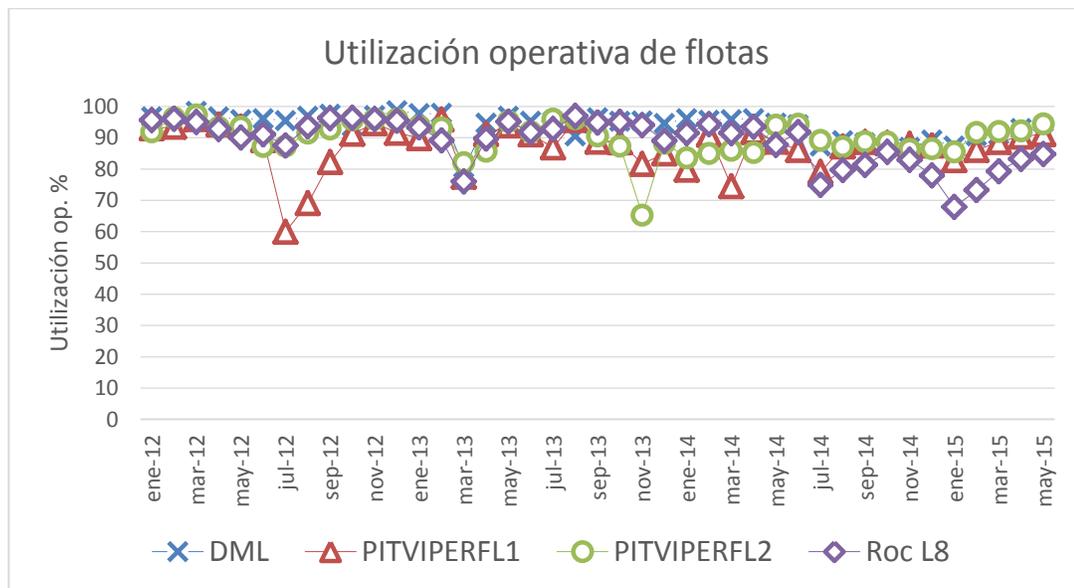


Figura 81 - Utilización operativa por flota

Como se puede observar en la figura anterior, la banda de valores se encuentra entre 80 y 100%, sin embargo, se tiene una tendencia errática para la flota PITVIPER 1 y ROC L8, en que se tienen periodos con tendencias a la baja y luego se observan incrementos, por lo que se puede establecer que esta variable, en general, no se encuentra controlada y se ve afectada por correspondencia por la inestabilidad de la variable reserva. En el mes de marzo de 2013 se ve un peak negativo en todas las flotas y se asocia al accidente fatal de la División, que llevó a la paralización de la faena. Cabe destacar que a partir de marzo de 2015 se observa una tendencia al alza en este indicador y por tanto a partir de medidas implementadas se tiene como resultado una maximización en el uso de los recursos, no obstante en la flota de las perforadoras de control pared hay un espacio de mejora pues apenas supera el 80% mientras que las de producción se encuentran en torno al 90%.

Un indicador clave que justifica en gran medida las reservas es el ausentismo, sin embargo, no se pudo acceder a esta información para establecer su correlación. Es importante recalcar, que en el caso de DRT los operadores son polifuncionales, por lo que muchos de los operadores de perforadoras lo son también de equipos de carguío y camiones y por tanto, cuando hay menor dotación en un turno se favorecen los equipos mal llamados “productivos” en desmedro de la perforación.

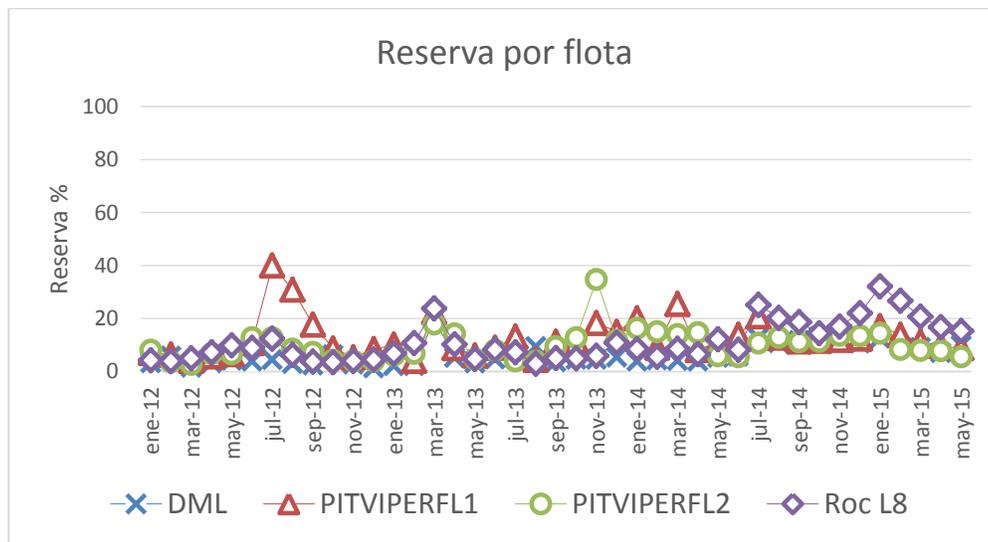


Figura 82 - Reservas por flota

Las reservas a partir de julio de 2014 experimentan un incremento para todas las flotas, manteniendo sus valores en una banda que supera el 10% en base disponible. Se puede observar que en el caso de las perforadoras de control pared se tiene una mayor subutilización de los activos asociado a reservas, lo que en un 80% de las veces se asocia a estar sin operador.

Si bien en la Figura 82, se puede ver que a contar de enero 2015 se tiene una tendencia a la baja significativa, que en las perforadoras de producción baja de la banda del 10% y esto es asociado a que se estableció como medida de la dirección de la mina que cada vez que se pusiera una perforadora en reserva debía ser justificado. En el caso de la flota ROC L8 se tiene una tendencia más pronunciada a la baja, sin embargo, hasta mayo aún no se lograban valores entorno al 10% que es el valor con el que planifican a mediano y largo plazo.

Gran parte de las reservas sin operador se registran al inicio de la jornada (posterior al cambio de turno), después del almuerzo y después de un estado fuera de servicio. Lo que se atribuye en el caso de las 2 primeras, a que se privilegian camiones y equipos de carguío para el traslado de personal y en la última no existe una adecuada coordinación entre las áreas para tener un operador al momento de la entrega del equipo por parte de mantención.

Por otro lado, se tienen la utilización efectiva y las demoras programadas y no programadas

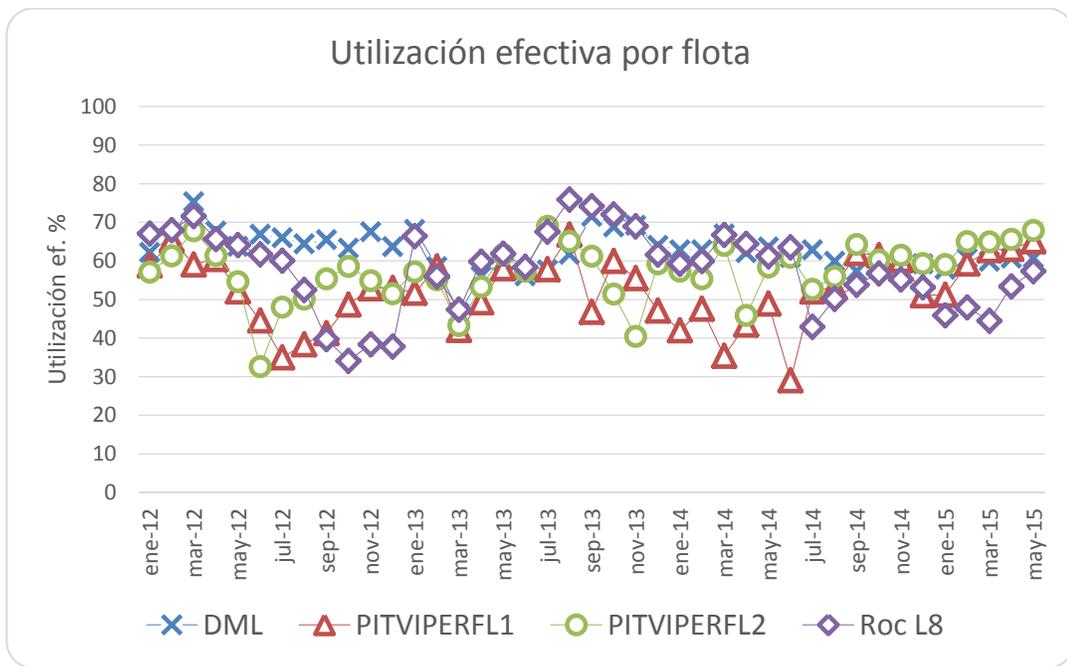


Figura 83 - Utilización efectivas por flota

En la figura anterior, es posible observar una alta variabilidad de la utilización efectiva en todas las flotas, sin embargo, a contar de julio de 2014 se obtienen resultados más controlados en una banda entre el 40% y 70% en base disponible.

Las flotas DML y ROC tienen una tendencia a la baja en la utilización efectiva, mientras que ambas flotas PITVIPER tienen una leve tendencia al alza, lo que se ve de igual manera en el periodo 2015.

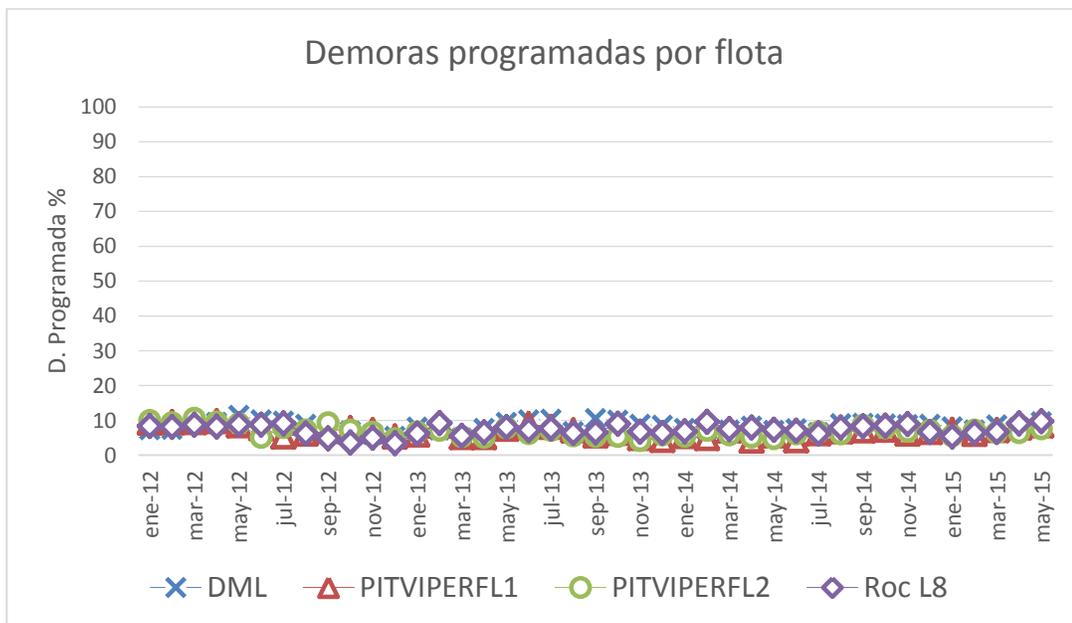


Figura 84 - Demoras programadas por flota

Las demoras programadas son valores que se encuentran mucho más controlados y que están entorno al 10% para todas las flotas, sin embargo, este valor no es completamente real, pues se considera que el cambio de turno es uno de sus componentes y al iniciar el turno, el sistema considera un máximo de 15 minutos y luego el estado automáticamente cambia a reserva sin operador.

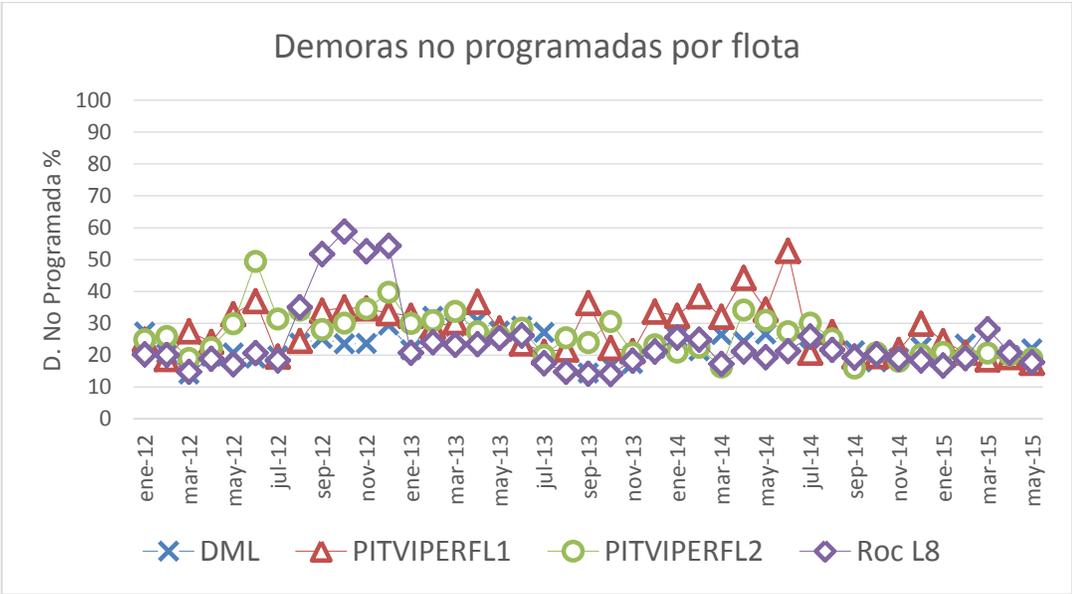


Figura 85 - Demoras no programadas por flota

De igual forma que en los indicadores antes estudiados, la Figura 85 muestra que a contar de los resultados de julio 2014 se tiene una variable más controlada y que se mantiene en el rango de los 20% y 30% en base disponible, porcentaje que de reducirse se adiciona directamente al tiempo efectivo, favoreciendo la utilización efectiva de los equipos y por tanto, mejorando la gestión y maximización del uso de los activos.

## B.2. ADQUISICIÓN Y CONSOLIDACIÓN ESTADOS POR TURNOS

Para los meses antes seleccionados, se extraen planillas por turno, de esta forma se requiere analizar un total de 682 archivos que contienen información detallada de los estados de cada perforadora durante el turno como lo muestra en la siguiente figura

Equipo	Fecha - Hora	Fecha Hora Final	Duracion	Codigo	Categoria	Descripcion	Comentario
<b>PE107</b>							
	02/08/2013	02/08/2013	0:8:3	55	D.Noprq	DEMORA POR SELLO	''''
	02/08/2013	02/08/2013	1:28:51	1	Efectivo	PRODUCCION	''''
	02/08/2013	02/08/2013	0:23:26	91	D.Noprq	ABASTECIMIENTO DE AGUA	''''
	02/08/2013	02/08/2013	2:9:40	1	Efectivo	PRODUCCION	''''
	02/08/2013	02/08/2013	0:30:0	2	D.Prq	COLACION	''''
	02/08/2013	02/08/2013	1:32:8	1	Efectivo	PRODUCCION	Tiempo de Colacion Expirado
	02/08/2013	02/08/2013	2:39:54	1	Efectivo	PRODUCCION	''''
	02/08/2013	02/08/2013	0:6:28	91	D.Noprq	ABASTECIMIENTO DE AGUA	''''
	02/08/2013	02/08/2013	2:46:38	1	Efectivo	PRODUCCION	''''
	02/08/2013	02/08/2013	0:14:52	1	D.Prq	CAMBIO DE TURNO	Automatico
<b>Subtotal PE107</b>			<b>12:0:0</b>				
<b>PE108</b>							
	02/08/2013	02/08/2013	7:47:33	652	Mecanica	MEC. TERRENO	''''
	02/08/2013	02/08/2013	3:57:35	1	Efectivo	PRODUCCION	''''
	02/08/2013	02/08/2013	0:14:52	652	Mecanica	MEC. TERRENO	Automatico
<b>Subtotal PE108</b>			<b>12:0:0</b>				

Figura 86 - Reporte Estado por Equipos

La Figura 86 muestra cada perforadora y la duración que tiene cada uno de sus estados durante el turno, detallando la categoría a la que pertenece y su respectiva descripción, donde la categoría corresponde a las clasificaciones de tiempo de la norma ASARCO.

Dado que las demoras no programadas engloban todo tipo de interferencia, las descripciones permiten estudiar aquellas demoras que explican el 80% del tiempo que es perdido, con el fin de establecer un modelo predictivo de la productividad de las flotas de perforadoras y proponer la implementación de una metodología de mejoramiento continuo para optimizar la gestión de las interferencias que permita conseguir oportunidades de mejoras en el proceso, que es la finalidad de este trabajo.

Debido a la gran cantidad de archivos que se deben analizar, se opta por un procesamiento automatizado con el *software Matlab* que sigue la siguiente lógica

1. Abre archivos Excel nombrados de la forma DD-MM-AAAA T, donde DD corresponde al día, MM al mes y AAAA al año, mientras que T se asocia al turno (A o B). Al iniciar el programa se debe ingresar el día de inicio y de término que se procesará, con el formato 'DD-MM-AAAA'
2. Dentro del archivo identifica la perforadora y luego busca el estado (categoría y descripción)

3. Con el estado identificado busca la duración del estado
4. Busca si el estado se repite y suma todos los estados con la misma descripción dentro de un turno por perforadora.
5. Guarda la información en un archivo *Excel* llamado *Compilado RT*, el cual almacena la información como lo muestra la siguiente figura

Año	Mes	Día	Turno	Equipo	Categoría	Descripción	Duración
2015	5	1	A	P-30	Mecanica	MEC. TERRENO	12
2015	5	1	A	P-31	Mantenció	TERRENO	12
2015	5	1	A	P-32	Mecanica	MEC. TERRENO	12
2015	5	1	A	P-34	Mecanica	MEC. TERRENO	5.207222
2015	5	1	A	P-34	D.Noprgr	CAMBIO DE ACEROS	2.709722
2015	5	1	A	P-34	Efectivo	PRODUCCION	3.835556
2015	5	1	A	P-34	D.Prg	CAMBIO DE TURNO	0.2475
2015	5	1	A	P-35	D.Prg	CAMBIO DE TURNO	0.2525
2015	5	1	A	P-35	Reserva	SIN OPERADOR	0.337222
2015	5	1	A	P-35	Efectivo	PRODUCCION	2.470278
2015	5	1	A	P-35	D.Noprgr	LIMPIEZA DE CANCHA	1.161389
2015	5	1	A	P-35	D.Noprgr	COMBUSTIBLE	6.260833
2015	5	1	A	P-35	D.Noprgr	TRASLADO DE PERFORADORA	1.517778
2015	5	1	A	PE107	D.Prg	CAMBIO DE TURNO	0.5
2015	5	1	A	PE107	Reserva	SIN OPERADOR	1.999167
2015	5	1	A	PE107	D.Noprgr	CHEQUEO DE EQUIPO	0.056389
2015	5	1	A	PE107	Efectivo	PRODUCCION	7.383889
2015	5	1	A	PE107	D.Prg	COLACION	1
2015	5	1	A	PE107	D.Noprgr	ABASTECIMIENTO DE AGUA	0.147778
2015	5	1	A	PE107	D.Noprgr	TRONADURA	0.423889
2015	5	1	A	PE107	Mecanica	SISTEMA HIDRAULICO	0.488889
2015	5	1	A	PE108	D.Prg	CAMBIO DE TURNO	0.099444

Figura 87 - Ejemplo planilla *Compilado RT*

El programa es corrido de forma mensual, debido a que no existe continuidad entre los meses de estudio, cada planilla de compilado mensual es copiada en la planilla consolidada RT que corresponde a la base de datos de estudio.

### B.2.1. CÓDIGO MATLAB

A continuación se muestran los códigos Matlab utilizados para generar la base de datos de acuerdo a la lógica antes descrita.

El archivo 'consolidado.m' es el archivo principal que usará las funciones que se describen más adelante. Al ser iniciado el programa se debe ingresar la fecha de inicio y término que se evaluarán los estados de los equipos. Cabe destacar que los archivos deben ser guardados en la misma carpeta donde están contenidos los archivos Matlab.

Lo primero que hace el programa, es abrir archivo por archivo y revisarlos, identificando los equipos y sumando los estados con misma descripción. Entrega un archivo con las siguientes columnas: año, mes, día, turno, equipo, categoría, descripción y duración.

```

% Limpieza
clear
clc
% Se solicita fechas de inicio y término en formato string
date1=input('Ingrese fecha de inicio periodo en formato string DD-MM-AAAA: ');
date2=input('Ingrese fecha de término periodo en formato string DD-MM-AAAA: ');
% Genera todas las fechas comprendidas en el periodo
periodo=calendario(date1,date2);
aux1=size(periodo);
cont=2;
filename2='Compilado RT.xlsx';
% Iteración revisión documentos
escri={};
for i=1:aux1(1,1)
    turno='';
    for j=1:2
        aux2=periodo(i,:);
        ano=str2double(aux2(7:10));
        mes=str2double(aux2(4:5));
        dia=str2double(aux2(1:2));
        if j==1
            turno=' A';
        else
            turno=' B';
        end
        filename=[aux2,turno,'.xls'];
        [equipos,rango_filas]=buscar_equipo(filename);
        aux3=length(equipos);
        for k=1:aux3
            equipo=equipos{k,:};
            [~,~,raw]=xlsread(filename);
            ini=rango_filas(k,1);
            fin=rango_filas(k,2);
            categ=raw(ini:fin,20);
            desc=raw(ini:fin,23);
            tiemp=time2horas(raw(ini:fin,13));
            [categ_out,desc_out,tiemp_out]=sumar_iguales(categ,desc,tiemp);
            aux4=length(categ_out);
            for l=1:aux4
                aux5=categ_out{l,:};
                aux6=desc_out{l,:};
                aux7=tiemp_out(l,:);
                escri_aux={ano,mes,dia,turno,equipo,aux5,aux6,aux7};
                escri=[escri;escri_aux];
                %           xlswrite(filename2,ano,'Consolidado',['A',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,mes,'Consolidado',['B',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,dia,'Consolidado',['C',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,turno,'Consolidado',['D',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,equipo,'Consolidado',['E',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,categ_out,'Consolidado',['F',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,desc_out,'Consolidado',['G',num2str(cont)]);
                %           xlswrite(filename2,tiemp_out,'Consolidado',['H',num2str(cont)]);
                cont=cont+1;
                disp(escri_aux)
            %           disp(['Iteraciones: ',num2str(cont)]);
            end
        end
    end
end
xlswrite(filename2,escri,'Consolidado',['A2:H',num2str(cont)]);

```

Figura 88 - Código principal consolidado.m

Al archivo 'calendario.m' se le debe entregar una fecha de inicio con formato DD-MM-AAAA y genera las fechas continuas entre el inicio y fin, con el objetivo de generar los nombres de los archivos Excel en estudio.

```

function out=calendario(date1,date2)
% dateN: XX-YY-ZZZZ
year1=str2double(date1(7:10));
year2=str2double(date2(7:10));
month1=str2double(date1(4:5));
month2=str2double(date2(4:5));
day1=str2double(date1(1:2));
day2=str2double(date2(1:2));
out=[];
aux1=month1;
aux2=12;
aux3=day1;
for i=year1:year2
    if i==year2
        aux2=month2;
    end
    for j=aux1:aux2
        aux4=dias(j,i);
        if i==year2 && j==month2
            aux4=day2;
        end
        for k=aux3:aux4
            if k<=9 && j<=9
                aux5=['0',num2str(k),'-', '0',num2str(j),'-',num2str(i)];
            elseif k<=9 && j>9
                aux5=['0',num2str(k),'-',num2str(j),'-',num2str(i)];
            elseif k>9 && j<=9
                aux5=[num2str(k),'-', '0',num2str(j),'-',num2str(i)];
            elseif k>9 && j>9
                aux5=[num2str(k),'-',num2str(j),'-',num2str(i)];
            end
            out=[out;aux5];
        end
        aux3=1;
    end
    aux1=1;
end
end

function out=dias(mes,ano)
if mes==1 || mes==3 || mes==5 || mes==7 || mes==8 || mes==10 || mes==12
    out=31;
elseif mes==4 || mes==6 || mes==9 || mes==11
    out=30;
elseif mes==2 && rem(ano,4)==0
    out=29;
elseif mes==2 && rem(ano,4)~=0
    out=28;
end
end

```

Figura 89 - Código calendario.m

El archivo 'buscar\_equipo.m' identifica el equipo del cual se describen los estados, entregando el nombre, su ubicación y el número de filas que tienen estados asociados a la perforadora en cuestión.

```

function [equipos,rango_filas]=buscar_equipo(filename)
[~,~,raw]=xlsread(filename);
aux=[];
[filas,~]=size(raw);
B=raw(:,2);
B(cellfun(@B any(isnan(B)),B))={'EMPTY'};
for i=1:filas
    aux2=B(i);
    if strcmp(aux2,'EMPTY')==0 && i>13
        aux=[aux;i];
    end
end
aux3=length(aux);
rango_filas=zeros(round(aux3/2)-1,2);
equipos={};
cont=1;
for i=1:2:aux3-2
    a=aux(i)+1;
    b=aux(i+1)-1;
    rango_filas(cont,:)=[a,b];
    cont=cont+1;
    equipos=[equipos;B(aux(i))];
end
end

```

Figura 90 – Código buscar\_equipo.m

El archivo 'time2horas.m' toma un dato de tiempo en formato hh:mm:ss y lo transforma en horas en formato decimal.

```

function out=time2horas(in)
aux1=length(in);
out=zeros(aux1,1);
for i=1:aux1
    aux2=char(in(i));
    aux3=find(aux2==' ');
    hour=str2double(aux2(1:aux3(1)-1));
    min=str2double(aux2(aux3(1)+1:aux3(2)-1));
    sec=str2double(aux2(aux3(2)+1:length(aux2)));
    out(i,1)=hour+min/60+sec/(60*60);
end
end

```

Figura 91 - Código time2horas.m

El archivo 'sumar\_iguales.m' identifica los estados que para un mismo día, turno y perforadora se repiten en categoría y descripción y suma los tiempos.

```

function [categ_out,desc_out,tiemp_out]=sumar_iguales(categ,desc,tiemp)
aux1=length(tiemp);
categ_out=[];
desc_out=[];
tiemp_out=[];
for i=1:aux1
    if strcmp(desc(i),'EMPTY')==0
        categ_out=[categ_out;categ(i)];
        desc_out=[desc_out;desc(i)];
        aux2=tiemp(i);
        for j=1:aux1
            if i~=j && strcmp(desc(i),desc(j))==1
                aux2=aux2+tiemp(j);
                desc(j)={'EMPTY'};
            end
        end
        tiemp_out=[tiemp_out;aux2];
    end
end
end
end

```

Figura 92 - Código 'sumar\_iguales.m'

### B.3. ADQUISICIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE UBICACIÓN Y PRODUCCIÓN

A través del reporte Fase Banco se obtiene la información de la ubicación de la perforadora y los metros perforados para esa ubicación por día, mes a mes que fue estudiado, como se muestra a continuación

Fecha	Equipo	Fase	Banco	Duración (HRS)	Cantidad Pozos	Metros Perf.
01-08-2012	PE111	F17	2885	1.64	2.00	34.00
01-08-2012	PE111	F17	2900	7.94	12.00	207.00
01-08-2012	PE108	F16	2795	2.58	7.00	126.00
01-08-2012	PE109	F32	2615	7.78	19.00	342.00
01-08-2012	PE109	Sin	Sin	0.65	1.00	18.00
01-08-2012	PE110	F17	2855	7.92	21.00	319.00
01-08-2012	PE112	F16	2810	12.36	12.00	195.00
01-08-2012	PE114	F17	2870	4.44	12.00	204.00
01-08-2012	R01	F32	2615	4.99	11.00	174.00
01-08-2012	R01	F32	2630	6.77	15.00	238.00
01-08-2012	R02	F32	2615	11.08	31.00	472.50
01-08-2012	R03	F16	2810	15.51	58.00	425.00
02-08-2012	PE111	F17	2885	18.76	6.00	90.10
02-08-2012	PE111	Sin	Sin	1.75	2.00	36.00
02-08-2012	PE108	F16	2795	9.11	25.00	450.00
02-08-2012	PE109	F32	2615	5.23	13.00	229.00
02-08-2012	PE110	F17	2855	10.61	21.00	320.00
02-08-2012	PE112	F16	2810	10.54	22.00	359.00
02-08-2012	PE114	F17	2870	8.44	28.00	458.00
02-08-2012	PE114	Sin	Sin	0.22	1.00	15.00
02-08-2012	R01	F32	2630	9.47	29.00	455.50
02-08-2012	R01	Sin	Sin	0.60	1.00	18.00

Figura 93 - Reporte Fase Banco TotalView

Cabe destacar, que todos los pozos que en el ítem de fase y banco aparecen con valor “sin” es porque son pozos o metros extra que no estaban considerados en la malla de perforación, por lo que al procesar la información la cantidad de pozos, metros perforados y duración es sumada a los de la fila inmediatamente superior.

### *B.3.1. VARIABLES DE DISEÑO*

Para evaluar la posibilidad de incorporar variables de diseño al cálculo de productividad de perforadoras se incorporan a la base de datos: Radio hidráulico, razón de elongación y ancho equivalente del banco en que se encuentra trabajando una determinada perforadora.

- **Radio Hidráulico:** se define como la razón entre el área y el perímetro
- **Razón de elongación:** se define como la razón entre el largo y ancho
- **Ancho equivalente:** se define como el área dividido el largo del banco

Utilizando Autocad, se miden las áreas, perímetros y largos de los bancos en que estuvieron operando las perforadoras, según la información recolectada en la base de datos. Con esta información se obtienen los parámetros de diseño antes mencionados.

Para obtener las variables de diseño antes mencionadas, se utiliza el archivo de avance diario de la mina, se identifica en qué fase-banco operaron perforadoras, se dibuja el contorno del banco y su largo, se ingresa en la base de datos y se calculan los valores de ancho equivalente, radio hidráulico y razón de elongación. Un ejemplo de este proceso es la Figura 94



*Figura 94 - Definición de variables de diseño*

Adicionalmente, a fin de establecer si existen interacciones entre equipos se requiere establecer la cantidad de equipos en un banco determinado en el que estén trabajando las perforadoras. Sólo se considerarán las interacciones de un equipo de perforación con otros equipos que sean de carguío o perforación, pues a nivel de equipos de transporte y apoyo, es difícil cuantificar su influencia en las interferencias que generan, pues tienen alta movilidad.

### B.3.2. OBTENCIÓN DE BASE DE DATOS FINAL

Con toda la información obtenida desde distintas fuentes se obtiene una base de datos con las suficientes variables que permiten determinar relaciones entre variables y aquellas con mayor relevancia para ser incorporadas en la metodología de cálculo. No obstante, los datos son filtrados y se descarta lo siguiente

- Datos sin ubicación: 767
- Información con tiempo efectivo 0 pero con metros perforados
- Información con tiempo efectivo distinto de 0 y si metros perforados

Año	Mes	Día	Equipos	Tipo Perfo	Fase	Banco	Duración	Cantidad de pozos	Posición 1										Indicadores operacionales por día										Rendimiento
									m perfo	Rendim	Tipo mt	a eq	Elong	FH	Disp	Ut Op	Ut Et	Res/disp	OP/disp	DM/disp	Rend/d								
2015	5	1	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	5.7525	22	398	45.2	Sulfuro	52.1	30.8	40.1	98%	84%	85%	15%	17%	3%	28.5								
2015	5	2	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	9.675277778	27	488	50.2	Sulfuro	52.1	30.8	40.1	76%	99%	98%	1%	0%	0%	29.9								
2015	5	3	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	14.18916667	36	648	45.7	Sulfuro	52.1	30.8	40.1	100%	100%	83%	0%	0%	12%	32.7								
2015	5	4	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	7.895277778	32	558	70.7	Sulfuro	52.1	30.8	40.1	99%	92%	75%	9%	4%	13%	35.0								
2015	5	5	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	2.836888887	7	134	47.0	Sulfuro	52.1	30.8	40.1	30%	80%	95%	46%	0%	0%	31.2								
2015	5	13	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	10.34027778	15	253	24.5	Sulfuro	79.0	33.7	38.8	71%	94%	66%	6%	12%	16%	22.6								
2015	5	14	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	3.744444444	13	249	25.6	Sulfuro	79.0	33.7	38.8	100%	98%	50%	2%	3%	44%	20.7								
2015	5	15	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	12.19934444	25	463	38.0	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	89%	95%	77%	5%	13%	1%	24.1								
2015	5	16	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	12.37583333	25	465	37.8	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	100%	93%	65%	7%	17%	12%	23.9								
2015	5	17	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	11.81722222	36	644	54.5	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	100%	98%	71%	4%	11%	10%	37.9								
2015	5	18	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	5.506111111	29	522	61.4	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	78%	99%	76%	11%	13%	0%	36.3								
2015	5	19	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	3.318055556	13	235	70.8	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	89%	88%	28%	12%	9%	5%	38.9								
2015	5	20	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	5.986111111	16	281	46.9	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	78%	96%	52%	4%	8%	36%	29.6								
2015	5	21	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	7.726888887	19	342	44.3	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	89%	96%	79%	4%	6%	1%	25.9								
2015	5	22	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	8.076944444	20	337	41.7	Sulfuro	90.1	22.2	29.9	91%	95%	70%	3%	2%	24%	23.4								
2015	5	23	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	7.419166667	16	288	38.8	Sulfuro	66.1	35.2	34.1	68%	95%	83%	5%	3%	17%	26.5								
2015	5	24	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	4.29	11	197	45.9	Sulfuro	66.1	35.2	34.1	46%	95%	67%	26%	0%	26%	0%								
2015	5	25	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	6.539444444	11	200	30.8	Sulfuro	66.1	35.2	34.1	47%	84%	70%	16%	13%	0%	25.4								
2015	5	28	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	0.911388889	2	34	41.9	Sulfuro	66.1	35.2	34.1	42%	100%	12%	0%	0%	88%	28.5								
2015	5	29	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	0.916055556	1	17	32.8	Sulfuro	56.8	37.7	28.1	23%	47%	33%	53%	0%	14%	7.2								
2015	5	30	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	12.15198889	25	425	35.0	Sulfuro	56.8	37.7	28.1	93%	76%	65%	24%	10%	1%	29.1								
2015	5	31	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2675	4.853055556	11	198	40.8	Sulfuro	56.8	37.7	28.1	100%	92%	26%	8%	7%	59%	31.2								
2014	3	1	PEW8	PRODUCCIÓN	F18	2615	8.800633333	25	453	51.5	Dado	92.6	2.4	24.4	33%	87%	98%	3%	0%	0%	23.1								
2014	3	1	PEW9	PRODUCCIÓN	F18	2690	11.57416667	43	626	71.4	Dado	31.2	10.0	13.5	100%	99%	78%	8%	0%	13%	44.4								
2014	3	1	PE12	PRODUCCIÓN	F17	2720	13.395	44	811	60.7	Dado	16.2	19.3	6.7	98%	99%	87%	1%	3%	3%	40.4								
2014	3	1	PE14	PRODUCCIÓN	F20	2840	2.719444444	6	117	43.0	Dado	58.9	11.8	25.7	93%	61%	43%	39%	16%	2%	19.0								
2014	3	2	PEW8	PRODUCCIÓN	F18	2615	14.30527778	22	398	27.9	Dado	32.5	2.4	32.4	90%	98%	83%	2%	0%	31%	28.6								
2014	3	2	PEW9	PRODUCCIÓN	F18	2690	16.05555556	39	787	49.0	Dado	31.2	10.0	13.8	100%	99%	91%	1%	4%	4%	36.1								
2014	3	2	PEW10	PRODUCCIÓN	F23	2750	3.172222222	10	180	57.7	Dado	40.0	10.6	26.2	29%	80%	69%	20%	3%	8%	38.0								
2014	5	1	PEW7	PRODUCCIÓN	F23	2765	10.23011111	22	400	35.1	Dado	62.0	5.4	24.7	99%	100%	53%	0%	46%	1%	32.2								
2014	5	2	PEW7	PRODUCCIÓN	F23	2765	10.36166667	29	530	51.1	Dado	62.0	5.4	24.7	68%	99%	89%	1%	3%	8%	37.7								
2014	5	4	PEW7	PRODUCCIÓN	F23	2765	8.778333333	22	405	46.1	Dado	62.0	5.4	24.7	49%	100%	94%	0%	4%	2%	37.6								
2014	5	5	PEW7	PRODUCCIÓN	F23	2765	13.04681111	37	668	51.1	Dado	62.0	5.4	24.7	97%	100%	77%	0%	13%	10%	37.3								
2014	5	6	PEW7	PRODUCCIÓN	F23	2765	6.868333333	18	327	47.7	Dado	62.0	5.4	24.7	100%	71%	38%	29%	30%	3%	35.8								
2014	5	8	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2705	11.01805556	38	701	64.4	Sulfuro	113.1	5.9	46.6	94%	93%	82%	7%	1%	10%	38.2								
2014	5	9	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2705	6.149333333	19	350	56.9	Sulfuro	113.1	5.9	46.6	85%	95%	76%	10%	3%	1%	22.9								
2014	5	10	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2705	12.91866667	37	702	54.3	Sulfuro	113.1	5.9	46.6	100%	89%	73%	11%	0%	16%	40.2								
2014	5	11	PEW7	PRODUCCIÓN	F34	2705	9.625277778	38	576	59.8	Sulfuro	113.1	5.9	46.6	98%	95%	67%	1%	2%	28%	4%	36.4							

Figura 95 - Base de datos consolidada

## B.4. ANÁLISIS POR CATEGORÍAS

Con el fin de visualizar el comportamiento de los estados por día en los meses de estudio, se generan gráficos de perforadoras de producción y control pared, así como por flotas. Las siguientes figuras muestran en porcentaje del día el tiempo que los equipos de la flota estuvieron en determinado estado.

Para las perforadoras de producción se considerarán las flotas DML, PITVIPER 1 y PIT VIPER 2.

A partir de las figuras en los apartados i, ii y iii, se puede desprender que los distintos estados no tienen un comportamiento predecible o continuo en el tiempo, ya

sea a lo largo de los días o alguna ciclicidad en los meses. Además, se puede observar que el tiempo efectivo en base nominal es menor al 50% y sin embargo, ha tendido a mejorar si se consideran los meses de estudio, lo que se asocia a una mejor gestión en el uso de los recursos, lo que se ve reflejado en la contención de las demoras y reservas, no obstante hay espacios de mejora, asociados a reducir la variabilidad diaria de los valores como se observa en los gráficos.

Por otro lado, se observa un espacio de mejora en los tiempos fuera de servicio, no obstante, está fuera del alcance de este trabajo.

*Tabla 22 - Distribución de tiempos por año Perforadoras producción en base nominal*

<b>Estado</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Dem. Programada</b>	6.2%	4.4%	5.1%	5.5%
<b>Dem. No Programada</b>	20.7%	19.1%	21.6%	13.4%
<b>Efectivo</b>	40.1%	38.3%	42.2%	44.9%
<b>Reserva</b>	8.3%	11.0%	9.7%	6.2%
<b>Fuera de Servicio</b>	24.6%	27.1%	21.5%	30.0%

## B.4.1. PRODUCCIÓN



Figura 96 – Categorías Perforadoras Producción meses 2012

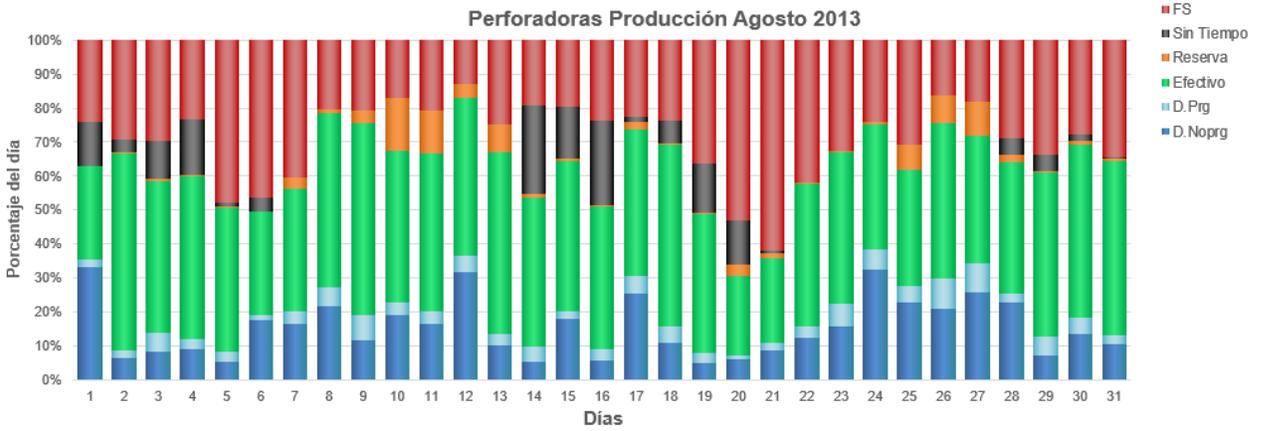
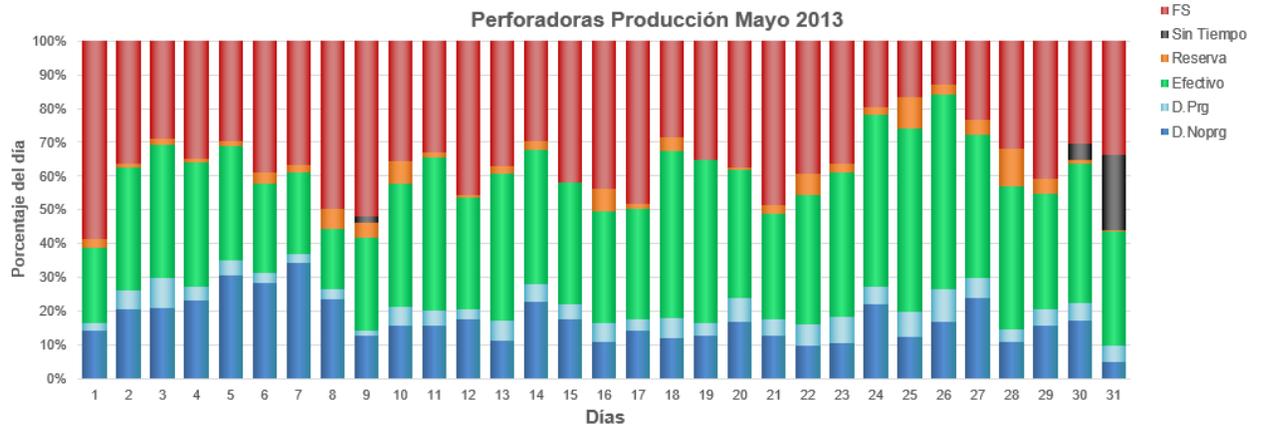
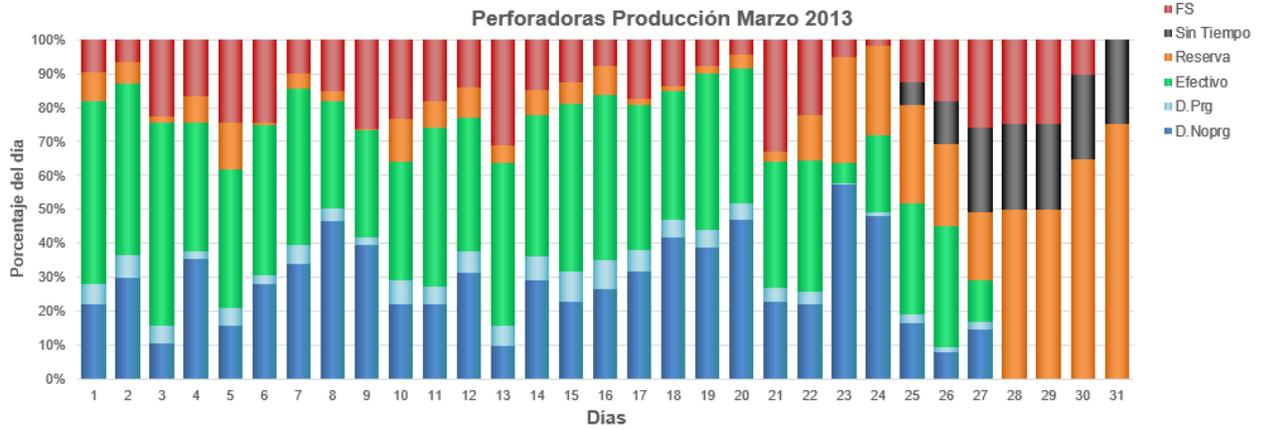


Figura 97 – Categorías Perforadoras Producción meses 2013

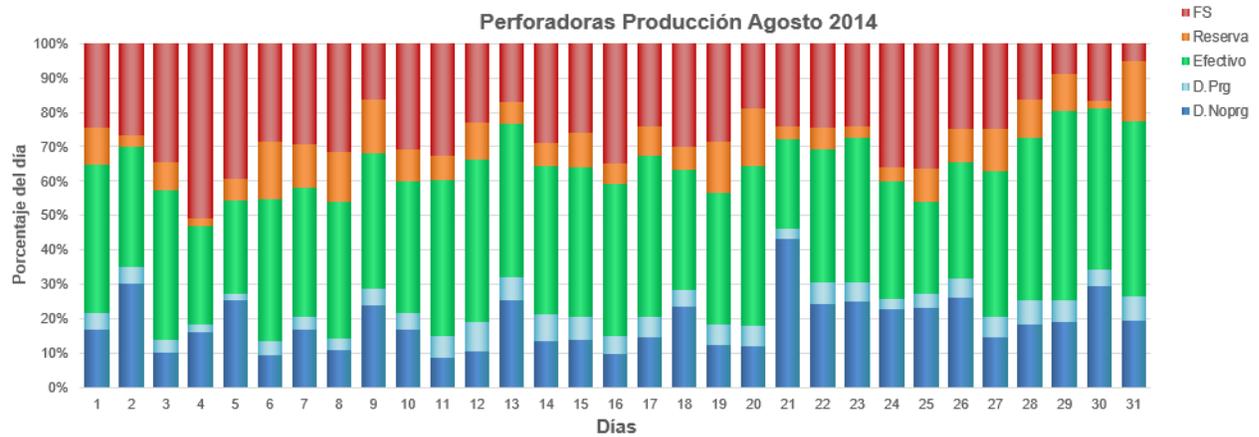
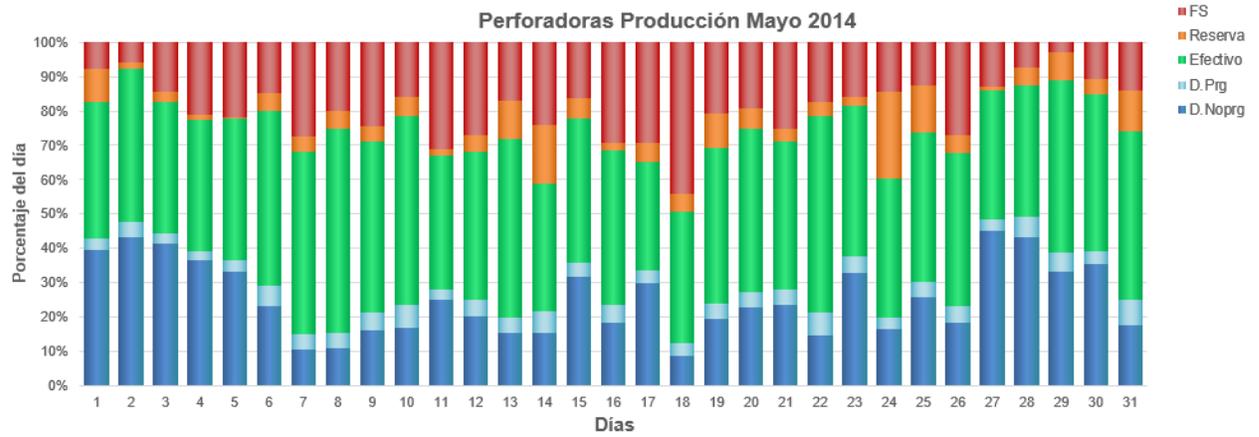
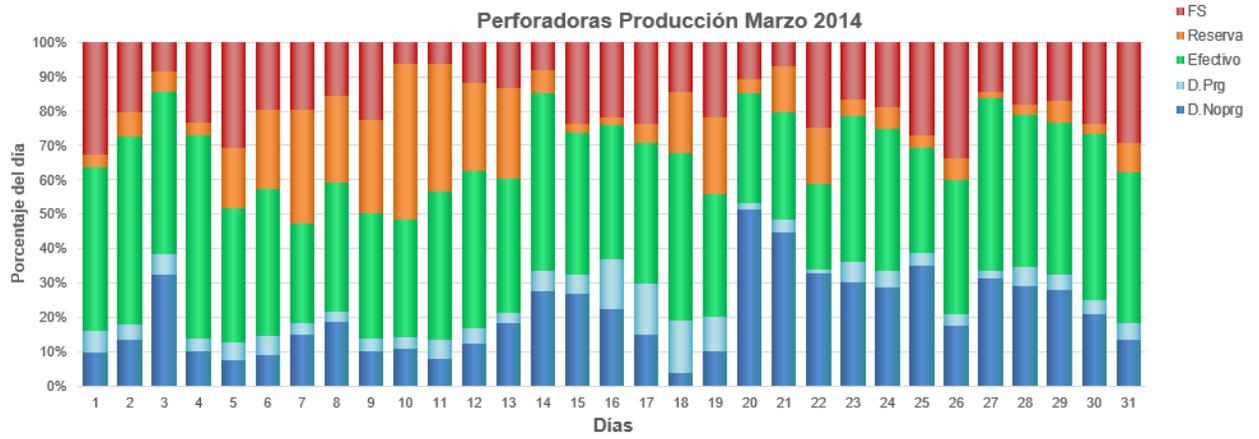


Figura 98 – Categorías Perforadoras Producción meses 2014

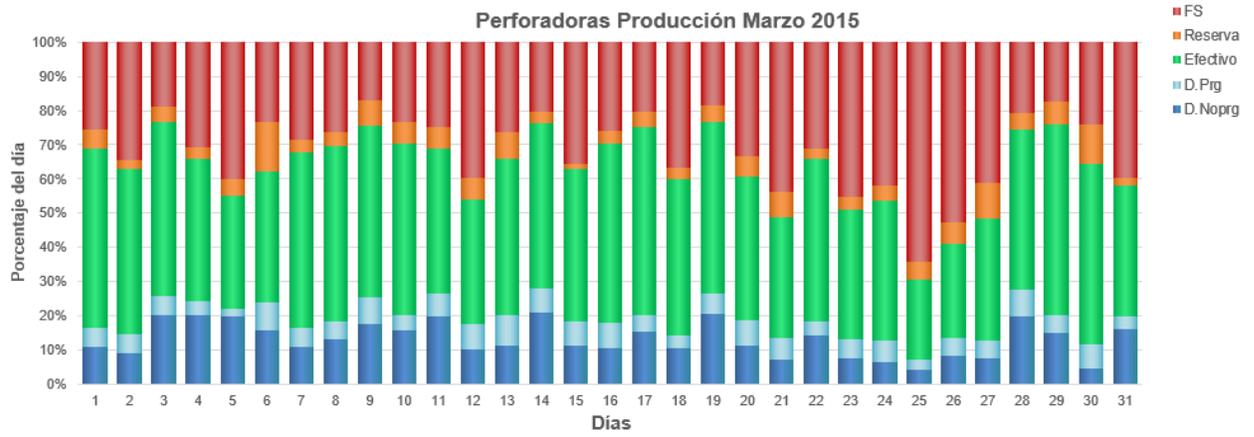
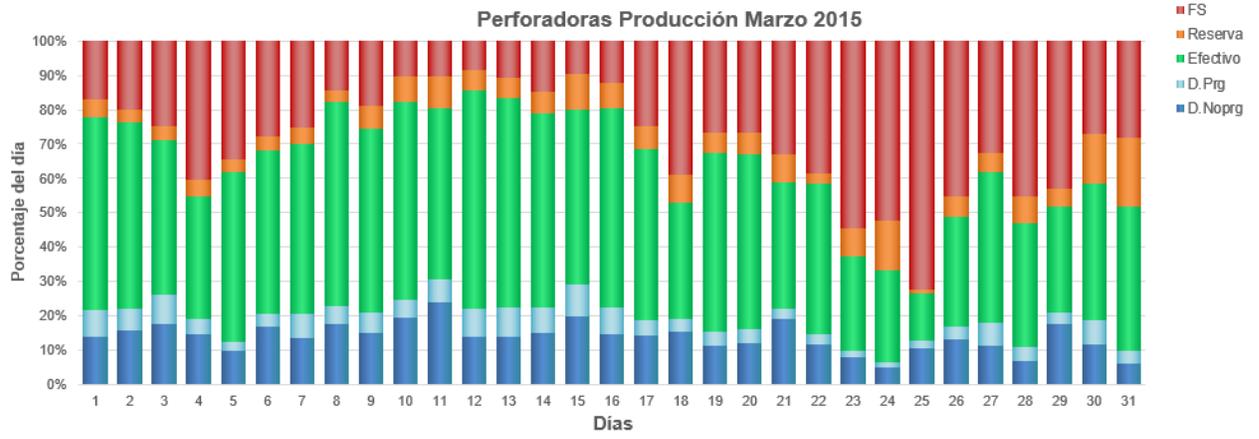


Figura 99 – Categorías Perforadoras Producción meses 2015

i. DML

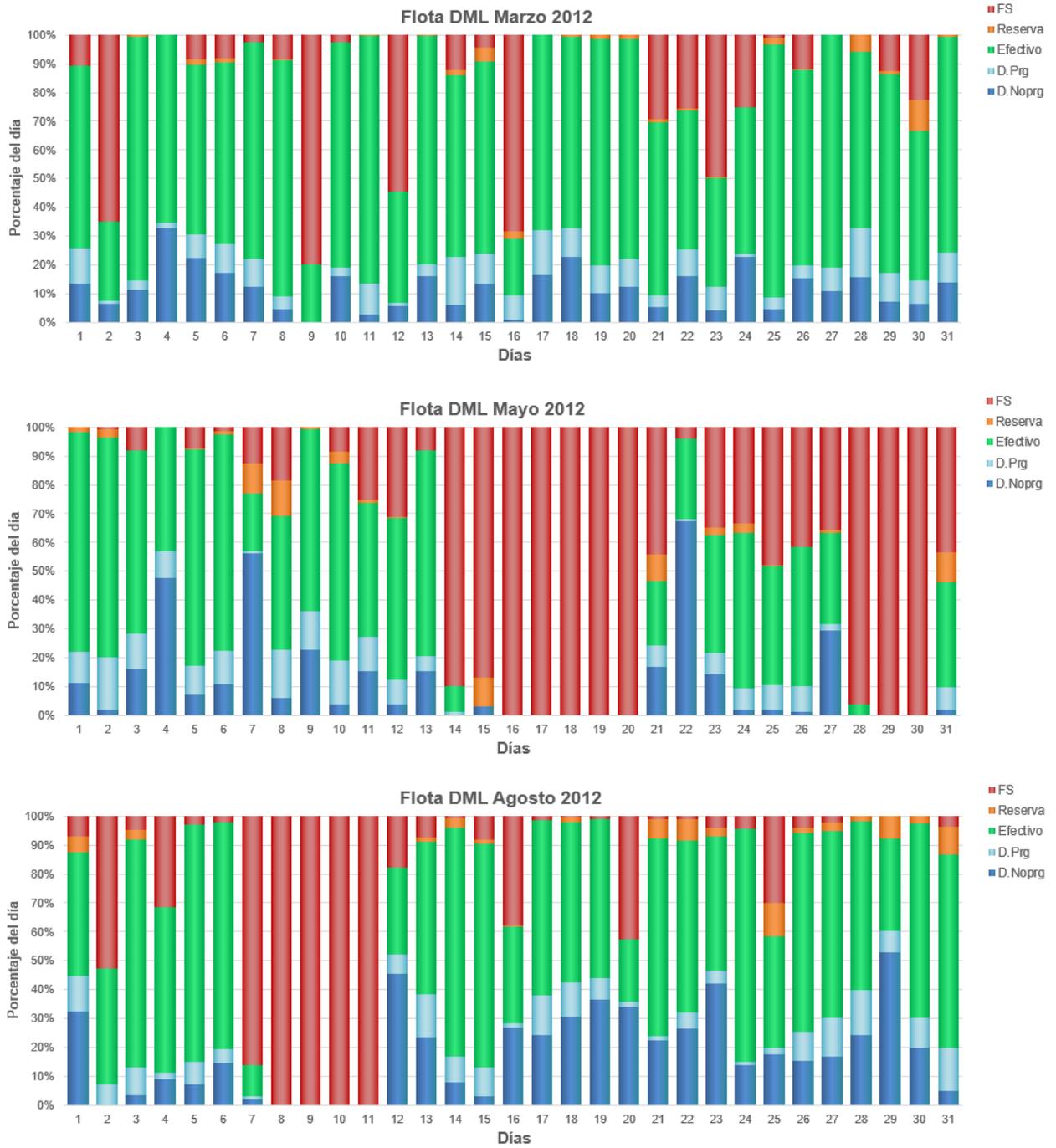


Figura 100 – Categorías Flota DML meses 2012

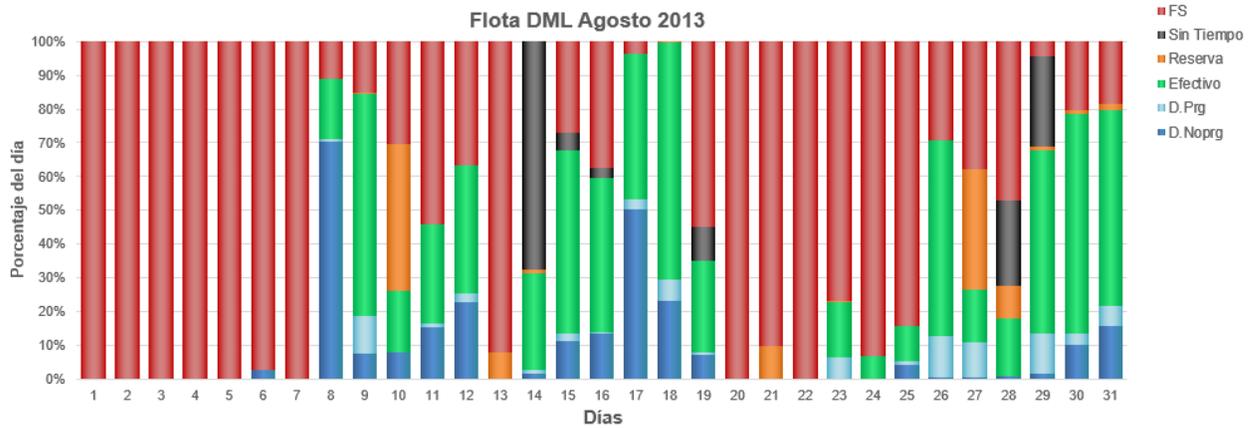
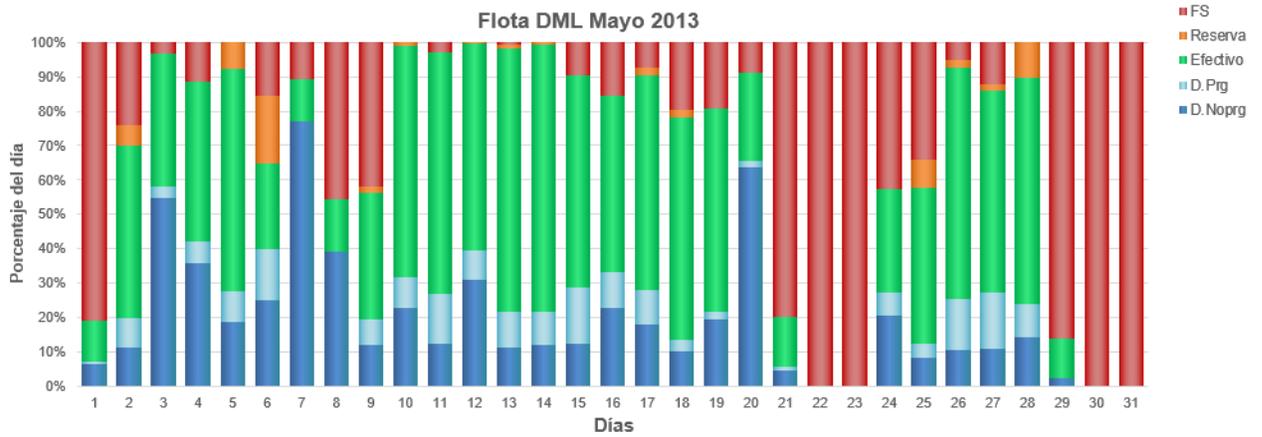
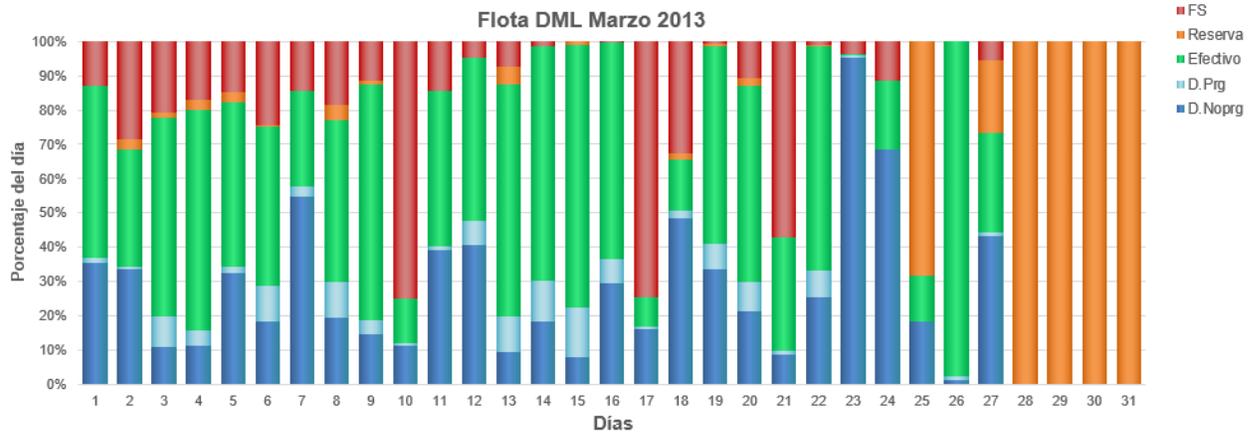


Figura 101 – Categorías Flota DML meses 2013

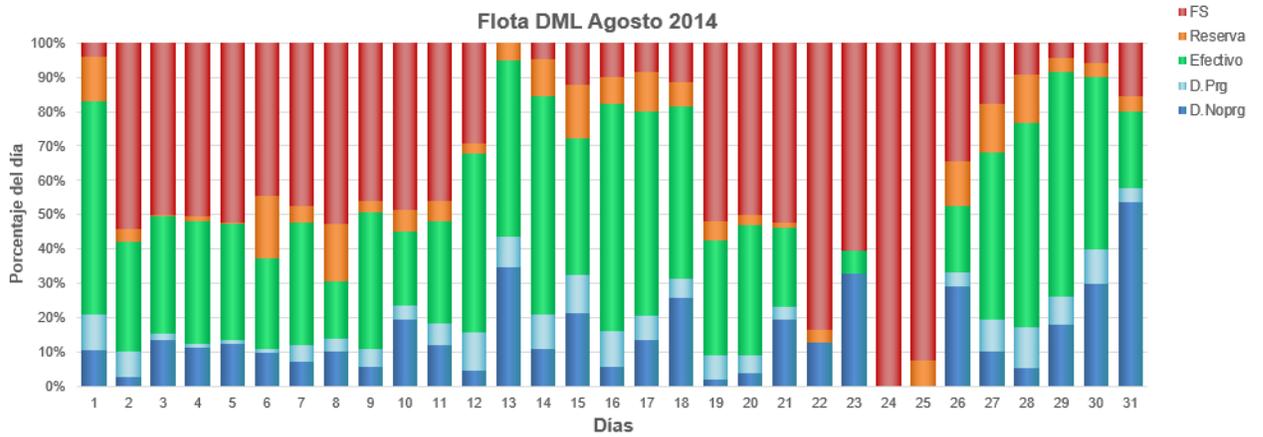
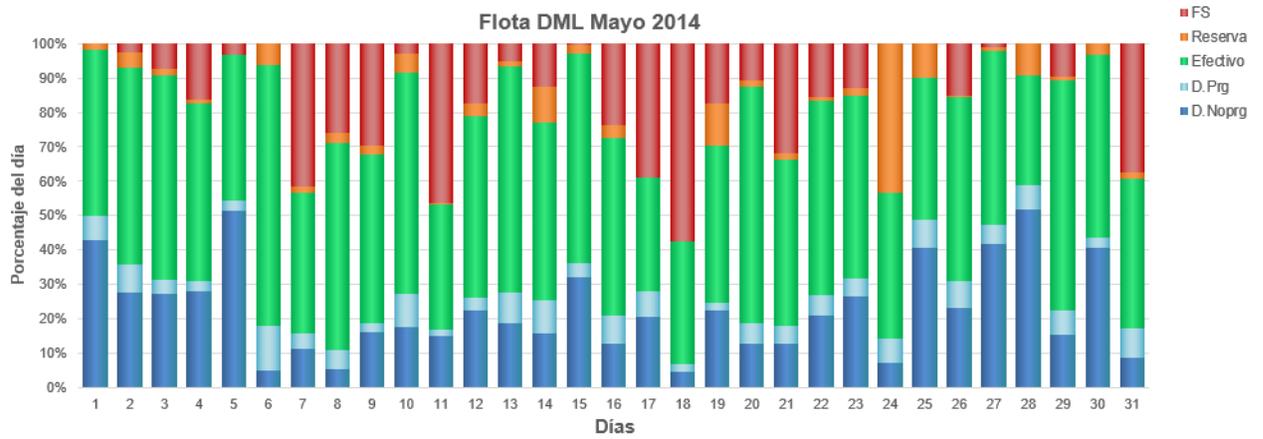
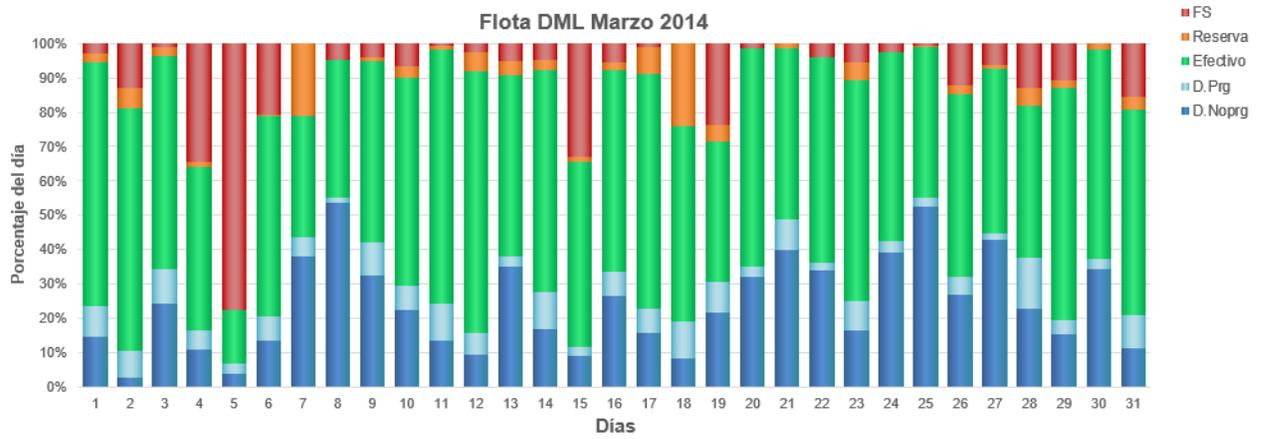


Figura 102 – Categorías Flota DML meses 2014

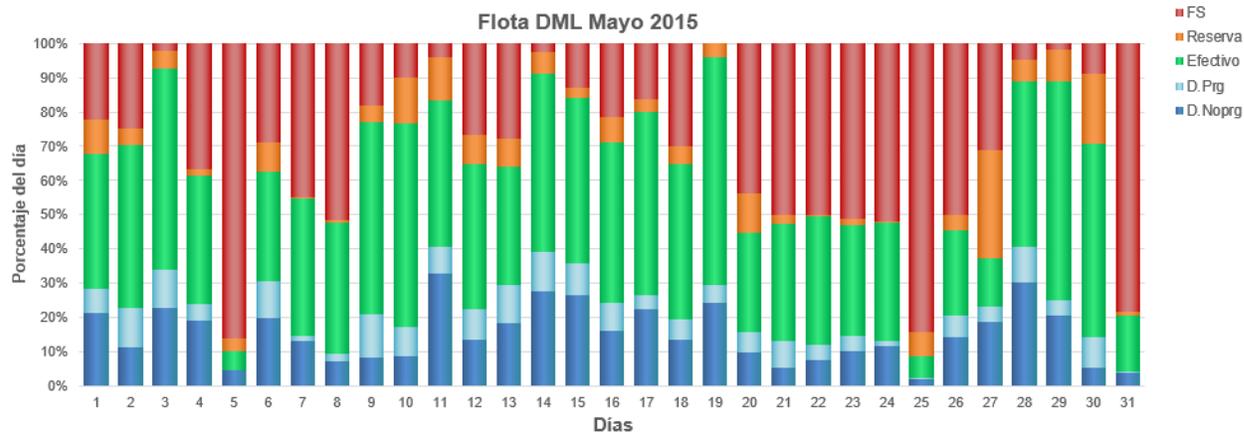
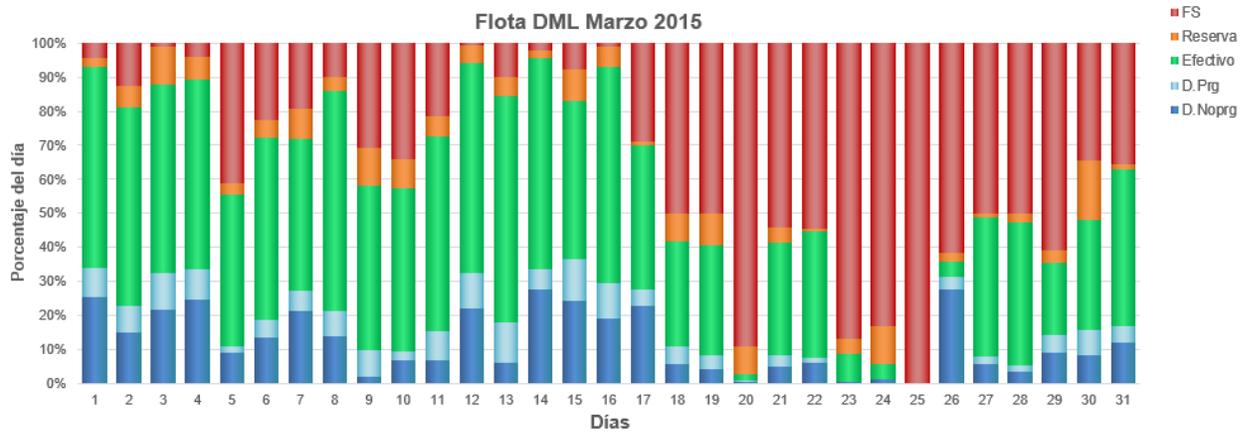


Figura 103 – Categorías Flota DML meses 2015

ii. *PITVIPER FL1*



Figura 104 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2012

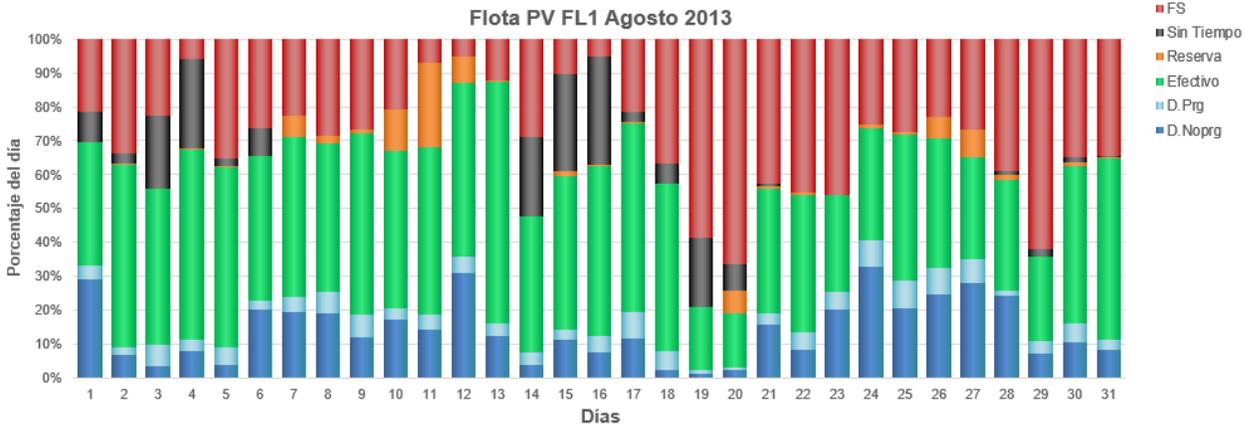
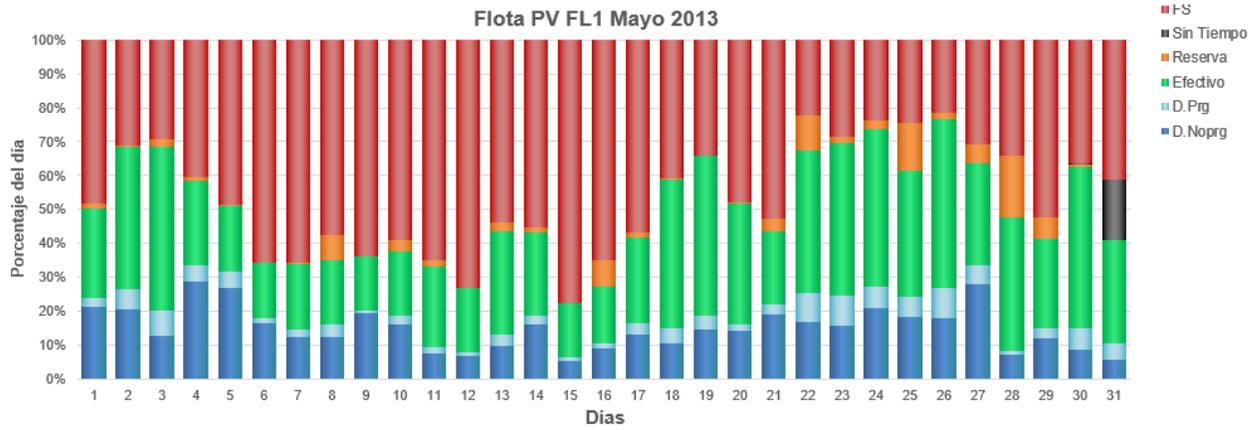
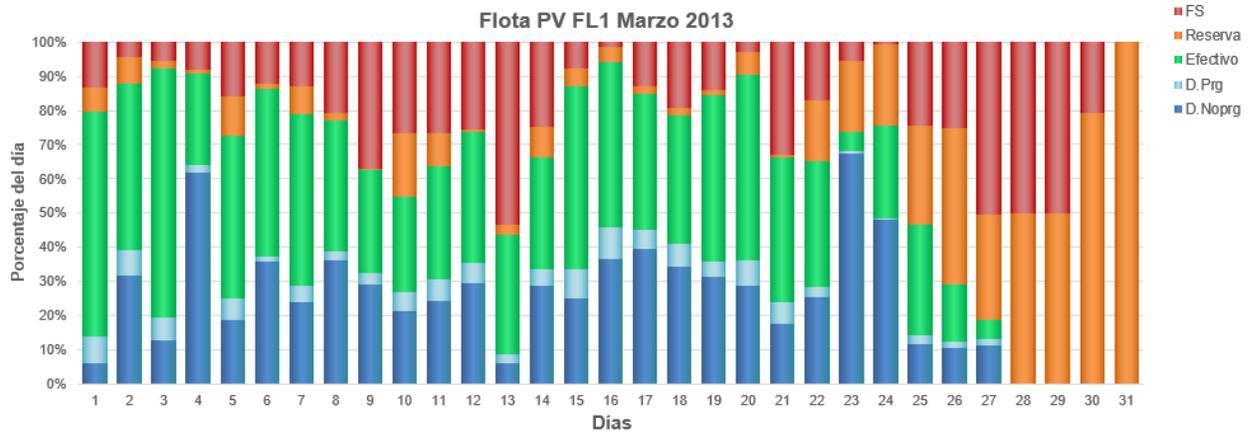


Figura 105 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2013

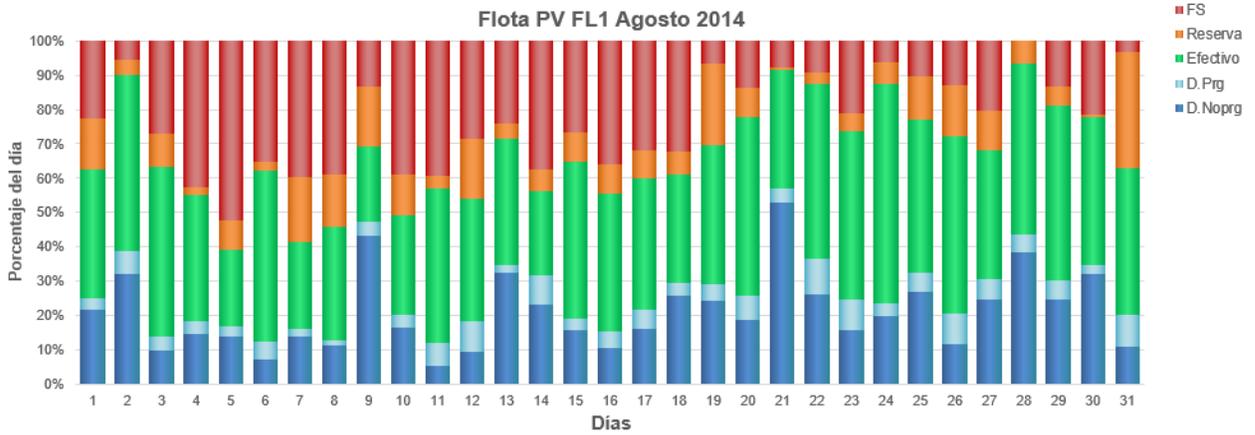
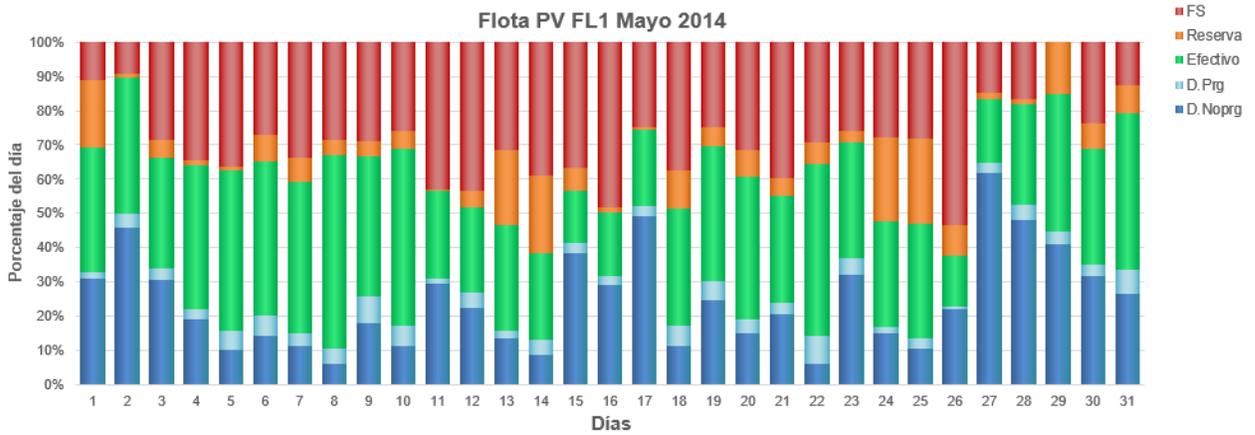
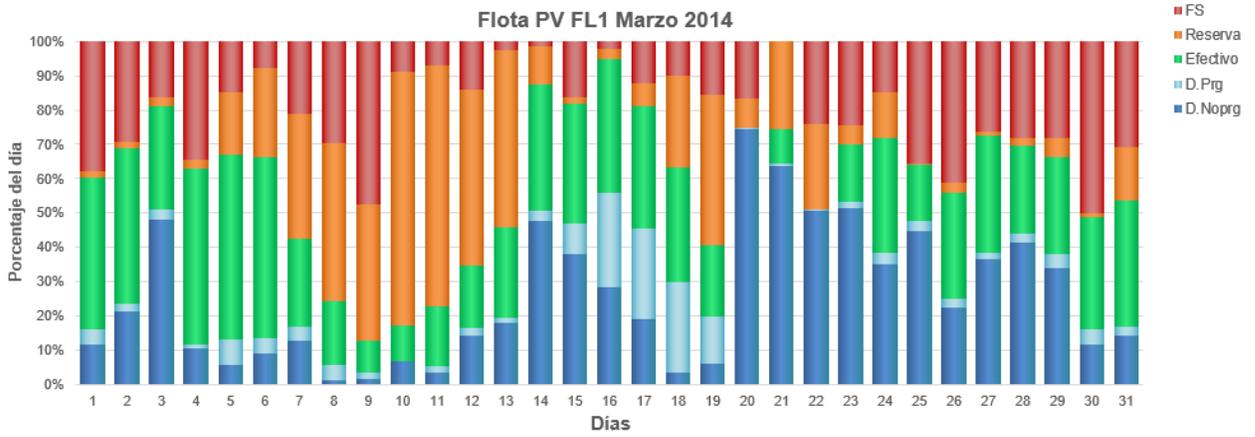


Figura 106 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2014

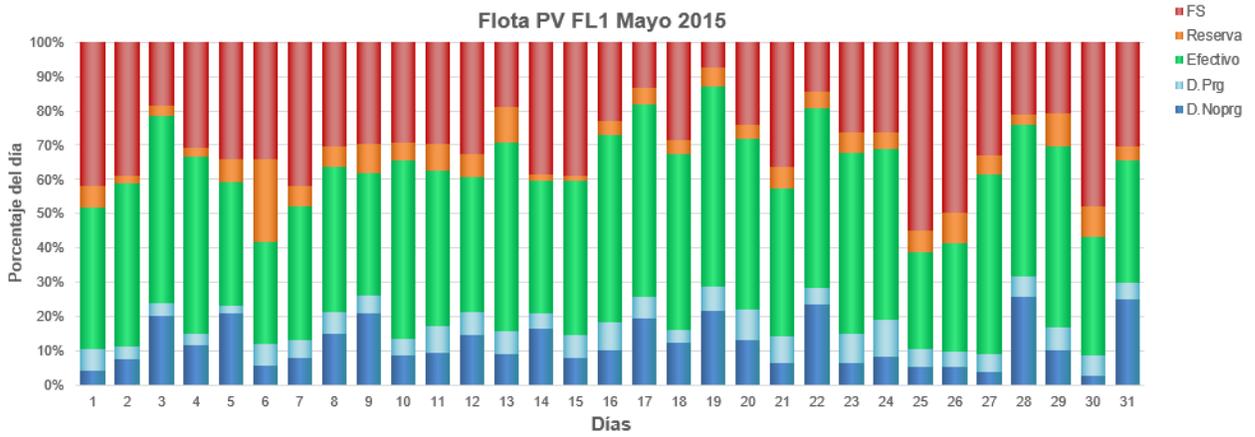
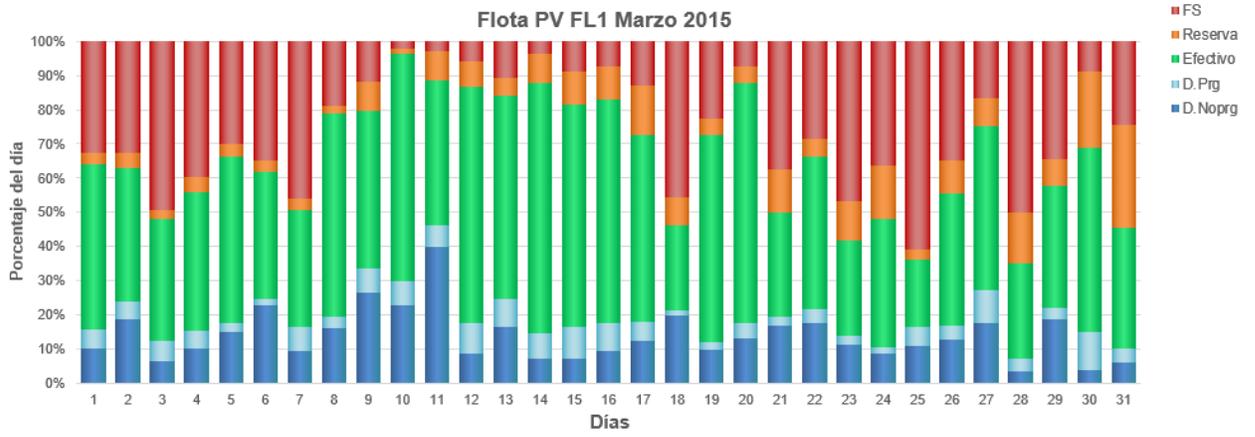


Figura 107 – Categorías Flota Pit Vipper FL1 meses 2015

### iii. PITVIPER FL2

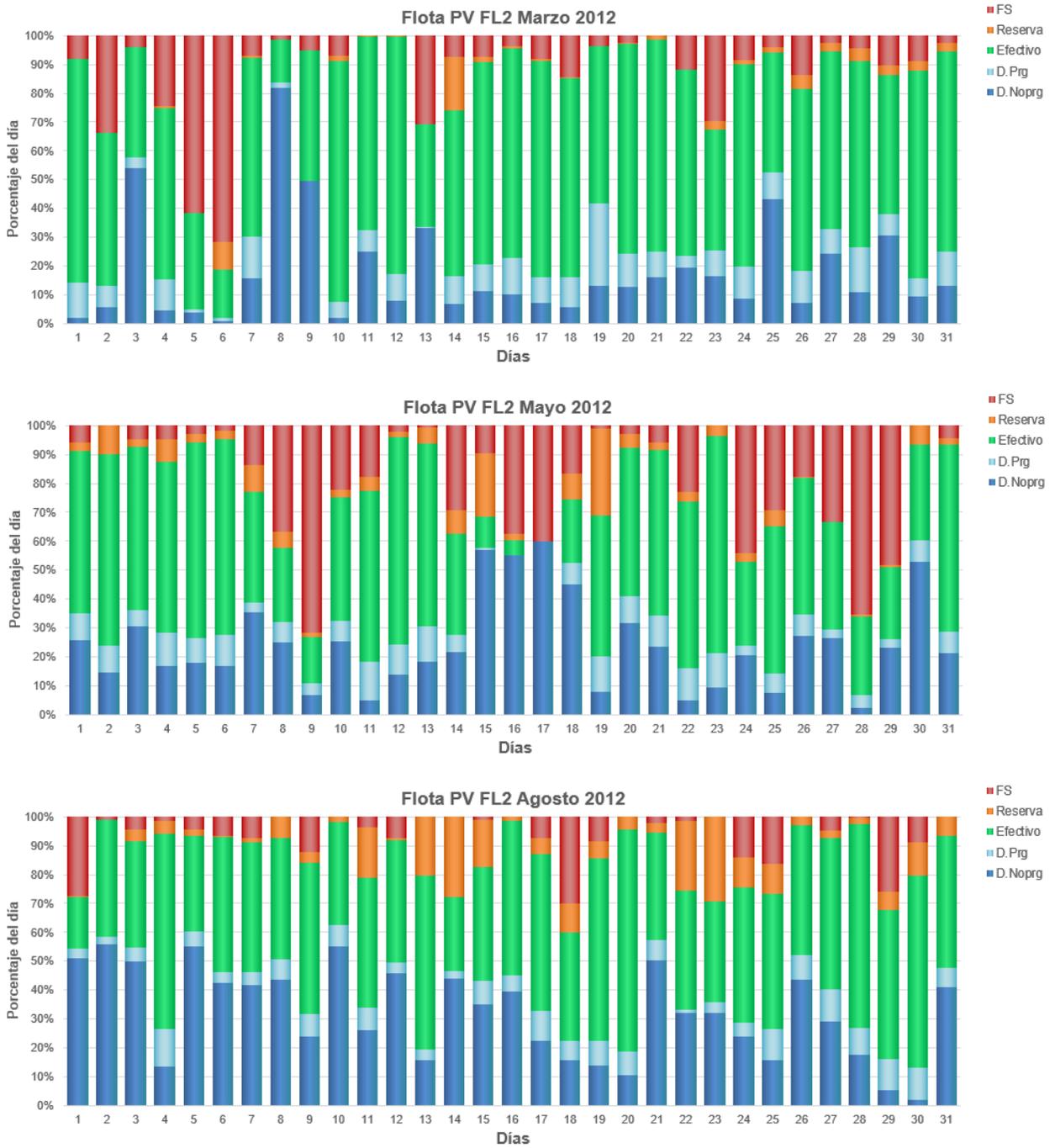


Figura 108 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2012

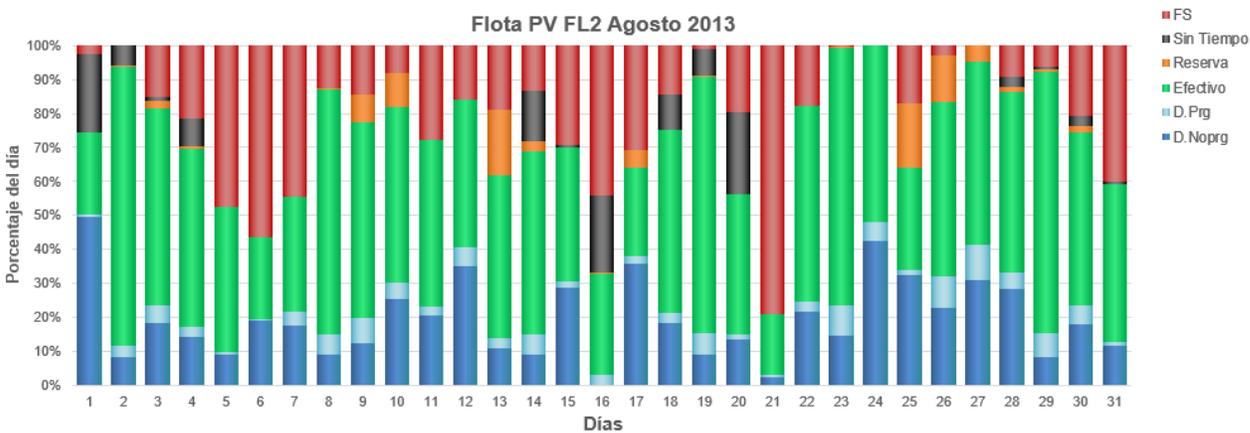
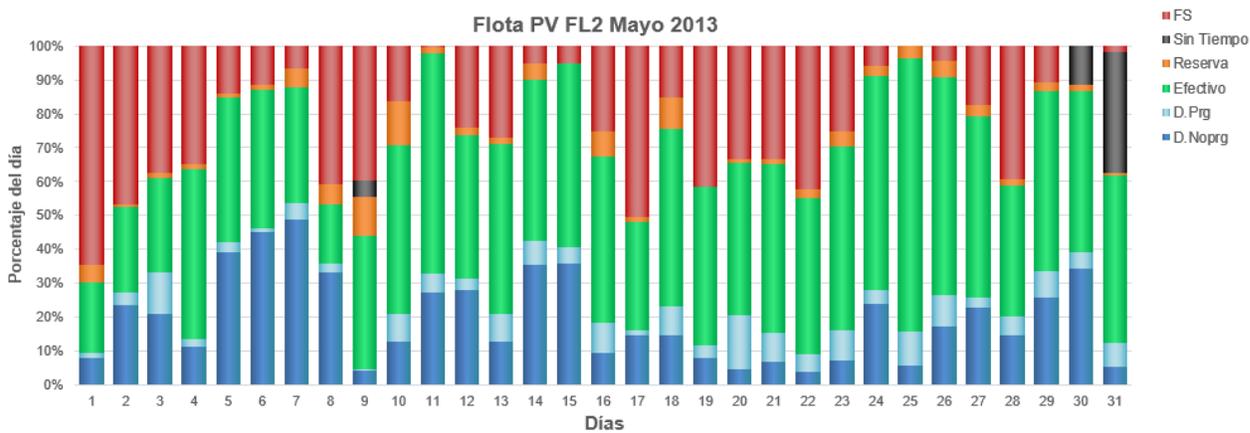
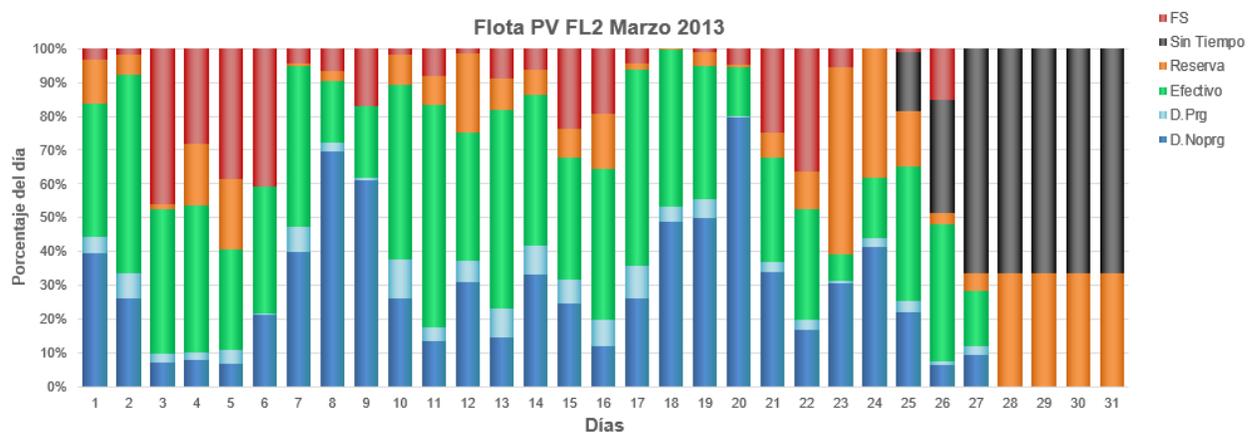


Figura 109 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2013

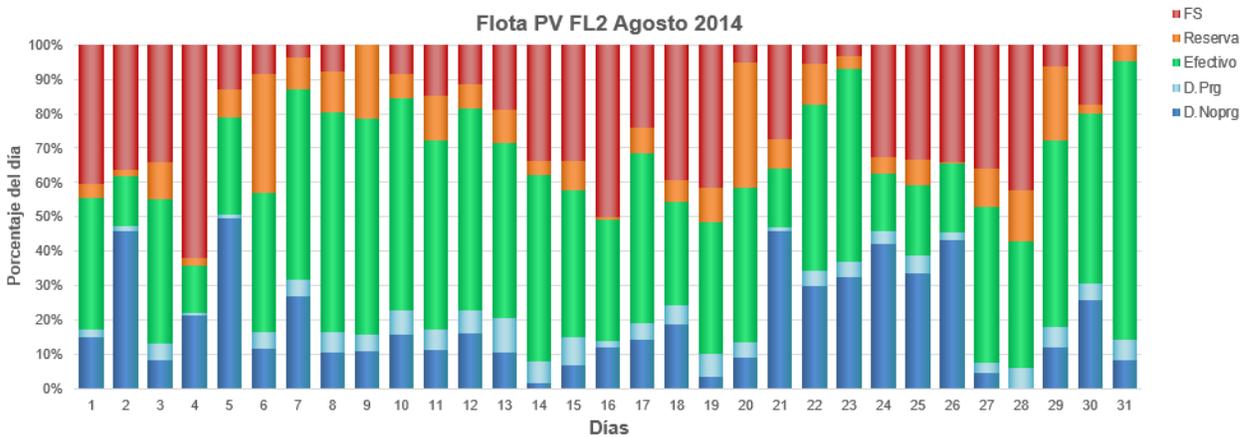
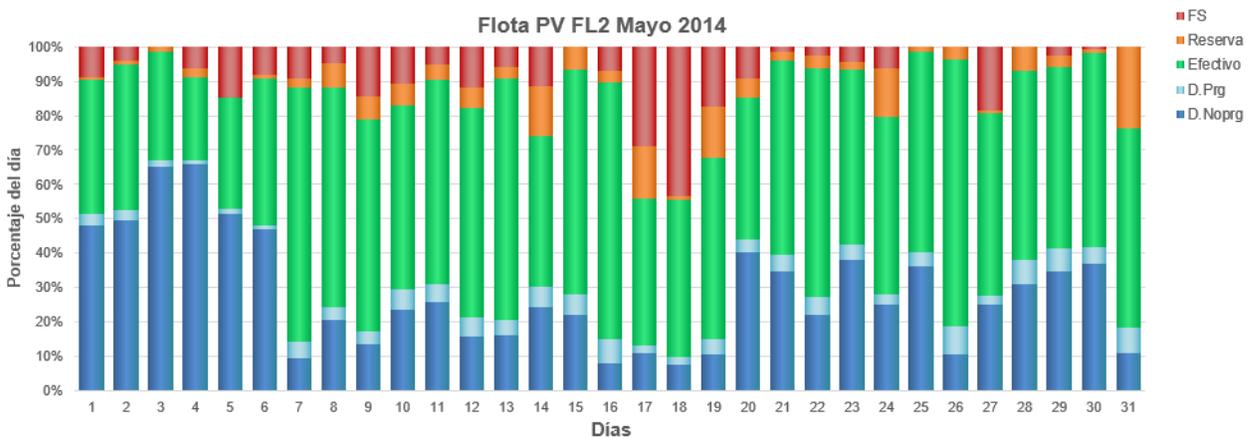
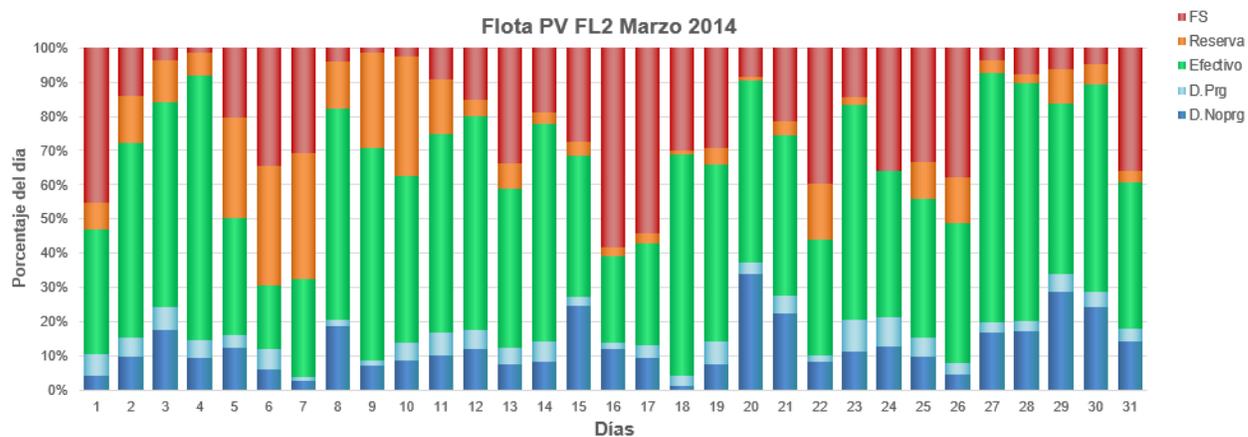


Figura 110 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2014

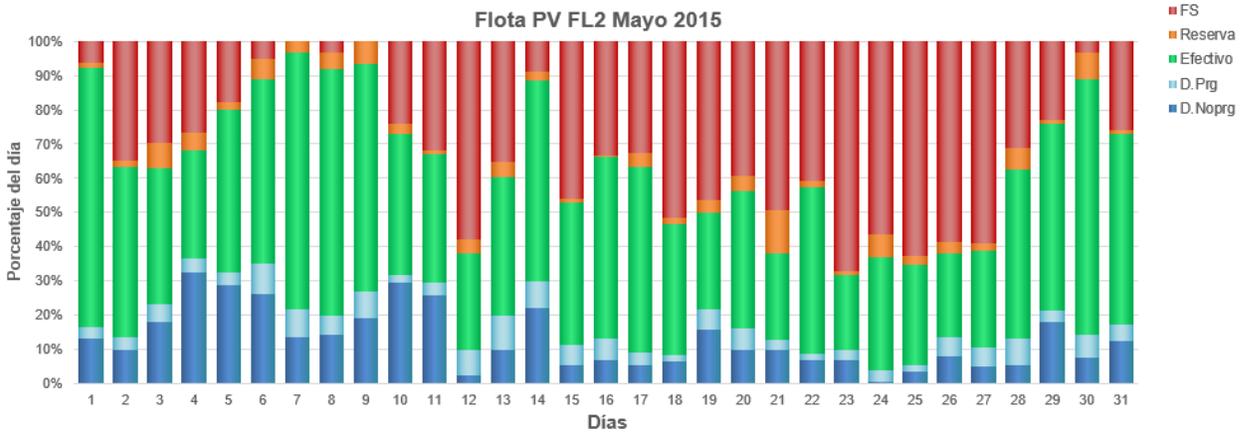
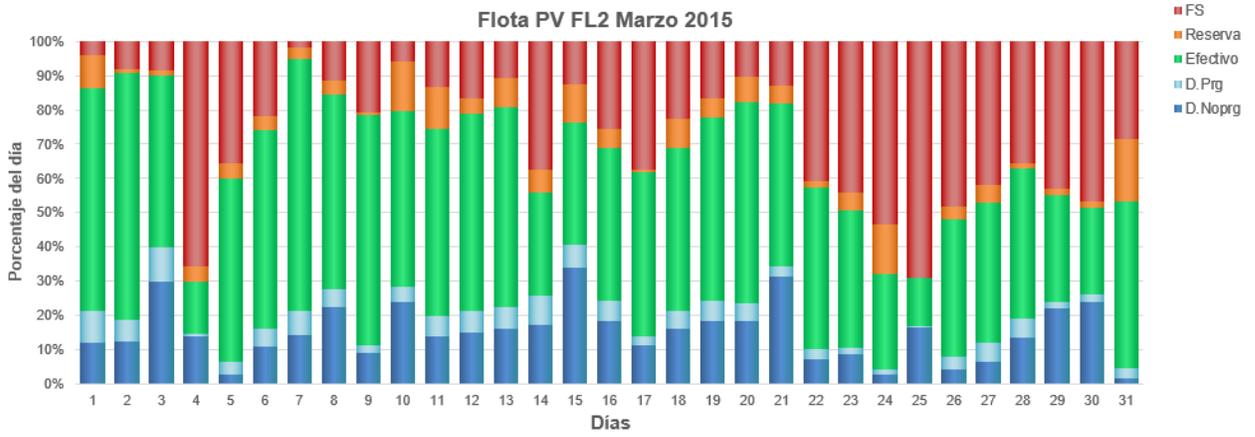


Figura 111 – Categorías Flota Pit Vipper FL2 meses 2015

## B.4.2. CONTROL PARED - ROC L8



Figura 112 - Categorías ROC L8 meses 2012

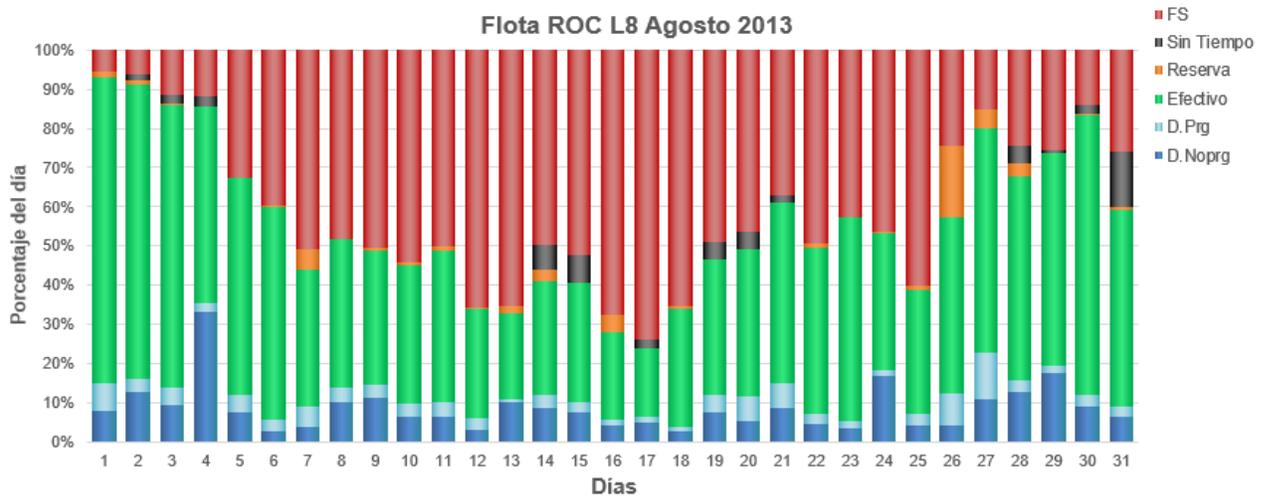
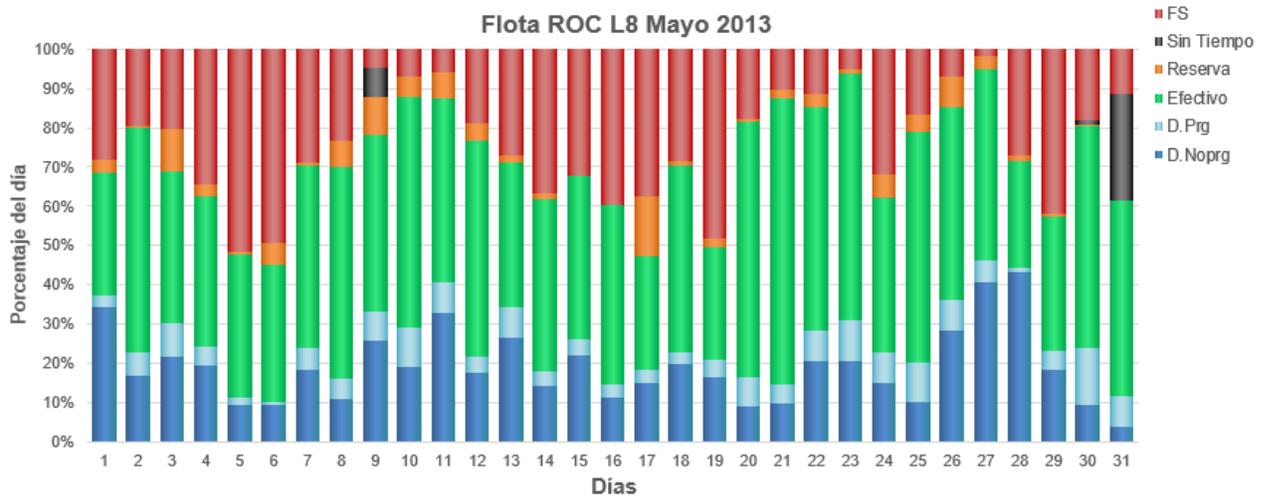
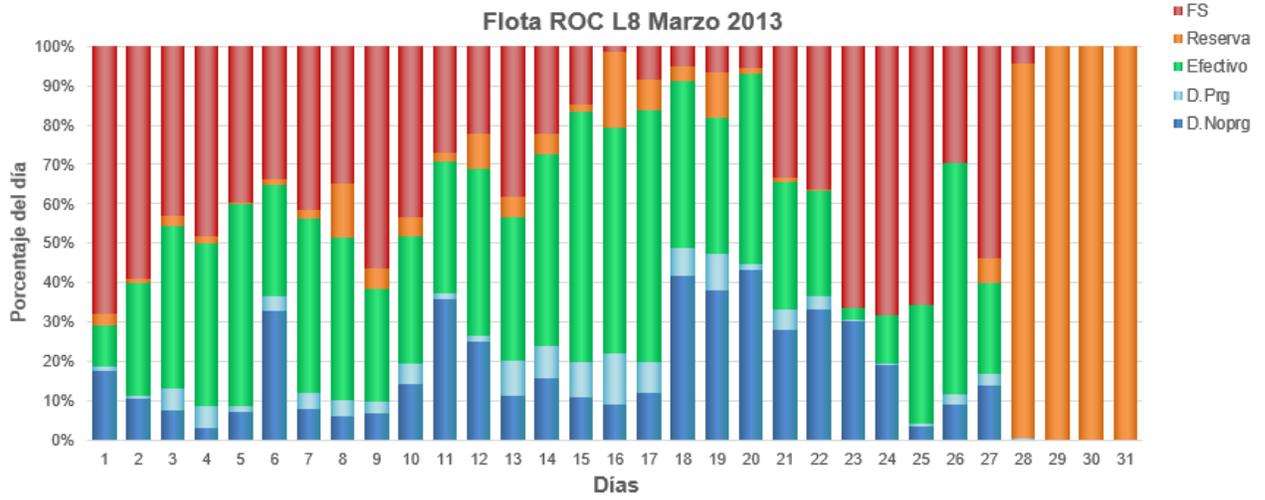


Figura 113 - Categorías ROC L8 meses 2013

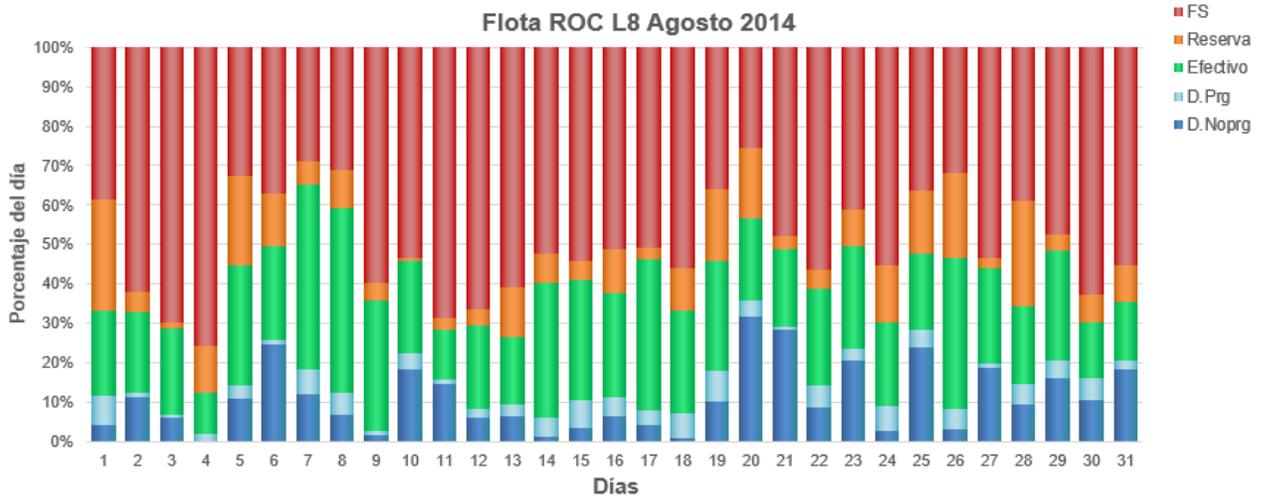
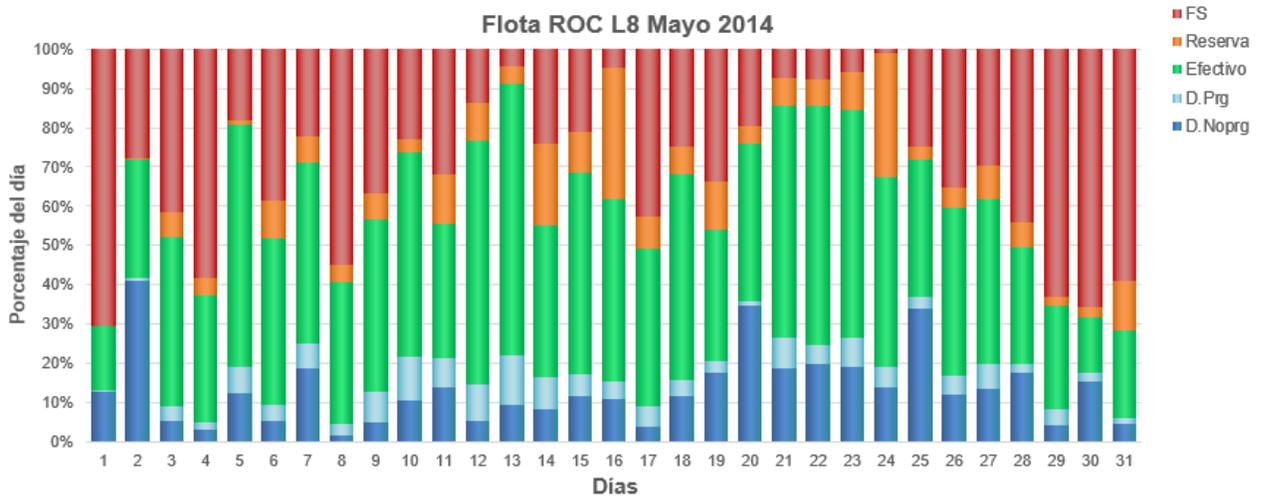
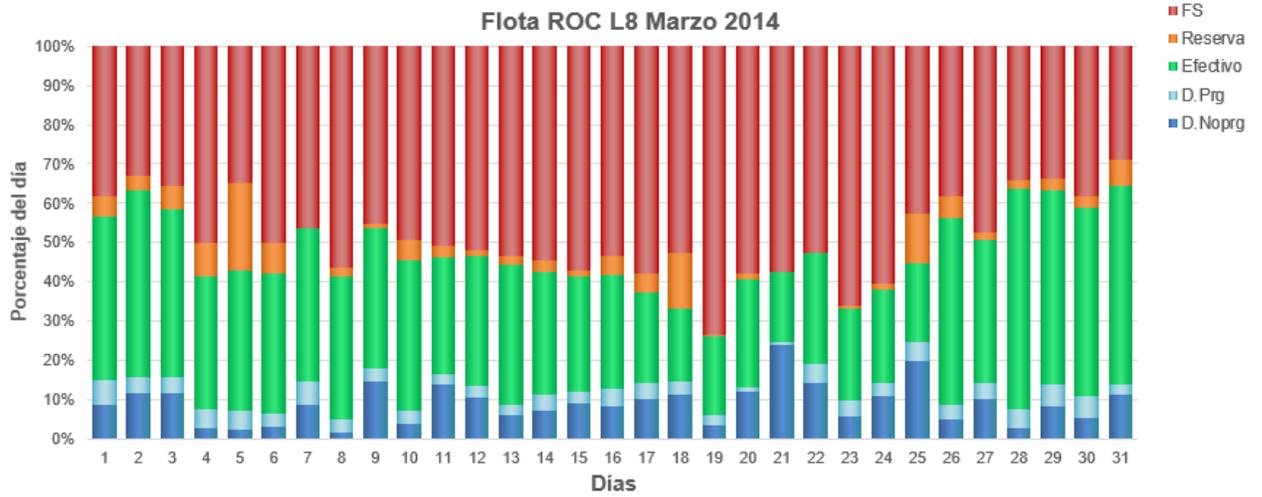


Figura 114 - Categorías ROC L8 meses 2014

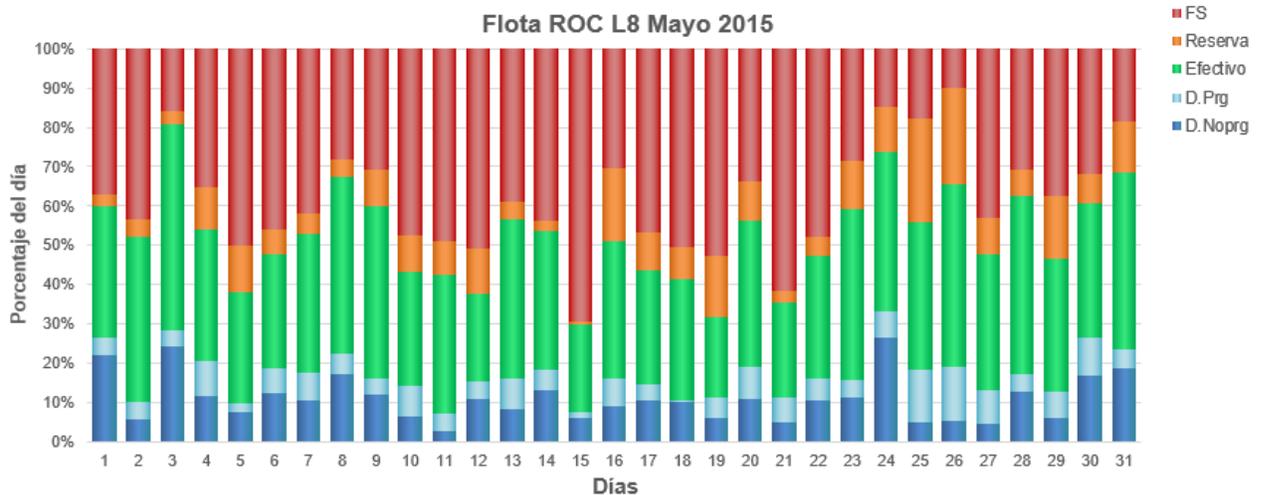
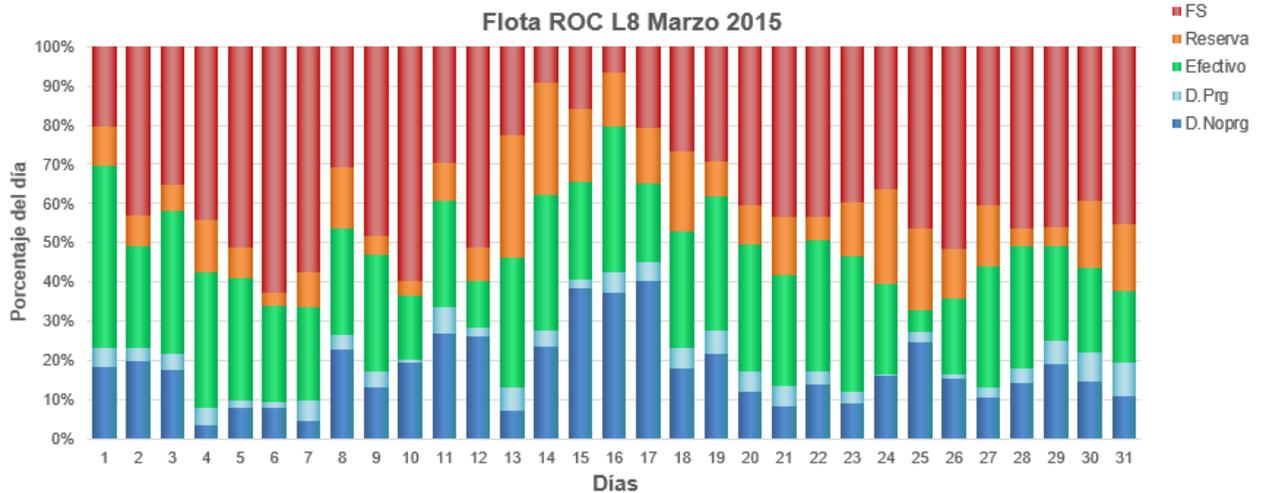


Figura 115 - Categorías ROC L8 meses 2015

A partir de las figuras anteriores se puede desprender que los distintos estados no tienen un comportamiento predecible o continuo en el tiempo, ya sea a lo largo de los días o alguna ciclicidad en los meses. Además, se puede observar que el tiempo efectivo en base nominal es menor al 50% y ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo, lo que se puede asociar en parte a la antigüedad de los equipos, así como al aumento de las distancias que se deben recorrer tanto en el traslado de equipos (perforadoras, servicio o apoyo y abastecimiento) y personal.

Tabla 23 - Distribución de tiempos por año ROC L8 en base nominal

Estado	2012	2013	2014	2015
Dem. Programada	5.98%	4.5%	11.1%	14.3%
Dem. No Programada	14.4%	14.3%	4.3%	5.1%
Efectivo	47.7 %	41.6%	34.0%	31.4%
Reserva	5.3%	6.4%	7.7%	11.1%
Fuera de Servicio	23.6%	32.1%	43.0%	32.2%

## B.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A continuación se presenta el resumen estadístico de las variables que se consideran para la metodología de cálculo de producción de las perforadoras.

En primer lugar se estudian los indicadores operacionales

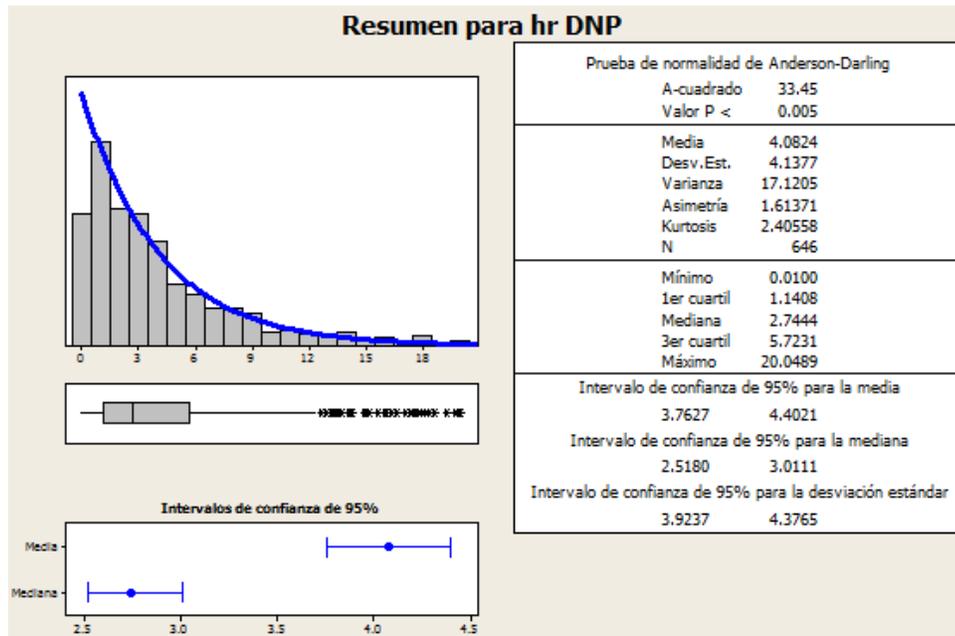


Figura 116 - Estadísticas DNP

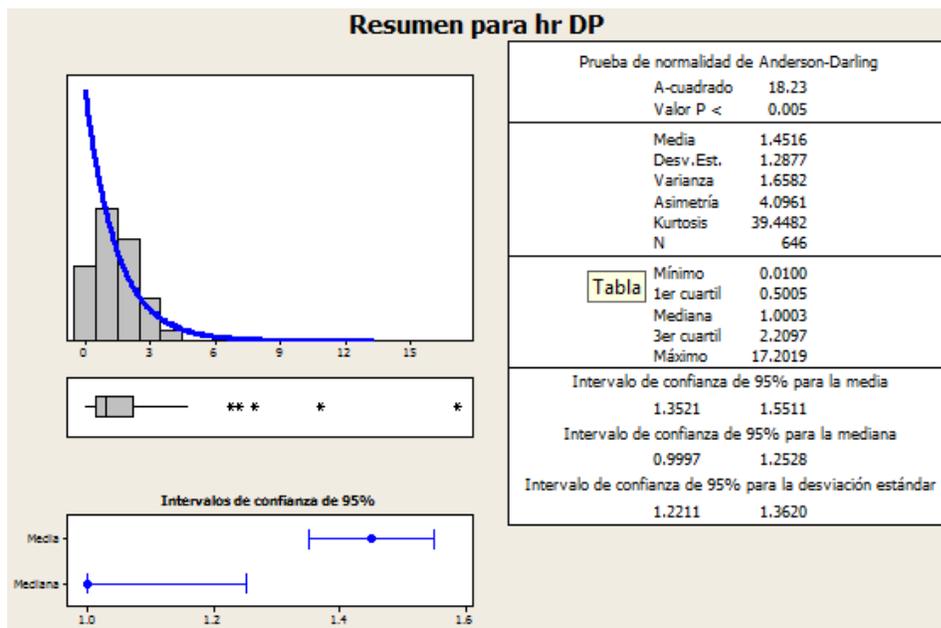


Figura 117 - Estadísticas DP

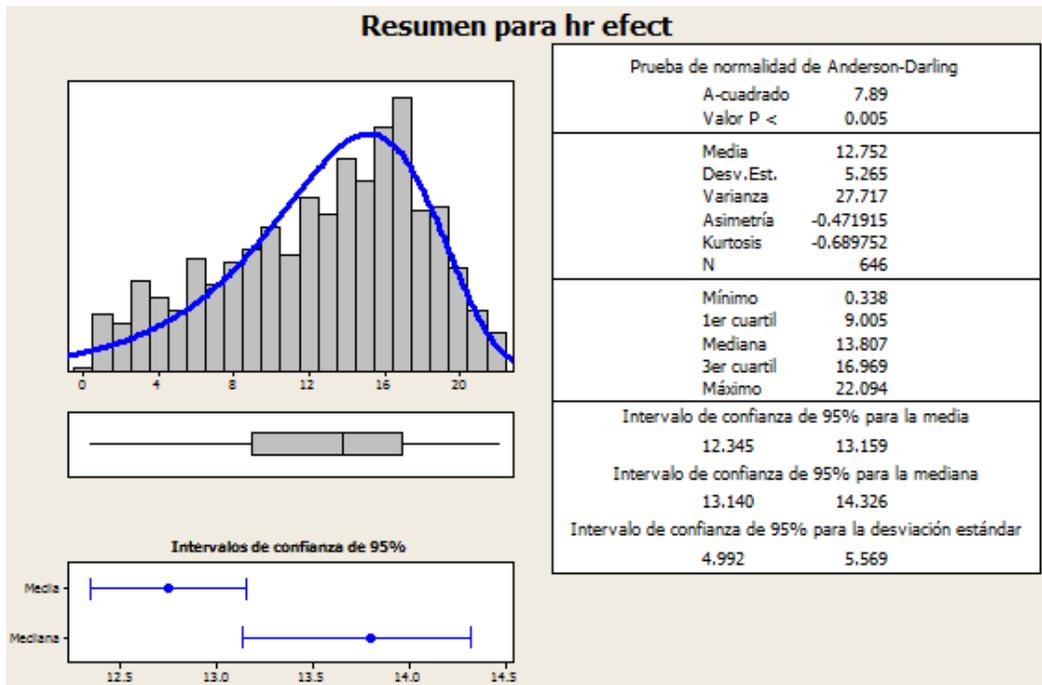


Figura 118 - Estadísticas horas efectivas

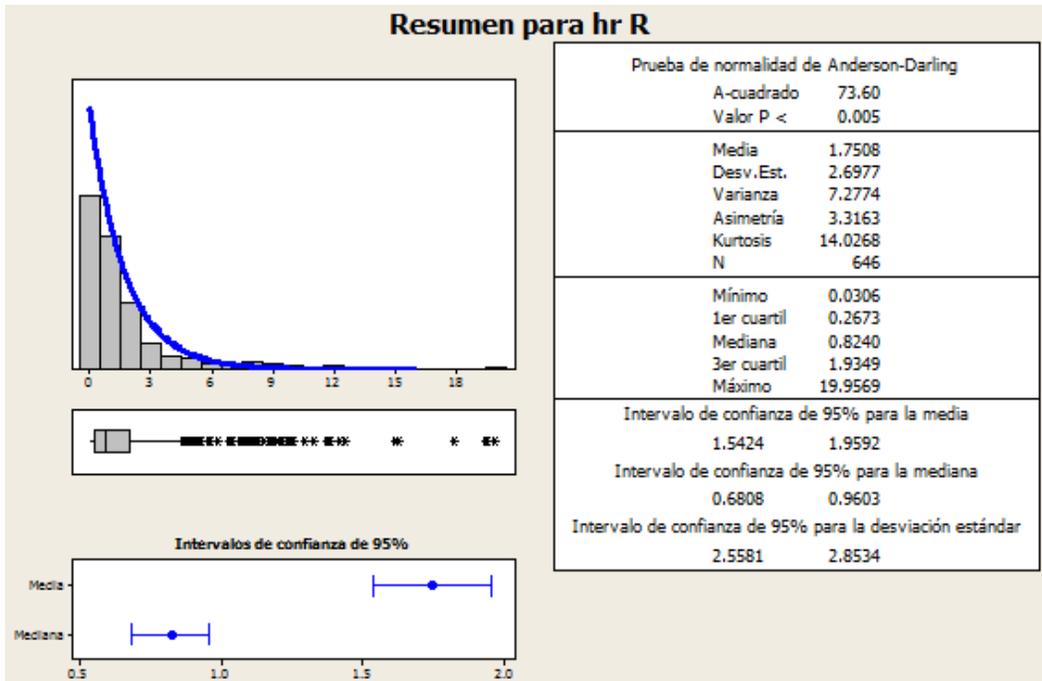


Figura 119 - Estadística de reservas

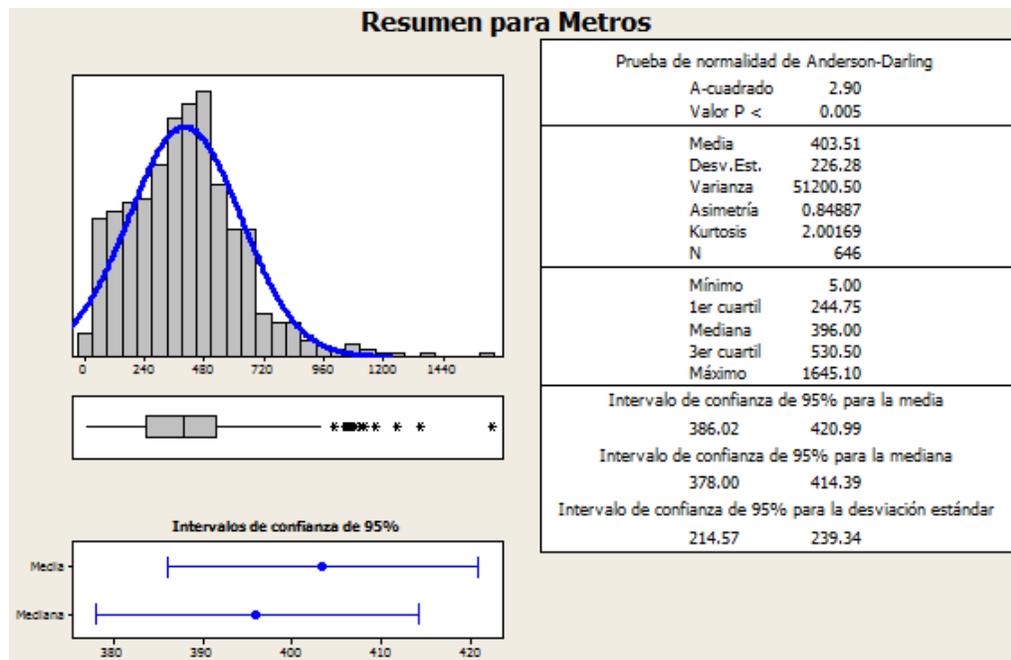


Figura 120 - Estadísticas metros por día

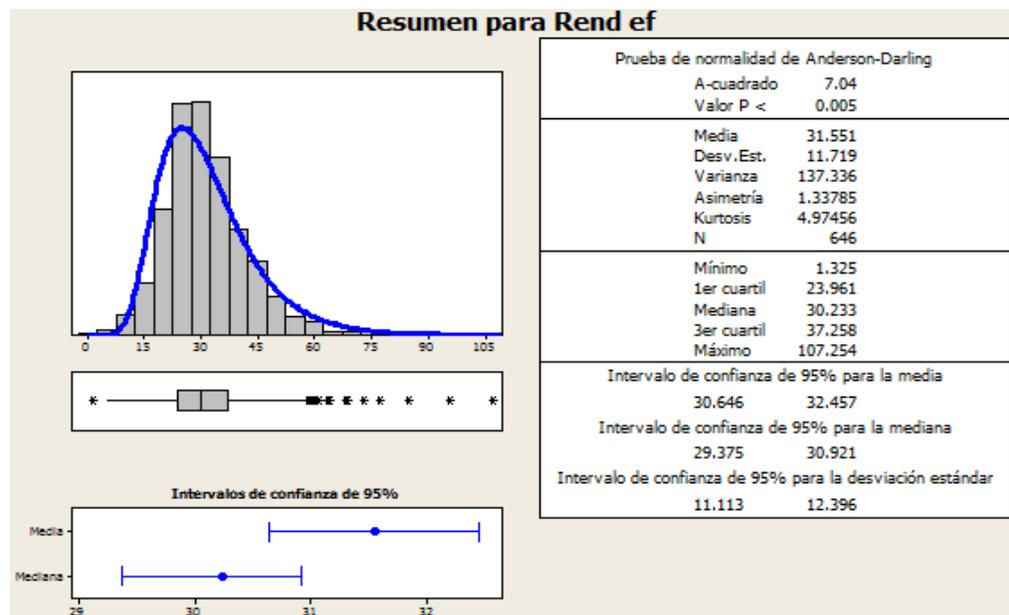


Figura 121 - Estadísticas rendimiento efectivo

A continuación se presentan los resúmenes estadísticos para las variables asociadas al diseño: Ancho equivalente, razón de elongación y radio hidráulico

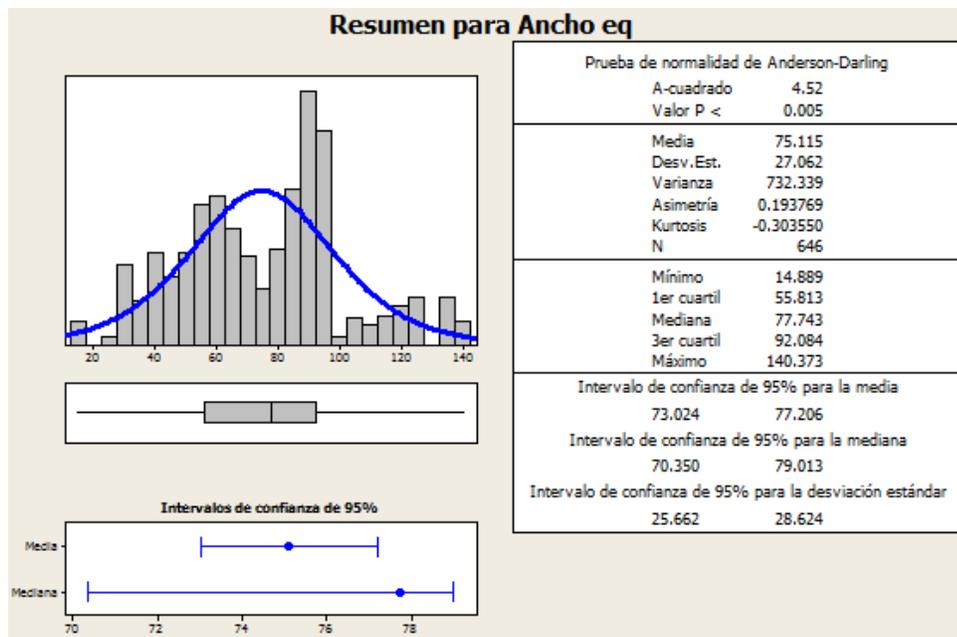


Figura 122 - Estadística ancho equivalente

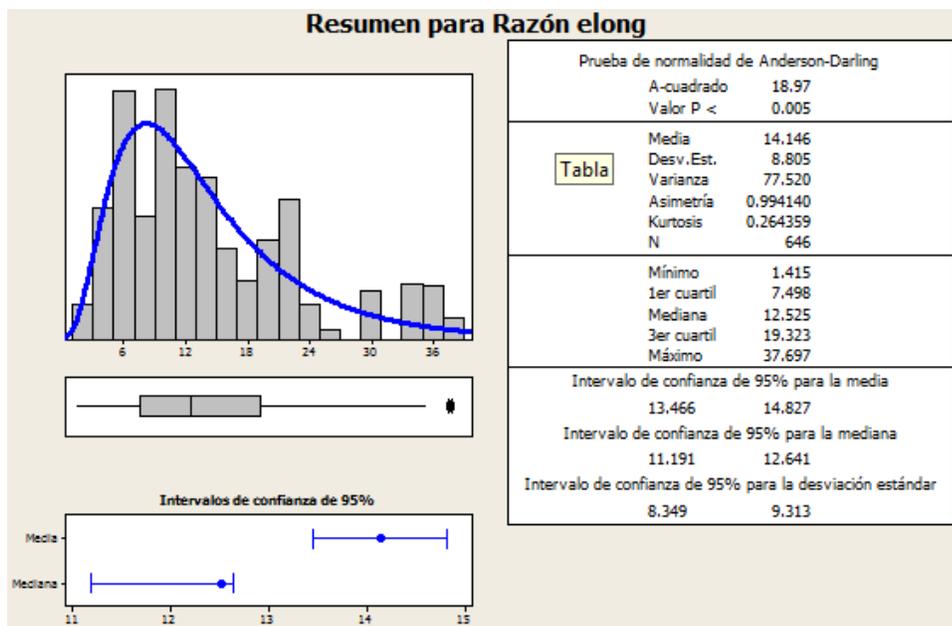


Figura 123 - Estadística razón de elongación

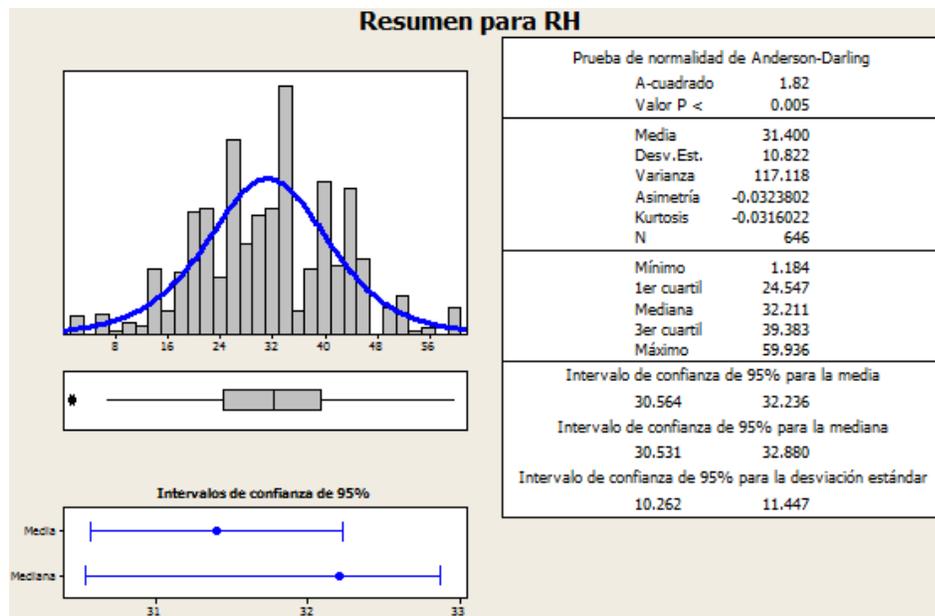


Figura 124 - Estadística de radio hidráulico

## B.7. GRÁFICOS DE DISPERSIÓN

A continuación se presentan los principales gráficos de dispersión para evaluar la relación entre variables y los metros perforados

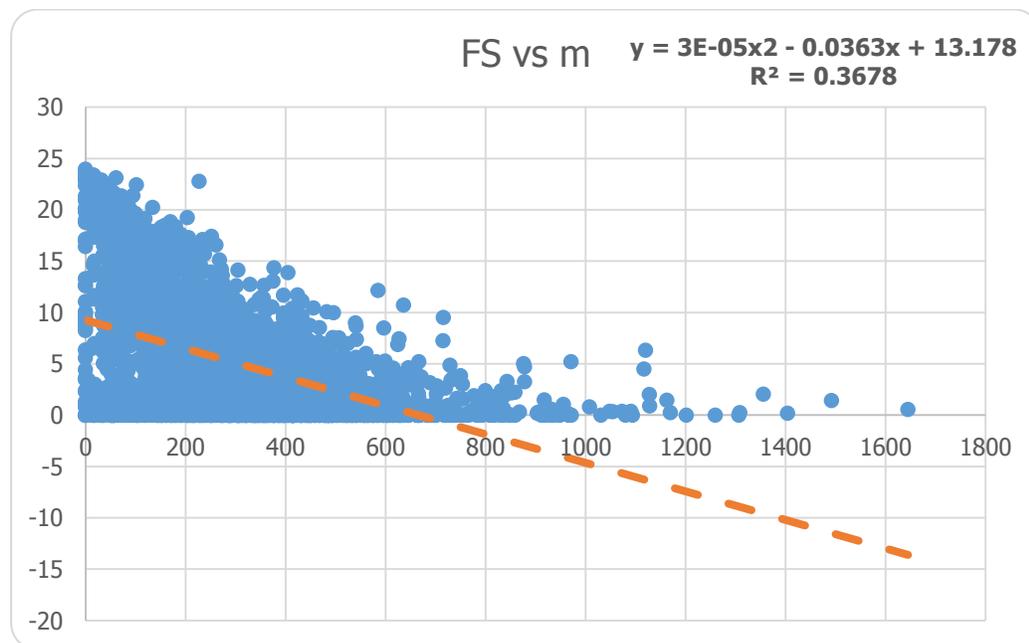


Figura 125 - Gráfico de dispersión FS vs m

El tiempo fuera de servicio tiene una relación inversamente proporcional con los metros perforados por día, traducido de otra forma, a mayor disponibilidad se tendrá mayor cantidad de metros perforados.

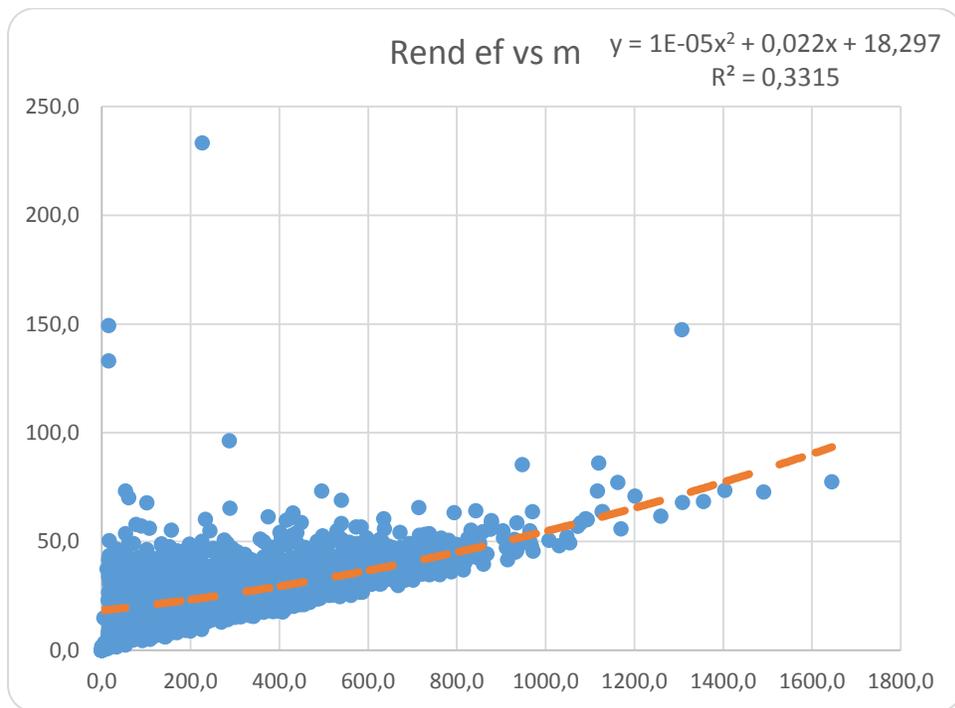


Figura 126 - Gráfico de dispersión rendimiento efectivo vs m

Como se puede observar en la figura anterior, el rendimiento efectivo es directamente proporcional con los metros perforados.

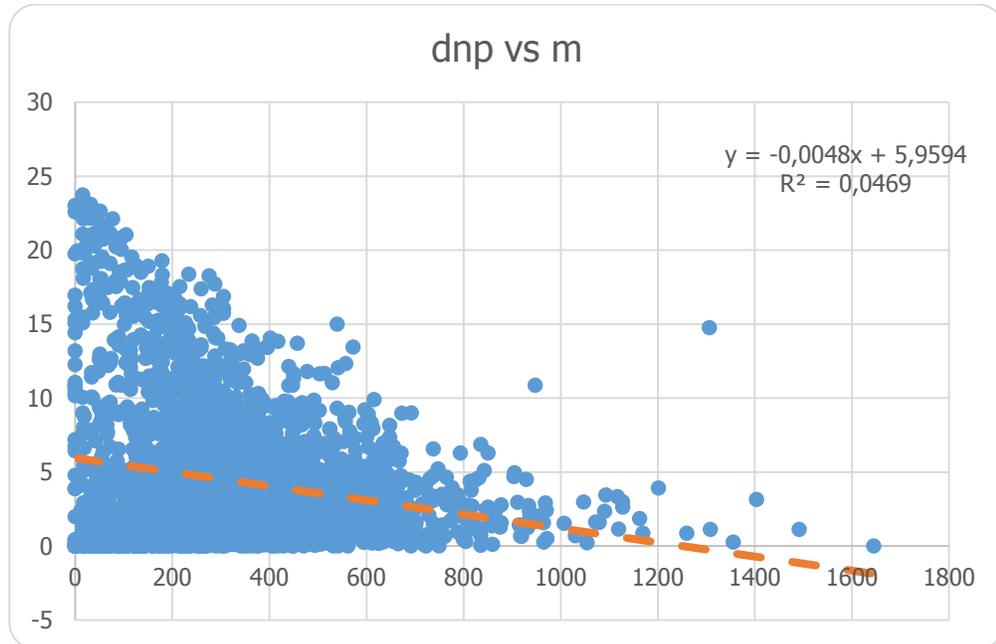


Figura 127 - Gráfico de dispersión demoras no programadas versus metros

Las demoras no programadas son inversamente proporcionales a los metros perforados y por tanto, la utilización efectiva tendrá una relación directamente proporcional, como es esperado.