

**GESTIÓN DE ACTIVIDADES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA
OPERACIONAL DE LA MINA DE CALIZA SANTA ANA - CEMENTOS ARGOS
S.A., PLANTA CARTAGENA.**

ESTEBAN LUIS PARRA REALES

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERIA DE MINAS
SOGAMOSO
2015**

**GESTIÓN DE ACTIVIDADES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA
OPERACIONAL DE LA MINA DE CALIZA SANTA ANA - CEMENTOS ARGOS
S.A., PLANTA CARTAGENA.**

ESTEBAN LUIS PARRA REALES

**Propuesta modalidad práctica empresarial presentada como requisito para
optar al título:**

INGENIERO DE MINAS

DIRECTOR

EDGAR OMAR PARRA LEGUIZAMO

INGENIERO DE MINAS

ESPECIALISTA EN GESTIÓN DE RECURSOS MINEROS

CORDINADOR DE PRÁCTICA ARGOS

FERNEY ANTONIO CANO

INGENIERO DE MINAS Y METALURGIA

ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERIA DE MINAS

SOGAMOSO

2015

Nota de aceptación

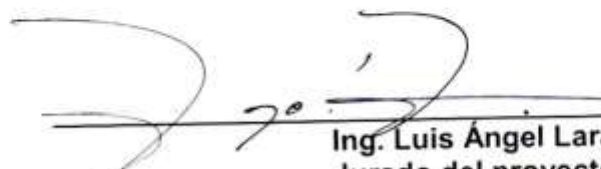


Firma Director de Escuela
JAIME WILLIAM JOJOA MUÑOZ



Firma Director del Proyecto
EDGAR OMAR PARRA LEGUIZAMO

Firma Codirector del Proyecto
FERNEY ANTONIO CANO



Ing. Luis Ángel Lara
Jurado del proyecto



Ing. Mónica Porras
Jurado del Proyecto

Sogamoso, Febrero de 2015.

**“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA SEDE SECCIONAL SOGAMOSO,
RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE DE LAS
OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”**

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN INDICANDO SU ORIGEN.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por brindarme la fortaleza, la voluntad y la sabiduría para salir adelante, para levantarme ante todos los tropiezos y por llenar a mi familia de salud y prosperidad.

A la empresa Drummond Ltd. Por contribuir a labrar este gran sueño de ser un profesional y su gran atención a lo largo de mi carrera, especialmente al Dr. Gustavo Solano y al Dr. Rafael García por depositar en mí su confianza, por velar por una buena disposición física y mental a lo largo de la carrera con sus palabras de ánimo y apoyo incondicional.

A la empresa Cementos Argos S.A por permitirme realizar la práctica empresarial dentro de su compañía, lo que me permitió empaparme de muchos conocimientos, fortalecer algunos puntos personales y aportar un pequeño grano de arena. A Ing. Ferney Cano, Ing. Lina Molano, Ing. Richard Lima, Profesor Otto, son excelentes profesionales y admirables personas, estoy inmensamente agradecido porque se encargaron de transmitirme un poco de su notable experiencia y contribuir a mi formación.

Al grupo de operarios de la Cantera Santa Ana, por su constante colaboración.

Al Ingeniero Edgar Omar Parra Leguizamo.

A la escuela de ingeniería de minas.

A mi familia, que siempre será mi motivación para seguir creciendo y cumplir todas mis metas.

A Sra. María Rubio, Sra. Nidia, Sra. Carmen quienes fueron de gran apoyo y las aprecio mucho.

A mis amigos Pipe, Migue, Eduar, Jeider, Eduar, Alvaro, Carolina, Maira, Liz por su compañía, sus consejos, sus regaños, por compartir risas y lágrimas. Por ser mis cómplices y aliados

Y a todas las personas que colaboraron de innumerables maneras para la realización de éste proyecto.

DEDICATORIA

A **Dios**, por su infinita bondad y sus bendiciones, que me motivaron cada día a seguir luchando por mis metas y surcar este camino.

A mis padres **Senaida Reales Rodríguez** y **Esteban Parra Machuca**, por sus incansables esfuerzos, su apoyo y su infinito amor. Gracias por batallar día a día para sacarme adelante. Su confianza y los principios con los que me educaron; han sido y seguirán siendo un elemento imprescindible para seguir creciendo como persona y profesional, los amo con todo mí ser.

A mis hermanos Karina, Lorena, Daniel, Yesid, Rosmilda y Emilio quienes hacen parte de mi vida, todo este sueño y que estuvieron ahí expectantes con su consejos, palabras de aliento y su respaldo.

A mis tíos Albeiro Pizarro y su esposa Ana, por sus buenos gestos y constante atención.

A mis tíos la Máquina, Onalba, Rafael y a toda mi familia por su incondicional apoyo en todo este proceso, fueron gran fuente de motivación para sacar este proyecto adelante.

A Deiby Trespalacios “Mi hermano”, Leda Paz Muñoz, Tania Arriaga, Maty Morales, Daniel Morales, Miguel Pinilla, Álvaro Aragón, Eduar Tuta, Jorge Acosta, Jhony Viecco, Jeider Luque, Hans, Luisfer. Amigos y compañeros de lucha.

A María Rubio, Nidia Moreno y Carmen Fuentes por su aliento y palabras de madres adoptivas desde que estuve lejos de la biológica. Las aprecio mucho.

A todas las personas se tomaron papel en la realización de este proyecto y me colaboraron en todo lo que estuvo a su alcance.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
I. ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	24
1. GENERALIDADES.....	24
1.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	24
1.2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	25
1.2.1. Objetivo General.....	25
1.2.2. Objetivo específico.....	25
2. LOCALIZACIÓN.....	26
2.1. ACCESO.....	26
2.2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA.....	28
3. FUNCIONES ASIGANDAS POR LA EMPRESA.....	29
3.1. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES.....	29
3.2. CAPACITACIÓN ADQUIRIDA.....	30
4. APORTES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	32
4.1. METODOLOGÍA.....	32
4.1.1. Revisión bibliográfica.....	32
4.1.2. Trabajo de campo.....	32
4.1.3. Trabajo de laboratorio.....	32
4.1.4. Análisis de resultados.....	33
4.1.5. Presentación de informes.....	33
4.2. APORTE TÉCNICOS.....	33
4.3. APORTES A LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A.....	34
5. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	35
6. RECOMENDACIONES.....	36
II. INFORME TÉCNICO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	37
1. RESEÑA HISTÓRICA.....	37
1.2. GENERALIDADES PLANTA CARTAGENA.....	39
1.3. POLÍTICA DE GESTIÓN INTEGRAL.....	41

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	42
2.1. CONCEPTOS GENERALES.....	42
2.1.1. Proceso de elaboración del cemento	42
2.1.2. Producción de Clínker	42
2.2. PRODUCCIÓN DE CLÍNKER VÍA SECA.....	43
2.3. PRODUCCIÓN DE CLÍNKER VÍA HÚMEDA	46
2.4. PROCESOS DEL MUELLE.....	47
2.4.1. Recibo de materiales.....	47
2.4.2. Despacho de Materiales.....	47
3. GEOLOGÍA	48
3.1. GEOLOGÍA LOCAL TÍTULO 18610	48
3.2. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	48
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO.....	49
3.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	51
3.5. FISIOGRAFÍA.....	51
4. ESTADO ACTUAL DE LA MINA	52
4.1. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	52
4.2. LABORES DE PREPARACIÓN	52
4.3. LABORES DE DESARROLLO	53
4.4. LABORES DE EXPLOTACIÓN	53
4.5. DELIMITACIÓN DE LA MINA.....	54
4.6. CONTRATO DE CONCESIÓN.....	55
4.7. MARCO DE REGULACIÓN AMBIENTAL	55
4.8. COMPONENTE SOCIAL.....	55
5. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA ACTUAL	56
5.1. EQUIPOS DE ARRANQUE Y CARGUE	56
5.2. EQUIPOS DE ARRANQUE.....	57
5.3. EQUIPOS DE CARGUE.....	61
5.5. EQUIPOS DE TRANSPORTE.....	62
5.6. OTROS EQUIPOS	64
5.7. TRITURADORAS.....	64
5.7.1. Trituradora Laron.....	65
5.7.2. Trituradora Abon	66

5.8. ANALISIS SITUACIONAL DE LAS OPERACIONES	67
5.8.1. Situación actual - año 2014	67
5.8.2. Análisis de áreas claves – base teórica de análisis	69
5.8.3. Ejecución del análisis	72
5.8.3.1. Teoría de las restricciones o análisis factorial causal.....	72
5.8.3.2. Principio de Pareto	73
5.9. MODALIDAD DE TRABAJO.....	77
6. DESCRIPCIÓN DE LAS PLAZAS DE CARGUE Y CICLOS DE ACARREO.....	80
6.1. CARACTERÍSTICA DE CARGUE CALIZA	81
6.2. CARACTERÍSTICA DE CARGUE LIMOLITAS	81
6.3. DISTANCIA DE ACARREO DEL MATERIAL.....	82
6.4. TIEMPOS PROGRAMADOS DE LOS CICLOS	84
6.5. REGISTRO DE CICLOS Y RENDIMIENTOS EN CAMPO.....	84
6.5.1. Ciclo transporte caliza bloque 3	85
6.5.2. Ciclo transporte caliza bloque 1A panel 44	90
6.5.3. Ciclo transporte mezcla bloque 3 y bloque 1A	92
6.5.4. Ciclo transporte mezcla bloque 2 y bloque 3.....	94
6.6. RESULTADO DE LOS CICLOS	97
6.6.1. Resultados ciclo mezcla en tolva.	97
6.6.2. Resultado mezclas en volquetas.....	98
6.7. ESTUDIO ADICIONAL DE LA OPERACIÓN DE ACARREO.....	100
6.7.1. Resultados CAT 1	101
6.7.2. Resultados CAT 2	104
6.7.3. Resultados CAT 3	107
6.7.4. Resultados CAT 5	110
6.8. RESULTADO GENERAL DEL ESTUDIO DE LA OPERACIÓN.....	113
6.8. ANÁLISIS OPERACIONAL POR LÍNEAS DE ESPERA.....	114
6.8.1. Parámetros de la teoría de líneas de espera.....	114
6.8.2. Sistema M/M/1	116
6.8.3. Sistema M/M/S o servicio en paralelo	118
6.9. FUNDAMENTO DEL ANÁLISIS	121
6.9.1. Análisis por sistema M/M/1.....	121
6.9.2. Análisis por sistema M/M/S	126

6.9.3. Diagnóstico económico	130
7. PROPUESTAS MEJORA DE LA EFICIENCIA.....	132
7.1. PROGRAMACIÓN CAMBIO A TURNO DE 12 HORAS.....	132
7.2. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS DE CARGUE Y TRANSPORTE.	142
7.2.1. Objetivo y procedimiento	142
7.3. DISEÑO DE VIA.....	152
7.3.1. Objetivos y aplicaciones	152
7.3.2. Características de la vía	152
7.3.3. Manejo y cuidado de la vía	159
7.3.4. Programa de mantenimiento de las vías	160
7.3.5. Cuidados y seguridad de la operación.	161
7.3.6. Riego de las vías.	161
7.3.7. Estándares de velocidad	161
7.3.8. Señalización	162
7.4. DISEÑO DE STOCK DE CALIZA – ALMACENAMIENTO DE MATERIAL...	164
7.4.1. Objetivo y funciones	164
7.4.2. Producción actual	164
7.4.3. Ubicación y capacidad.....	164
7.4.4. Ciclo del cargador (Stock de caliza Tolva de trituración).....	165
7.4.5. Capacidad del stock	167
7.4.5.1. Características geométricas y material a almacenar	167
7.4.6. Modo operacional y consumo del material	169
7.6.7. Puntos importantes del sistema	170
7.5. RESUMEN ECONÓMICO – POLITICA DE SOSTENIBILIDAD	172
7.5.1. Costos operativos directos	172
7.5.2. Costos por nómina	172
7.5.3. Costos por consumo de energía	173
7.5.4. Costos por combustible	174
7.5.5. Costos por lubricación	175
7.5.6. Costos por gamas y engrase.....	176
7.5.7. Resumen de ahorros con el nuevo sistema	178
CONCLUSIONES.....	179
RECOMENDACIONES.....	182

BIBLIOGRAFÍA.	183
ANEXOS	185

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Instalaciones mina Santa Ana.....	26
Figura 2. Localización general mina Santa Ana..	27
Figura 3. Evolución de la empresa Cementos Argos S.A. Fuente.....	38
Figura 4. Banda transportadora. Fuente.	39
Figura 5. L4 planta Cartagena. Fuente.....	39
Figura 6. Cargue Caricamat. Fuente.	40
Figura 7. Empacadora Ventomatic..	40
Figura 8. Proceso general de la fabricación del cemento. Fuente.....	47
Figura 9. Columna generalizada del Yacimiento, Cantera Santa Ana.....	50
Figura 10. Arranque en mina.....	52
Figura 11. Método de explotación..	52
Figura 12. Vía de acceso a los frentes..	53
Figura 13. Vía de acceso cantera Santa Ana.....	53
Figura 14. Vías mina Santa Ana.....	54
Figura 15. Equipo de Arranque y cargue.....	56
Figura 16. Equipos de arranque, Tractores.....	58
Figura 17. Equipo de arranque, Motoniveladora CAT 140M.	58
Figura 18. Equipos de cargue, Cargadores.....	61
Figura 19. Equipos de transporte, Volquetas..	63
Figura 20. Camión de riego.....	64
Figura 21. Trituradora Laron.....	65
Figura 22. Trituradora Abon..	66
Figura 23. Índices de producción trituración Abon..	68
Figura 24. Principio de Pareto..	71
Figura 25. Diagrama de Pareto..	76
Figura 26. Modalidad de trabajo.....	77
Figura 27. División bloques de explotación mina Santa Ana.....	80
Figura 28. Descarga en tolva..	81
Figura 29. Mezclas de caliza en volquetas.....	81
Figura 30. Ciclo acarreo bloque 1A y mezcla con Bloque 3.	82
Figura 32. Ciclo mezcla bloque 3 y bloque 2.....	83
Figura 31. Vías de acceso a los frentes y de acceso a tolva.....	83
Figura 33. Resumen rendimientos ciclo mezcla en tolva.	98
Figura 34. Resumen rendimientos ciclo mezcla en volqueta.....	99
Figura 35. Rendimiento CAT 1 turno.....	102
Figura 36. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 1.....	103
Figura 37. Rendimiento turno CAT 2.....	105
Figura 38. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 2.....	106
Figura 39. Rendimiento turno CAT 3.....	108
Figura 40. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 3.....	109
Figura 41. Rendimiento turno CAT 5.....	111

Figura 42. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 2.....	112
Figura 43. Rendimiento general volquetas.....	113
Figura 44. Sistema cola M/M/1.....	116
Figura 45. Sistema de cola M/M/S.	118
Figura 46. Producción promedio turnos 12 horas vs turnos 8 horas.	140
Figura 47. Máxima producción y mínimo coste no coincidente.	142
Figura 48. Variación de la eficiencia con respecto al factor de acoplamiento.	143
Figura 49. Curva producción teórica.	145
Figura 50. Estudio Bloque 3 panel 18.	147
Figura 51. Estudio Bloque 3 panel 11..	148
Figura 52. Resumen general datos factor de acoplamiento y rendimiento de la flota.	150
Figura 53. Sección para vías y representación del bombeo.....	154
Figura 54. Trazado en planta vía actual y nueva vía.....	156
Figura 55. Representación de compactación de vía... ..	156
Figura 56. Corte transversal de la vía.	157
Figura 57. Diseño de la vía con la flota en operación.....	157
Figura 58. Comparativo de distancias.	158
Figura 59. Comparativos de tiempos de ciclo.....	159
Figura 60. Ubicación de stock de material.	165
Figura 61. Distribución del material en el stock.....	168
Figura 62. Conformación pilas de material en el stock.....	168

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Delimitación mina Santa Ana.....	54
Cuadro 2. Especificaciones técnicas retroexcavadora RH 40- E..	57
Cuadro 3. Alcance del trabajo retroexcavadora RH 40-E.....	57
Cuadro 4. Fuerzas de excavación retro RH 40- E.....	57
Cuadro 5. Especificaciones técnicas Tractor CAT D19T.....	59
Cuadro 6. Especificaciones técnicas Tractor CAT D10T.....	60
Cuadro 7. Especificaciones motoniveladora CAT 140M.	60
Cuadro 8. Especificaciones cargador de ruedas 988H.	62
Cuadro 9. Especificaciones volquetas CAT 773F.	63
Cuadro 10. Índices productivos Cantera Santa Ana, TT Abon.....	67
Cuadro 11. Resumen análisis factorial y causal.....	72
Cuadro 12. Datos principio de Pareto.	75
Cuadro 13. Tamaño de muestras.	79
Cuadro 14. Distancias de acarreo diferentes bloques.....	82
Cuadro 15. Tiempos estimados de ciclos.....	84
Cuadro 16. Tiempos de ciclo bloque 3.....	85
Cuadro 17. Distribución del tiempo del turno.....	87
Cuadro 18. Condiciones de operación.	88
Cuadro 19. Factores de eficiencia.....	88
Cuadro 20. Tiempos de ciclo bloque 1A.....	90
Cuadro 21. Tiempo estimado del ciclo mezcla Bl. 3 y Bl. 1A.....	92
Cuadro 22. Tiempos ciclo mezcla BL. 3 y BL. 1A.....	93
Cuadro 23. Tiempo estimado del ciclo mezcla bloque 2 y bloque 3.....	94
Cuadro 24. Tiempo de ciclo mezcla bloque 2 y bloque 3.....	95
Cuadro 25. Resultados ciclos mezcla en tolva.....	97
Cuadro 26. Tiempos de espera en el ciclo.....	97
Cuadro 27. Resultados mezclas en volqueta.....	98
Cuadro 28. Tiempos de espera en el ciclo.....	98
Cuadro 29. Tiempos turno A CAT 1, mes de julio.....	101
Cuadro 30. Rendimiento promedio del turno CAT 1.....	102
Cuadro 31. Tiempos turno A CAT 2, mes de julio.....	104
Cuadro 32. Rendimiento promedio del turno CAT 2.....	105
Cuadro 33. Tiempos turno A CAT 3, mes de julio.....	107
Cuadro 34. Rendimiento promedio del turno CAT 3.....	108
Cuadro 35. Tiempos turno A CAT 5, mes de julio.....	110
Cuadro 36. Rendimiento promedio del turno CAT 5.....	111
Cuadro 37. Resultado estudio general de la operación de las volquetas.....	113
Cuadro 38. Resumen costos del sistema.....	125
Cuadro 39. Queuing Analysis with WinQSB.....	125
Cuadro 40. Resumen costos del sistema.....	129
Cuadro 41. Queuing Analysis with WinQSB.....	130

Cuadro 42. Diagnóstico económico.....	131
Cuadro 43. Tiempos establecidos en el estudio London Consulting.	133
Cuadro 44. Comparación datos London con datos tomados en campo.....	134
Cuadro 45. Propuesta tiempo de trabajo.....	135
Cuadro 46. Propuesta rotación turno 12 horas.....	137
Cuadro 47. Relación turnos requeridos y producción promedio turno, Turno de 8 horas.	138
Cuadro 48. Relación turnos requeridos y producción promedio turno, Turno de 12 horas.	139
Cuadro 49. Resumen distribución de flota.....	149
Cuadro 50. Criterios de diseño.....	155
Cuadro 51. Estimativo de tiempos actual vía vs vía nueva.	158
Cuadro 52. Ciclo cargador 988H para stock frente a TT Abon.....	166
Cuadro 53. Resumen costos nómina.	172
Cuadro 54. Resumen costos consumo energético.	173
Cuadro 55. Ahorro en energía.....	173
Cuadro 56. Resumen costos combustible maquinaria.	174
Cuadro 57. Ahorro en combustible.....	174
Cuadro 58. Resumen costos lubricación maquinaria.	175
Cuadro 59. Ahorro costos lubricación.	175
Cuadro 60. Costos por gamas equipos.	176
Cuadro 61. Ahorro proyectado por concepto de tiempo en gamas.	177
Cuadro 62. Costos engrase maquinaria.....	177
Cuadro 63. Ahorro costo de engrase mes.....	178
Cuadro 64. Ahorro calculado con el nuevo sistema..	178

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis factorial causal

Anexo B. Factores de acoplamiento y rendimientos de la flota

Anexo C. Diseño de vía cantera Santa Ana

Anexo D. Perfil longitudinal vía

GLOSARIO

ACARREO: Término con el que se designa el transporte vehicular (automotores), transporte hidráulico y transporte por correas transportadoras. También pueden usarse términos combinados como movimiento de materias primas o desplazamiento de materiales.

BANCO: 1. Escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción en las minas a cielo abierto. 2. Niveles en que se divide una explotación a cielo abierto para facilitar el trabajo de los equipos de perforación, cargue y transporte.

CANTERA: Sistema de explotación a cielo abierto para extraer de él rocas o minerales no disgregados, utilizados generalmente como material de construcción.

CLÍNKER: Es el producto de la cocción a altas temperaturas, de carbonatos, silicatos, óxido de hierro y alúmina.

EFFECTIVIDAD: Hace referencia al impacto que se alcanza a causa de una acción llevada a cabo en condiciones habituales. En otras palabras es el término que se utiliza para combinar eficiencia y eficacia de manera que pueda lograrse de manera consistente obtener ambas a la vez. En términos simples, la efectividad se expresa de la siguiente manera: Efectividad (%) = Eficiencia (%) x Eficacia (%)

EFICACIA: Hace referencia al impacto o efecto de una acción llevada a cabo en las mejores condiciones posibles o experimentales. En términos simples la eficacia requiere el logro de resultados y se expresa porcentualmente como: logro obtenido/meta propuesta. Se expresa en porcentaje (%).

EFICIENCIA: Se refiere a la producción de los bienes o servicios más valorados por la sociedad al menor coste posible. Responde por tanto a la medida en que las consecuencias del proyecto son deseables desde la perspectiva económica. Supone en resumen maximizar el rendimiento (output) de una inversión dada. Dicho en otras palabras es la capacidad de disposición que se tiene sobre los recursos y se expresa en porcentaje (Ejemplo: Eficiencia en tiempo es igual a (tiempo programado/tiempo real)

ESCOMBROS: 1. Material o roca que fueron rotos mediante la voladura. 2. Material de suelo, arena, arcilla o limo, inconsolidados, encontrados como material de recubrimiento en las operaciones de minería a cielo abierto. 3. Material estéril producido en una mina.

IMPRODUCTIVO: Son aquellas actividades operativas de las que no se obtiene fruto o producto.

OVERHAULIN: Se le denomina al tiempo en que un equipo o maquinaria se encuentre en mantenimiento por concepto de gamas o reparaciones generales.

PRODUCCIÓN: Cantidad de mineral obtenido en un proceso o en una operación y que puede servir como suplemento a un tratamiento posterior.

PRODUCTIVIDAD: Es la medida de lo bien que se ha combinado y utilizado los recursos para cumplir los resultados específicos deseados, dicho de otras palabras es la relación entre efectividad/eficiencia.

SOSTENIBILIDAD: Es el deber de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables, y la integridad y el disfrute del ambiente; es compatible y concurrente con la necesidad de fomentar y desarrollar racionalmente el aprovechamiento de los recursos mineros como componentes básicos de la economía nacional y el bienestar social.

STOCK: Mineral fragmentado y amontonado en pilas en la superficie, a la espera de tratamiento de beneficio o embarque.

TALÚD: 1. Resalte o inclinación de la topografía, natural o artificial, cuya pendiente es generalmente más suave que la de los acantilados (desde plano inclinado hasta subvertical), su altura puede variar desde los 5m en adelante.

ABREVIATURAS

TPC.: Tiempo de posicionamiento cargue.
TCR.: Tiempo de cargue retro
TCC.: Tiempo de cargue cargador
TFT.: Tiempo frente-tolva
TPT.: Tiempo posicionamiento en tolva
TDT.: Tiempo de descargue en tolva
TTF.: Tiempo de traslado al frente
TET.: Tiempo de espera tolva
TER.: Tiempo de espera de Retro
TEC.: Tiempo de espera cargador
s.: Segundos
mm:ss.: Minutos y segundos.
Pos.: Posicionamiento
Ecu.: Ecuación
Clz.: Caliza
Bl.: Bloque
V. Prod.: Viajes producidos
FIFO: (First in first out) Primero en llegar, primero en salir.
Promed.: Promedio
F.A.: Factor de acoplamiento

RESUMEN

La Cantera Santa Ana es la encargada de proveer las materias primas para la producción de cemento en la planta Cartagena, en esta se cuenta con un sofisticado sistema de producción a la vanguardia del mercado, la actividad productiva no ha tenido la representación esperada en cuanto al tiempo de trabajo, costos operativos de maquinaria, transportado de materia prima, rendimiento de las operaciones, costos de mantenimiento y costos por producción.

De esta manera se ve la necesidad de estudiar minuciosamente cada fase del proceso productivo, identificar los puntos críticos y generar propuestas de mejora que contribuyan de forma sustancial a la problemática tratada.

Este proyecto se idea tomando una serie de ciclos desde los frentes al punto de trituración de la materia prima, con el objetivo de conocer los tiempos de transporte y principales factores que alteran el normal funcionamiento de la actividad, generando interrupción o tiempos improductivos.

Una vez identificadas las causas del bajo nivel productivo se procede a su validación por las políticas de sostenibilidad, cuidado con el medio ambiente y buena relación con los grupos de interés, para mantener un equilibrio primordial dentro de los pilares de la empresa.

Inicialmente, se realiza un diagnóstico de las condiciones actuales de las vías, en las cuales se toman medidas necesarias para garantizar que se encuentren en las mejores condiciones de distancias, pendientes, mantenimiento, señalización y otros. Para responder a los requerimientos de producción.

Adicionalmente, para el mejoramiento de las operaciones y ciclos productivos se proyecta la construcción de una vía que minimice los tiempos de transporte y que brinde las mejores condiciones de operación y menores costos de producción. También, se analizan las actuales condiciones de operación de la maquinaria, eficiencia en condiciones normales y posibles mejoras.

Finalmente, se realizan seguimientos a los horarios estipulados para la llegada de las rutas de transporte, cambios de turno, alimentación y tiempo efectivo productivo. Donde se estiman como punto de mejora y adecuación de nuevos horarios, menos variables.

SUMMARY

The Cantera Santa Ana is responsible for providing the raw materials for cement production at the Cartagena plant, in this it has a sophisticated production system to the forefront of the market, production activity has not had the expected representation as to working time, operating costs of machinery, raw material transported, operational performance, maintenance costs and production costs.

Thus we see the need to thoroughly study each stage of the production process, identify critical points and generate proposals for improvement that contribute substantially to the treated problematic way.

This project will devise taking a series of cycles from the fronts to the point of crushing the raw material, in order to meet the transport cycles and main factors that alter the normal functioning of the activity, generating interruption or downtime.

Once identified the causes of low production level will proceed to validation by the policies of sustainability, care for the environment and good relationship with stakeholders, to maintain a balance within the main pillars of the company.

Initially, a diagnosis of current road conditions, in which necessary to ensure that they are in top condition distances, earnings, maintenance, signage and other measures are taken is performed. To meet production requirements.

Additionally, to improve operations and production cycles building a pathway that minimizes transportation times and to provide the best operating conditions and lower production costs are projected. In addition, current operating conditions of machinery, efficiency under normal conditions and possible improvements are discussed.

Finally, follow the timetable set out for the arrival of transport routes, shift changes, food and productive uptime performed. Where was estimated as about improving and adapting new schedules, fewer variables.

INTRODUCCIÓN.

La mina Santa Ana perteneciente a la empresa **Cementos Argos S.A.** tiene como objetivo la extracción, transporte y trituración de materias primas para la fabricación de cemento, siendo una de las empresas más reconocidas en el país en cuanto a calidad en sus productos y dominio en el mercado, este proceso de producción de cemento va marcado por una serie de etapas que inician en la mina Santa Ana, la primera etapa es la extracción de la materias primas (Caliza, Limolitas) estos materiales son el aporte principal con su contenido mineral para su fabricación, la segunda etapa es el transporte de dicho material a la tolva de trituración donde comienza el primer proceso de beneficio del material para la elaboración del cemento.

La planta Cartagena propiedad de Cementos Argos S.A, está ubicada en el Km 7 de la vía que de Cartagena conduce al municipio del Mamonal, la cual se rige bajo la normativa de Zona Franca de Argos, cuenta con una gran volumen de operaciones diarias donde se transporta la materia prima del frente de explotación a las tolvas de trituración además cuenta con un sofisticado sistema de trituración y una sofisticada maquinaria minera para el cumplimiento de las metas productivas.

Actualmente la mina Santa Ana no ha cumplido con los niveles productivos programados, debido al incremento gradual de los costos de producción, bajo rendimiento, tiempos improductivos y ciclos transporte muy largos. De esta manera nace el principal objetivo, que es la investigación de las causas que originan dichas deficiencias, para lo cual se programaron una serie de pruebas en forma sistemática en cuanto a la condiciones de la vías, correcta operación de la maquinaria, proyección de una nueva vía, patios de stock, implementación de horarios definidos para el proceso productivo y factores humanos. Todo visionado a la reducción de los costos de producción y aumento del rendimiento de las actividades; además de fomentar a una producción sostenible, disciplina de producción y seguridad en el proceso.

La metodología de esta práctica empresarial consiste en analizar los rendimientos actuales, compararlos con los datos teóricos, para marcar el punto de partida según los resultados arrojados en campo. En algunos casos se determinan puntos de mejora en todo el sistema.

En el entorno operacional de la mina, especialmente las actividades de transporte del material; donde se enfocó el proyecto, se realizó un análisis con datos reales de actividades durante ejercicios normales de producción, evitando al máximo influencia de factores externos al proceso que pudiesen alterar el normal funcionamiento de las operaciones y con el fin de obtener respuestas más objetivas a mejoras.

La situación ya descrita requiere de conocimientos de administración de operaciones mineras, administración de maquinaria y diseño de vías que no sólo servirá para la aplicación del proyecto en la empresa sino que se acoplará a situaciones de similar envergadura de labores mineras.

I. ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

1. GENERALIDADES

1.1 . RESEÑA HISTÓRICA

Las actividades de explotación minera en el área de la actual Cantera Santa Ana se iniciaron a principios de los años 70 cuando la empresa Álcalis de Colombia tenía los derechos de concesión bajo el Aporte Minero No. 839. ALCALIS adelantó la explotación hasta el año 1992, cuando cerró definitivamente todas sus operaciones. En 1994 la cantera fue vendida a la Compañía Colombiana de Clinker – Colclinker S.A., hoy Cementos Argos S.A. Colclinker por su parte, tramitó ante el Ministerio de Minas y Energía la correspondiente Licencia de Exploración, la cual fue radicada con el No. 18.610 y otorgada mediante la resolución No. 100275 de fecha 30 de marzo de 1.995 y posteriormente anotada en el Registro Minero Nacional bajo la modalidad de Contrato de Concesión el 12 de Abril de 1.996.

Al recibir el área, Argos, en ese entonces Colclinker, continuó las labores de extracción y adelantó las de exploración que permitieron delimitar un área para explotación con calidades adecuadas para el proceso de fabricación de clínker.

Desde su adquisición, la mina Santa Ana hizo parte importante en el suministro de la materia prima para la planta de Argos en Cartagena, con el aporte de unos volúmenes variables según la programación de producción de otros proveedores de materia calcárea. Tradicionalmente, la mayor parte de la producción de la planta de Argos en Cartagena ha sido para exportación al mercado del Caribe y del sur de los Estados Unidos.

En la concepción del proyecto, tanto en 1970 cuando se fundó Colclinker, como en 1995, cuando se adquirieron los derechos mineros, como ahora, con el proyecto de ampliación de la producción, se ha tomado en cuenta la proyección del crecimiento del consumo de cemento en Estados Unidos, que, según Portland Cement Association - PCA - a marzo de 2006, evidencia un déficit de un poco más de dos millones de toneladas por año, aun considerando una operación entre 90 y 100% de las plantas actuales y la materialización de todas las ampliaciones de producción proyectadas en Estados Unidos hasta 2014.

1.2 . OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

1.2.1 Objetivo General

- Proponer una guía de optimización de los ciclos de transporte de tal manera que se aplique como un método práctico y rápido; para garantizar incrementos en la productividad en condiciones cambiantes de operación, disminución de los costos de producción y mejoras en el aprovechamiento de la maquinaria.

1.2.2 Objetivo específico

- Adquirir conocimientos de los procesos de transporte y acarreo mediante la toma de datos en campo.
- Optimizar rendimientos mediante la disminución de tiempos improductivos.
- Cuantificar el potencial de beneficio económico, debido a la reducción de costos asociados al proceso como al incremento del rendimiento de los equipos.
- Plantear una ruta que minimice los tiempos de ciclos largos.
- Proponer alternativas de mejoras en la producción.

2. LOCALIZACIÓN

La mina Santa Ana, es una unidad de explotación a cielo abierto de calizas y limos, perteneciente a la empresa Cementos Argos S.A. El área de la cantera Santa Ana se encuentra localizada en el municipio de Turbaco al noroeste del departamento de Bolívar, aproximadamente a unos 10 Km al sureste de la ciudad de Cartagena de Indias distrito turístico. El área comprende 444 Hectáreas según el contrato de concesión N. 18610 localizado en las planchas topográficas **29-I-B, 30-II-A** y Coordenadas Geográficas 10°19'20" de Latitud Norte y a 75°26'59" de Longitud Oeste.

Topográficamente el área aledaña a la mina Santa Ana se caracteriza por ser un terreno de colinas suaves con elevaciones entre 200 y 300 msnm, el clima es tropical seco con temperaturas promedios de 28°C

2.1. ACCESO

Desde Cartagena se llega al área de interés tomando por la carretera Variante Mamonal – Gambote desde la cual, en el corregimiento de Membrillal, se desprende una vía pavimentada de 5 kilómetros hacia el oriente que comunica directamente con el área de la cantera Santa Ana.

Desde la planta de cementos, ubicada en el sector de Mamonal en Cartagena, el recorrido hasta el área del contrato de concesión 18610 tiene una duración de 10-15 minutos en vehículos livianos de transporte terrestre. La mina se encuentra en las coordenadas planas X= 1.634.178,50 Y= 852.894,31.



Figura 1. Instalaciones mina Santa Ana. Fuente: Datos de estudio.

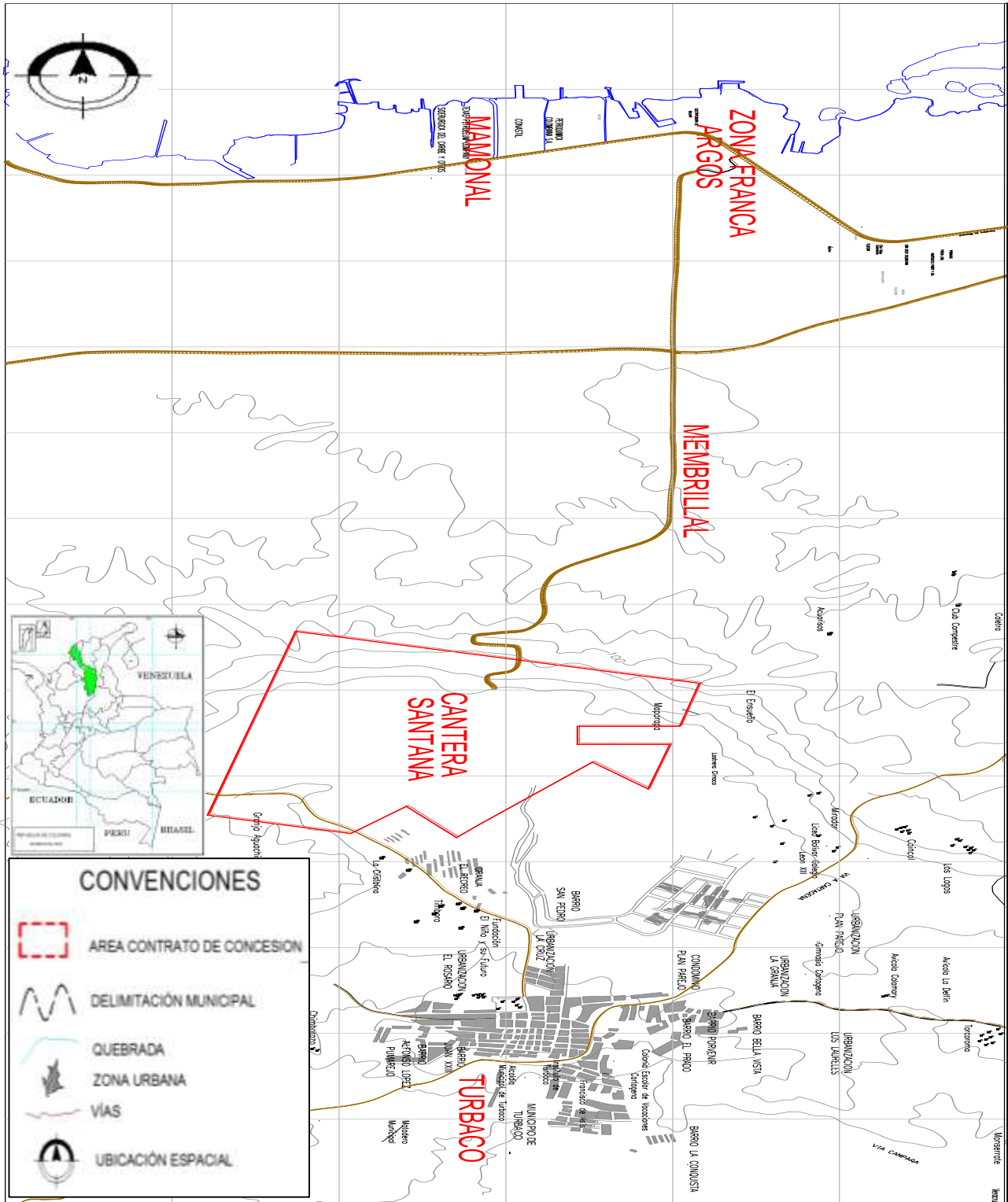


Figura 2. Localización general mina Santa Ana. Fuente: Datos de estudio.

2.2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA



Grupo empresarial: **ARGOS S.A**

Empresa de operaciones: **CEMENTOS ARGOS S.A**

Nit: **890.100.251-0**

Teléfonos: (575) 6689200 Ext 6034 - (575) 3619222-(574) 3198700

Dirección: Vía 40 Edificio las flores, Barranquilla-Colombia.

Calle 7 D N° 43 A- 99 Medellín, Colombia

Representante: Jorge Mario Velásquez

Otros contactos

Ferney Antonio Cano

Líder Senior Cantera Santa Ana

Ingeniero de Minas y Metalurgia

Telf. (575) 668 92 00 Ext. 6126

E-mail: fcano@argos.com.co

Lina Marcela Molano

Líder de Turno y Gestión de proyectos

Ingeniero de Minas y Metalurgia

Telf. (575) 668 92 00 Ext. 6123

E-mail: lmolano@argos.com.co

Bernardino Pinto

Líder Senior Geología

Ingeniero Geólogo

Telf. (575) 668 92 00 Ext. 6124

E-mail: bpinto@argos.com.co

3. FUNCIONES ASIGNADAS POR LA EMPRESA

Cargo: Ingeniero practicante área producción y calidad.

3.1. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES

-Supervisión.

El control de cada uno de los procesos de explotación y trituración de la cantera Santa Ana. Revisando el adecuado funcionamiento de las actividades y la seguridad en cada uno de ellos.

-Reconocimiento del área y las distintas labores mineras. Mediante de visitas de inspección a la zona de estudio se conoce el estado actual de la zona de explotación en las labores de desarrollo, preparación y explotación en la mina, con el fin de permitiendo determinar las condiciones y requerimientos indispensables para proyectar la explotación a un mejor sistema productivo.

-Gestión de proyectos. De acuerdo a cada una de las actividades diarias, es necesario un tratamiento de las anomalías presentadas, esto con el objetivo de montar proyectos de mejora que optimicen las operaciones mineras.

-Recalculo de las rutas de transporte de material. Consiste en la evaluación periódica de las distintas vías, con el objetivo de identificar puntos de mejora.

-Verificación de la seguridad. De manera práctica se revisa el proceso luego se consideran los puntos álgidos o de exposición a mayor riesgo de accidente, se exponen alternativas que amortigüen las situaciones.

-Calificación de las actividades en la mina. En este informe se realizará un estudio que permita determinar las variables que mayor afectan el rendimiento de las operaciones de la mina Santa Ana, posterior a esto se propondrán soluciones que direccionen a la optimización del proceso.

3.2. CAPACITACIÓN ADQUIRIDA.

Las capacitaciones recibidas por parte de la empresa fueron:

- **Presentación general de la compañía** -Dra. Karen Amador
Conocimiento de la compañía Argos, el grupo de empresas que componen ésta gran familia y su objetivo a largo plazo.
- **Modelos de gestión integral**-Dra. Karen Amador
Indicadores de sostenibilidad y la proyección a futuro de las actividades de producción y expansión.
- **Manejo de sistemas de alto desempeño**-Dr. Luis Clarence
Software SAD, herramienta dedicada a la identificación de puntos de mejora y tratamiento de la información.
- **Generalidades del régimen franco**-Dra. Mónica Escobar
Normativa del régimen franco y características generales.
- **Presentación general de los servicios de la compañía**-Dra. Martha Arrieta
Conocimiento del horario de trabajo, alimentación, vehículo, celular, oficina y todas las actividades asociadas a la realización de la práctica empresarial.
- **Calidad y protección de recursos**-Dra. Katherine de Moya
Información de la ficha técnica de producción del cemento, parámetros de calidad y sistema de mejoramiento del proceso.
- **Conocimientos de las Instalaciones**-Ing. Gabriel Cuellar
Recorrido de las diferentes instalaciones, explicación del sistema productivo desde la extracción hasta su puesta en muelle.
- **Técnicas de Operaciones Logísticas**-Dra. Manuela Nieves
Conocimiento de las operaciones logísticas que se desarrollan dentro de la compañía para las diferentes actividades productivas.
- **Conocimientos de los Procesos LH**-Practicante Ingeniería Industrial
Conocimiento de cada una de las etapas del proceso y verificación de la ficha técnica.

- **Conocimientos de los Procesos LS**-Practicante de Ingeniería Química
Conocimiento de cada una de las etapas del proceso y verificación de la ficha técnica.
- **Políticas Ambientales** - Ing. Rosa Gonzales
Conocimiento de las políticas ambientales y compromisos de sostenibilidad.
- **Estructura Macro y Ubicación dentro de ella** - Líder senior Ing. Ferney Cano
Conocimiento del equipo de trabajo y la ubicación dentro de ella.
- **Como garantizar la seguridad en las labores de la mina** - Ing. Ferney Cano.

La minería tiene como objetivo primordial abarcar todas las actividades encaminadas a extraer materias primas depositadas debajo de la tierra transportarlas y procesarlas. El acceso a los recursos en la mina Santa Ana se efectúa mediante bancos removiendo una capa de estéril de unos 50 cm de espesor.

Todas estas actividades comprenden riesgos claros para el ser humano. Como la suspensión de material particulado, la temperatura, la presencia de radiaciones nocivas, tránsito de vehículos pesados y la emisión de ruido.

- **Delimitación de los frentes de trabajo** - Ing. Ferney Cano.
Conocimiento de los diferentes frentes de trabajo, organización de las actividades para una mayor productividad y reconocimiento de la maquinaria.

4. APORTES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

4.1. METODOLOGÍA

4.1.1. Revisión bibliográfica

Se realizará una recopilación y análisis de toda la información presente, de los estados de las vías, su diseño, la duración de los ciclos, el diseño de la explotación actual como de la proyección a futuro de los frentes de explotación, direccionando a los mejores resultados para las diferentes operaciones mineras y el transporte del material, justificando de acuerdo con los datos tomados sobre el terreno.

4.1.2. Trabajo de campo

-Se hace una inspección preliminar del estado de las vías y se registra las distancias de éstas a los diferentes puntos de operaciones.

-De forma práctica se procede a tomar los tiempos correspondientes a los ciclos operativos de la maquinaria en la actividad de explotación, cargue y transporte de materia prima.

-Después de la toma de datos, se hacen cálculos de los puntos críticos de pérdida de tiempo, sus principales factores de incidencia y mejoras visibles.

-La propuesta de mejoras que garanticen un progreso en las actividades operacionales de la mina, desde la extracción del material de los frentes hasta su puesta en planta.

-La implementación de maquinaria y equipos que optimicen el sistema operacional, igualmente que contribuyan a la disminución de los costos por cada actividad.

4.1.3. Trabajo de laboratorio

Se trabaja por etapas elementales, inicialmente se hará el montaje de las condiciones actuales de ciclos, seguidamente la preparación del análisis con condiciones nueva de diseño de la siguiente manera:

a. Verificación de las condiciones operacionales de la maquinaria y de las vías.

- b. Ensayos y montaje de datos que permitan determinar la tendencia de las operaciones.
- c. Comparación de los resultados obtenidos de acuerdo a los anteriores, resaltando los puntos de mayor mejora.

4.1.4. Análisis de resultados

Evaluación de los resultados por las diferentes técnicas analíticas y matemáticas que validen el funcionamiento y mejora del nuevo proceso. Relación de las diferentes técnicas analíticas con los parámetros reales encontrados en campo. Además de analizar los factores que afectan negativamente los costos de transporte.

4.1.5. Presentación de informes

Se presentaran informes parciales y un informe final de acuerdo a los requerimientos de la empresa.

4.2. APORTE TÉCNICOS

- La ejecución de la práctica empresarial garantiza una mayor capacitación en los diferentes aspectos operacionales que encierran la minería a cielo abierto y en especial la industria del cemento, sirviendo como complemento fundamental a la formación como ingeniero de minas.
- **Cementos Argos S.A**, hace parte del grupo empresarial **ARGOS**, dueña del 51% del mercado del cemento en Colombia y propietaria de la explotación de la Mina Santa Ana, otros proyectos de minería a lo largo y ancho del país y además de cara a proyectos que resulten a futuro, siendo pionera en el proceso de avanzada tecnología en la producción del cemento por línea seca.
- Aprovechando la relación existente entre las funciones asignadas por la empresa, con respecto a la supervisión en las diferentes operaciones mineras, seguimiento a cada uno de los proceso se pudo conocer las distintas labores, el proceso general de producción del cemento y el funcionamiento de los diferentes equipos.

4.3. APORTES DEL PRACTICANTE A LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A

La oportunidad brindada por la empresa Cementos Argos S.A. para la realización de la práctica se ve retribuida con la optimización de las operaciones extractivas y de transporte de la mina Santa Ana, minimizando los costos generales operacionales y aumento de los tiempos productivos. Dejando de ésta forma estandarizada todo el sistema operacional de la mina, fundamento del desarrollo integral de ingeniero de minas formado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Al mismo tiempo resultan los siguientes beneficios:

- La información recolectada de las distancias de los frentes y tiempos de los ciclos para un tratamiento en proyectos a futuro.
- La correcta ejecución de este trabajo ayudará a un incremento de la eficiencia y productividad de la mina.
- Constituye para la empresa un instrumento de consulta, orientación y entrenamiento. Además ayudará a fijar parámetros y criterios, así como uniformidad en la terminología técnica utilizada facilitando la normalización de las actividades.
- Deja a la empresa en capacidad de poder implementar y desarrollar esta herramienta en cualquier proyecto que requiera mejoramiento en sus actividades.

5. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

En esta etapa de la realización del proyecto y todas las actividades que significaron estar dentro del ambiente de desarrollo profesional se puede concluir:

- El desarrollo de la práctica empresarial fue entendida como etapa complementaria de la formación universitaria del practicante, de esta forma la atención y valoración de los conocimientos de todas las personas hicieron parte y con su apoyo permitieron cuestionar y/o reafirmar las teorías que son base fundamental en la formación como ingeniero de minas.
- La descripción y el reconocimiento de la infraestructura minera que se maneja en un proyecto de la magnitud Argos, hacen conocer la importancia del mejoramiento constante en cada una de las operaciones de esta actividad.
- El contacto directo con cada uno de los problemas que representan la actividad minera demuestran la responsabilidad con las grandes inversiones que se manejan para estos proyectos.
- El conocimiento de la seguridad que se emplea en la minería es uno de los ejes primordiales para el progreso de la producción, ya que cualquier error puede ser crucial para la integridad de cualquier personal.
- Demarcando de forma general el conocimiento adquirido a lo largo de ésta práctica, puedo manifestar que la interacción de las relaciones humanas y la seguridad es factor imprescindible para el mejoramiento de cualquier ámbito dentro del campo de la minería.

6. RECOMENDACIONES

- Conservar un adecuado seguimiento en la implementación de las mejoras planteadas en los sectores de la empresa, así como revisar las condiciones de cada uno de los informes que se entregan para su sostenibilidad.
- Evaluar las alternativas que permitan la estandarización de las actividades para la optimización de éstas y disminución de los costos de productivos.
- La capacitación constante del personal de la empresa, para garantizar buenos resultados en la aplicación de las mejoras y estabilidad de los resultados a través del tiempo.
- Reforzar este proyecto con el mejoramiento de las vías, patios y frentes de cargue. Así como información de aspectos técnicos, operación de equipos y técnicas de extracción del material dirigido a concienciar de la óptima ejecución en cada una de las etapas del proyecto.
- Identificar las posibles limitantes a lo largo de la aplicación del proyecto, corregir y reorganizar el sistema de implementación.

II. INFORME TÉCNICO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

1. RESEÑA HISTÓRICA.

La Compañía Argos nace en Medellín (Colombia), el 27 de febrero de 1934, conformada por Claudino Arango Jaramillo, Rafael y Jorge Arango Carrasquilla, Carlos Sevillano Gómez, Leopoldo Arango Ceballos y Carlos Ochoa Vélez e iniciando las labores de producción en octubre de 1936.

Se asocia con Cementos del Nare y da inicio a una labor de creación de empresa en varias regiones del occidente Colombiano, de tal manera que surgen: Cementos del Valle, Cementos del Caribe (1944), Cementos El Cairo, Cementos de Caldas, Tolcemento, Colclinker y Cementos Rio claro y finalmente en los 90's adquiere participación en Cementos Paz del Río; ya para el año 1998 adquiere una empresa cementera en Venezuela y posteriormente establece alianzas para invertir en empresas cementeras en República Dominicana, Haití y Panamá. Para el 2005, se realiza la fusión de las ocho compañías productoras de cementos en Colombia, dando origen a Cementos Argos S.A. y adquiere dos compañías concreteras en Estados Unidos, además se crea la Holding Inversiones Argos S.A. Para el año 2006 adquiere una concretera más, nuevamente en Estados Unidos y fusiona sus tres compañías productoras de concreto en Colombia y adicionalmente adquiere los activos cementeros y concreteros de Cementos Andino y Concrecem en Colombia.

En la actualidad el grupo se encuentra conformado por 14 plantas productoras de cemento en nuestro continente, de las cuales once se encuentran localizadas en el país, y las plantas restantes se localizan en Panamá, República Dominicana y Haití. Además posee uno de los más completos portafolios de las industrias cementeras en el mercado, el cual incluye cementos, concretos y cales. Cementos Argos es el productor de cemento líder en Colombia, con una participación de 51% del mercado, siendo el quinto productor de cemento más grande de América Latina.

La compañía tiene planes de expansión en lo instalado en el país más tres plantas con valores aproximados a los 93 Millones USD. Consciente de la rápida demanda del mercado se enfoca en aumentar su eficiencia y extenderse a lugares estratégicos que permitan su evolución y lo distinguen como líderes del mercado mundial del cemento, concreto y agregados.

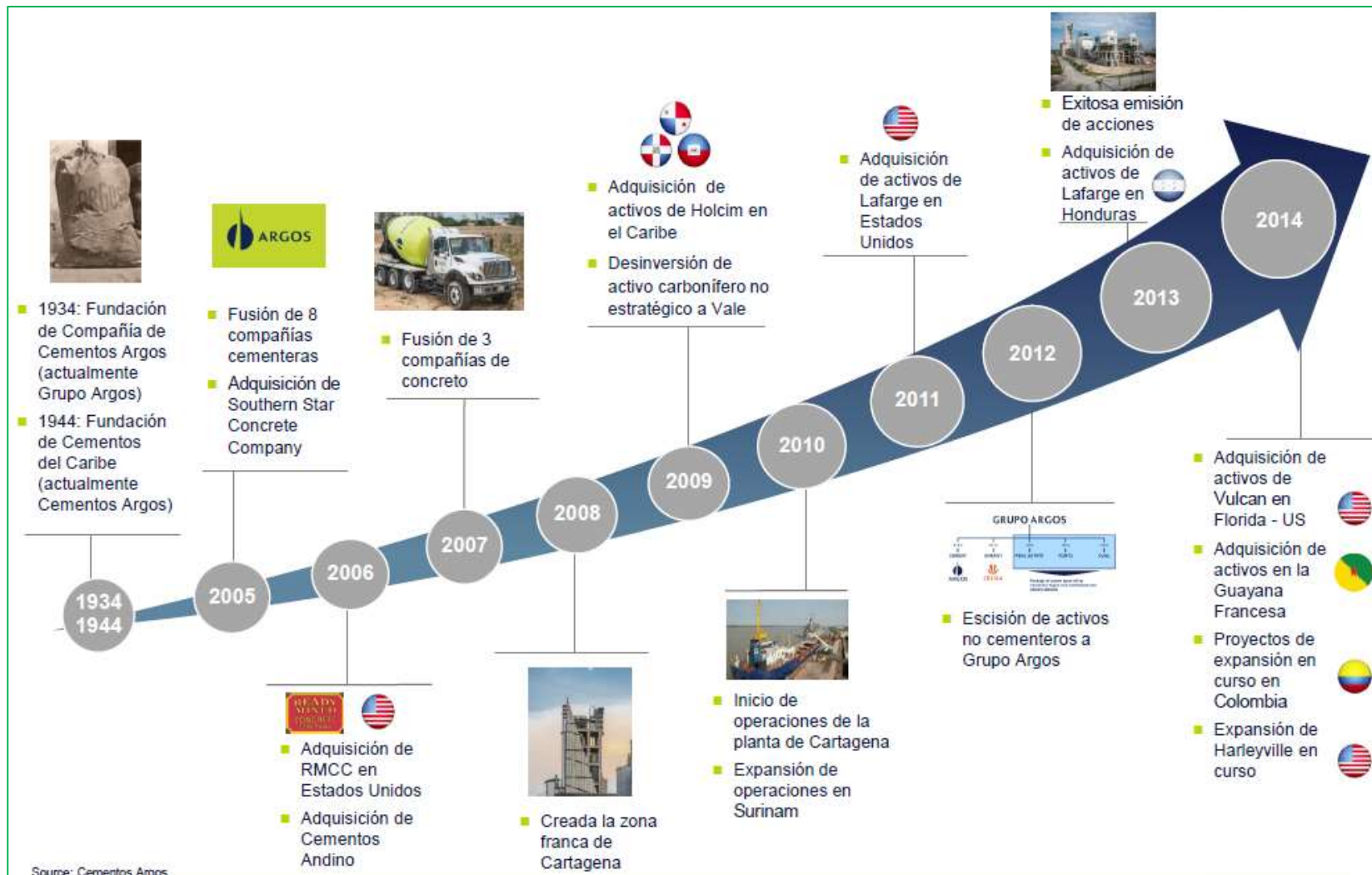


Figura 3. Evolución de la empresa Cementos Argos S.A. Fuente: Datos de estudio.

1.2. GENERALIDADES PLANTA CARTAGENA.

Es la planta más grande de Cementos Argos S. A. en Colombia y cuenta con una importante infraestructura con capacidad para 4.8 Millones de Ton al año, en ésta no solo se produce el cemento sino que también se hace el despacho de Clínter a diferentes partes del país y del mundo. La caliza utilizada para la fabricación del cemento proviene de la mina Santa Ana al igual la limolita agente corrector de alúmina y los agentes correctores de sílice como el Chert provienen de minas de la compañía en otras partes del país como Tolú Viejo, Sucre y Arroyo Hondo, Atlántico; Las reservas calculadas para la mina Santa Ana son de 513 Millones de Toneladas y se le estima una vida productiva de 106 años. Para las minas de Chert Arroyo Hondo y Tolú viejo, cuentan con unas reservas calculadas de 20 Millones de Toneladas y 18 Millones de Toneladas respectivamente.

Desde la mina Santa Ana donde se extrae y tritura el material hasta la planta donde se procede con el procesamiento del material para la fabricación del cemento se cuenta con una banda transportadora de 5.4 Km de longitud, cubierta evitando las emisiones de polvo al ambiente, puntos de colección de polvo y sistemas de rodadura mínima generación de ruido. Con este sistema de bandas la compañía ahorra por concepto de transporte USD 3.5 Millones además se evita el impacto que tendrían las volquetas atravesando las comunidades aleñadas.



Figura 5. L4 planta Cartagena. Fuente: Datos de estudio.



Figura 4. Banda transportadora. Fuente: Datos de estudio.

Para suplir la demanda productiva de la planta se cuenta con dos sistemas de trituradoras TT. Laron capacidad 750 Ton/hora y TT. Abon 1650 Ton/hora, El proceso de fabricación del cemento se realiza por vía seca y por vía húmeda, con capacidad productiva de Clinker 1250 Ton/día y 5600 Ton/día respectivamente.

También se cuenta con un centro de despachos última tecnología, se trata de la empacadora y paletizadora Ventomatic con capacidad de 4200 s/hora, también compuesto de un sistema de cargue automático de camiones 1800 s/hora, una bodega para cemento empacado con capacidad de 6900 Ton y dos silos de despacho a granel con capacidad de 2500 Ton c/u.

La dimensión de las operaciones en la planta se proyecta a crecimiento, puesto que cuenta con una ubicación estratégica para la distribución de sus productos como Clíinker, Cemento a granel y Cemento empacado, opera en su propio muelle con capacidad de cargue barcos tipo Panamax y rata de cargue 12000 Ton/día. Su acceso portuario fortalece la interconectividad regional con amplia red de distribución y logística, además de aumentar la flexibilidad operativa de la compañía

La planta Cartagena continúa su proyecto de sostenibilidad y expansión en el mercado brindando le mejor calidad a sus clientes, el mejoramiento continuo, el permanente cumplimiento de la normatividad en sus actividades y la sana competitividad.



Figura 6. Empacadora Ventomatic. Fuente: Datos de estudio.



Figura 7. Cargue Caricamat. Fuente: Datos de estudio.

1.3 . POLÍTICA DE GESTIÓN INTEGRAL

La compañía ARGOS S.A., desarrolla actividades de producción, comercialización, distribución de: cementos, concretos, agregados, prefabricados, cales, reforestación, explotación de carbón, entre otras; asumiendo como compromiso:

- ✓ La Satisfacción del Cliente
- ✓ La protección del bienestar ocupacional de las personas proporcionando un ambiente de trabajo seguro y saludable
- ✓ La Gestión Social trabajando con las comunidades
- ✓ El permanente cumplimiento de la normatividad aplicable a sus actividades y el código del Buen Gobierno
- ✓ La protección de la infraestructura y la cadena logística
- ✓ El mejoramiento continuo de nuestros procesos y la sana competitividad
- ✓ El desarrollo sostenible, en lo relacionado con la evaluación de los posibles impactos ambientales de los proyectos, obras o actividades, para implementar medidas que prevengan, mitiguen, corrijan o compensen la contaminación.

“Somos luz verde”, su eslogan por dar sus máximos esfuerzos en la búsqueda de la sostenibilidad de sus operaciones a través del equilibrio entre la generación de rentabilidad, el desarrollo social y la disminución del impacto ambiental, teniendo como marco referencial las buenas relaciones con los grupos de interés y los principios del pacto global y de buen gobierno.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

2.1. CONCEPTOS GENERALES.

Origen del Cemento: El cemento "Portland" tiene sus orígenes en la cal, a partir del cual y luego de cientos de años de estudios empíricos y científicos, se llega a lo que hoy se conoce como cemento. A través de la historia la cal fue empleada en sus construcciones por los pueblos egipcios, griegos, romanos, y los aztecas. En 1824, un albañil Inglés llamado Joseph Aspdin, patentó un producto que él llamó cemento Portland, pues al endurecerse adquiría un color semejante al de una piedra de la isla Portland en Inglaterra.

Cemento: Es una mezcla de calizas y arcillas pulverizadas a grandes temperaturas (Clínker), con adición de yeso que al entrar en contacto con el agua, desarrolla la capacidad de unir fragmentos de grava y arena, para formar un sólido único o piedra artificial, conocida con el nombre de concreto hidráulico. "Es un polvo de color gris que se endurece una vez mezclado con agua"

2.1.1. Proceso de elaboración del cemento

Tomando como punto de partida el trabajo de elaboración del cemento en la planta Cartagena a continuación se describen las actividades que aplican además son comunes a nuevos proyectos, ampliaciones y mejoras, y la descripción de los diferentes procesos, vía seca y vía húmeda.

Es importante destacar que las actividades de beneficio y transformación corresponden a la actividad industrial y son fundamentales en la preparación de la harina o la pasta, según se trate de proceso húmedo o seco.

2.1.2. Producción de Clínker

El Clínker es el producto de la cocción a altas temperaturas de carbonatos, silicatos, óxidos de hierro y de alúmina, que al ser molido finamente en conjunto con otros materiales genera cemento que según sus cualidades resistentes y naturaleza de sus componentes puede ser portland, especial, blanco, siderúrgico.

La denominación de los diferentes procesos de producción de Clínker depende del contenido de humedad en la alimentación al horno y por lo tanto en los sistemas de preparación. Genéricamente se conocen los procesos húmedos y secos, que son los usados en Colombia. Como variante a nivel mundial, existen los semi secos y los semi húmedos. A continuación se presentan de manera general la

descripción de las operaciones de cada uno de los procesos utilizados en nuestro medio.

2.2. PRODUCCIÓN DE CLÍNKER VÍA SECA

Las actividades que se realizan en dicho proceso, presentan ligeras variaciones según las singularidades de cada planta.

Explotación de materias primas: De acuerdo a estudios geológicos ya realizados, se viene realizando un planeamiento de la explotación de acuerdo a las necesidades de producción y calidades requeridas en planta. La extracción de la piedra caliza y agentes correctivos como limolitas se realiza en la cantera Santa Ana mediante arranque mecánico, es decir sin necesidad de voladura. Actualmente la cantera Santa Ana presenta niveles productivos de hasta 2.7 millones de toneladas al año y son transportada hasta las tolvas ubicadas a unos 10-15 minutos dentro de la cantera para la trituración.

Trituración: Una vez el material en las tolvas se procede con la reducción del tamaño de la caliza siguiendo ciertas especificaciones dada para la fabricación. Su tamaño se reduce con la trituración hasta que su tamaño sea de 1 pulgada. En la mina Santa Ana se cuenta con dos sistemas de trituradoras Laron y Abon, cada una con niveles de trituración de 691.575 Ton/año y 2'079.679 Ton/año respectivamente. La trituradora Laron presenta un sistema de martillos y la Abon sistema trituración por rodillos; el material triturado en la Laron debe transportarse por medio de camiones hasta la planta mientras que la Abon tiene un sistema de bandas que hace más eficiente su tarea. Para la Abon se forman 3 pilas cada una de 18.000-20.000 Ton aproximadamente y una pila adicional para material corrector de Aluminio de 4.000 Ton.

El control de la calidad se realiza por un sistema analizador en línea o “Gamma metric” que realiza lecturas de la calidad del material, para controlar las mezclas del material y obtener la calidad deseada.

Prehomogenización: Es la operación de mezcla de las materias primas trituradas, previa a la molienda. Se utiliza para compensar las variaciones de granulometría y de composición química proyectada y evitar segregaciones que generan desviaciones importantes de crudo respecto de los valores de diseño. Esta se lleva a cabo mediante un sistema de almacenamiento del material en las pilas mencionadas anteriormente ya que la pre homogenización particular o individualizada por materiales, permite un control más efectivo de la composición química proyectada y se aplica especialmente a los correctivos usados en el proceso.

Molienda de crudo: El producto de la trituración, prehomogenización, es llevado a la sección de la molienda donde se pueden mezclar los diferentes tipos de materiales usados para la fabricación de Clinker. Ésta se realiza en equipos cuyo principio de funcionamiento es el choque y rozamiento con cuerpos o rodillos con placas moledoras. Según el accionamiento se denominan de bolsas, de placas o de rodillos.

Planta Cartagena cuenta con un molino de rodillos vertical capaz de un rendimiento de 410 Ton/hora.

Homogenización: Debido a los grandes volúmenes de materiales que requiere la fabricación del Clinker y la heterogeneidad de los yacimientos, la homogenización de la materia prima molida es indispensable para garantizar las condiciones de calidad. Variaciones importantes en los contenidos CaCO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 y otros óxidos menores, generan problemas en los procesos del horno en producto final.

La homogenización se realiza en silos en donde se almacena el producto de la molienda y la mezcla se da por la combinación de mecanismos de alimentación a gravedad, ayudados por transporte neumático.

Clinkerización: Es el proceso de cocción de los materiales homogenizados, siguiendo el flujo del material se identifican las siguientes zonas:

-*Zona de precalentamiento:* Ubicada en la torre precalentadora, en donde los materiales molidos viajan en contraflujo con los gases calientes del horno ocurriendo un intercambio térmico. En este proceso, y en primer lugar, el crudo se seca, luego se deshidrata y finalmente se descarbonata.

-*Zona de calcinación:* Se puede presentar según la tecnología, en los ciclones inferiores de la torre, en los precalcinadores y en el horno. La reacción de calcinación:

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ se empieza a dar cuando el material alcanza temperaturas alrededor de los 650 °C y se completa a los 1.200 °C

-*Zona de sinterización o Clinkerización:* Se da en el horno al alcanzar entre 1400° y 1600°C. Donde coexisten las fases sólida y líquida del Clinker.

-*Zona de enfriamiento:* se presenta a la salida del horno. Mediante corrientes de aire fresco, con diferentes tecnologías, donde se reduce la temperatura del producto hasta alcanzar entre 200 y 80° C.

El horno tiene capacidad de producir 5.276 Ton/día de Clinker, además cuenta con un pre calentador estático de 8 etapas, un filtro con 16 compartimientos para purificar el aire y un enfriador para el Clinker. El combustible empleado para el

horno es el gas y carbón, Aunque en los últimos años se ha experimentado con la cascarilla de arroz.

Enfriamiento: Después que ocurre el proceso de Clinkerización a altas temperaturas, viene el proceso de enfriamiento en la cual consiste en una disminución de la temperatura para poder trabajar con el material, éste enfriamiento se acelera con equipos especializados.

El Clínter es enfriado de 1450 °C a 220 °C, donde se produce la cristalización de la fase líquida, el enfriamiento se realiza en una nave para el apilamiento de Clínter, a través de la cual se permite el despacho de Clínter al muelle para su exportación y otra parte destinado a la molienda y fabricación del cemento.

Adiciones finales y producción de cemento: Se produce cemento tanto tipo exportación (95% de Clínter y un 5% de yeso), como cemento tipo nacional.

El Clínter transportado desde la nave o directamente de los hornos, se almacena en tres silos (6 7 y 8), para ser alimentado a los molinos. El yeso y la escoria se almacenan en patios y de ahí por medio de bandas se alimenta a su respectivo silo utilizando una grúa viajera o rascador. La caliza extraída del salón de materias primas mediante la grúa viajera se almacena en el silo de adición. Los silos de cada uno de los componentes, descargan a la banda principal de alimentación del molino de acuerdo con la calidad y tipo de cemento a producirse. La molienda de materiales para producir el cemento, se lleva a cabo principalmente en dos molinos de rodillos verticales (Nº 1 y 2). El cemento producido es llevado a un separador de aire, donde se clasifica y separa el material fino del material grueso. Los finos son retirados del separador y colectados por un filtro de mangas para enviarlo a los silos de cemento.

Almacenamiento y empaque del cemento: Para el almacenamiento de cemento, la planta posee 3 silos. El cemento puede ser despachado en sacos de papel, a granel en camiones cisterna o a la bodega de barcos. La planta posee dos máquinas empacadoras y para el cargue de cemento a granel a la bodega de los barcos, el cemento se extrae de los silos y se descarga a una banda transportadora que lo conduce hasta el muelle en el mar caribe. También posee una novedosa empacadora para el cemento de distribución nacional.

2.3. PRODUCCIÓN DE CLÍNKER VÍA HÚMEDA

Algunas plantas, pueden presentar pequeñas modificaciones, de acuerdo a sus singularidades.

Beneficios: Esta operación es similar a la descrita anteriormente, para la fabricación de Clinker por vía seca.

Molienda: La molienda se realiza en equipos similares a los descritos para la fabricación de Clinker por vía seca, con la diferencia de que los cuerpos molidores se encuentran en medio acuosos. El producto de esta molienda consiste en una suspensión acuosa denominada “pasta” con una humedad que varía entre 30 y 50%. Los molinos descargan la pasta a unidades de bombeo que los impulsa a través de gasoductos u otros sistemas, hasta las unidades de homogenización, balsas o espesadores.

Homogenización: Esta se realiza en las balsas que son tanques cilíndricos dotados con agitadores de baja velocidad, donde se mezclan con las materias primas correctoras, para garantizar una operación estable. En esta parte del proceso se inicia la reducción del volumen de agua en una operación conocida como de espesamiento. El transporte de la pasta se realiza por bombeo hasta los hornos.

Clinkerización: La Clinkerización por vía húmeda se realiza en el horno, y siguiendo el flujo del material se identifican las siguientes zonas:

-*Zona de secado*, se efectúa en la primera parte de la entrada al horno rotatorio y para ello se disponen de intercambiadores de cadenas que ayudan a mejorar la eficiencia térmica.

-*Zona de calcinación*, se empieza a dar cuando el material alcanza temperaturas alrededor de los 650°C y se completa a 1.200°C.

-*Zona de sinterización o Clinkerización*, se da al alcanzar entre 1.400 y 1.600°C, allí coexisten fases sólidas y líquida del Clinker.

-*Zona de enfriamiento*, ocurre a la salida del horno, mediante corrientes de aire fresco, con la aplicación de diferentes tecnologías, que reducen la temperatura del producto hasta alcanzar entre 200 y 80°C

2.4. PROCESOS DEL MUELLE

El muelle se encuentra localizado frente de las instalaciones de la planta de cementos. A través de bandas cubiertas, para proteger los materiales transportados de la lluvia y evitar emisiones de material particulado, se descarga el material al pescante para el cargue de los barcos.

2.4.1. Recibo de materiales

Se reciben en el muelle: mineral de hierro, escoria de alto horno, yeso, bauxita, chert silicio y otros materiales, que son descargados mediante grúas de cada barco y son enviados en camiones hasta las instalaciones de la planta.

2.4.2. Despacho de Materiales

Desde los silos de cemento o de la nave de clínker de la planta Cartagena se transporta cemento a granel o clínker, a través de las bandas transportadoras descritas y del pescante a la bodega de los barcos.

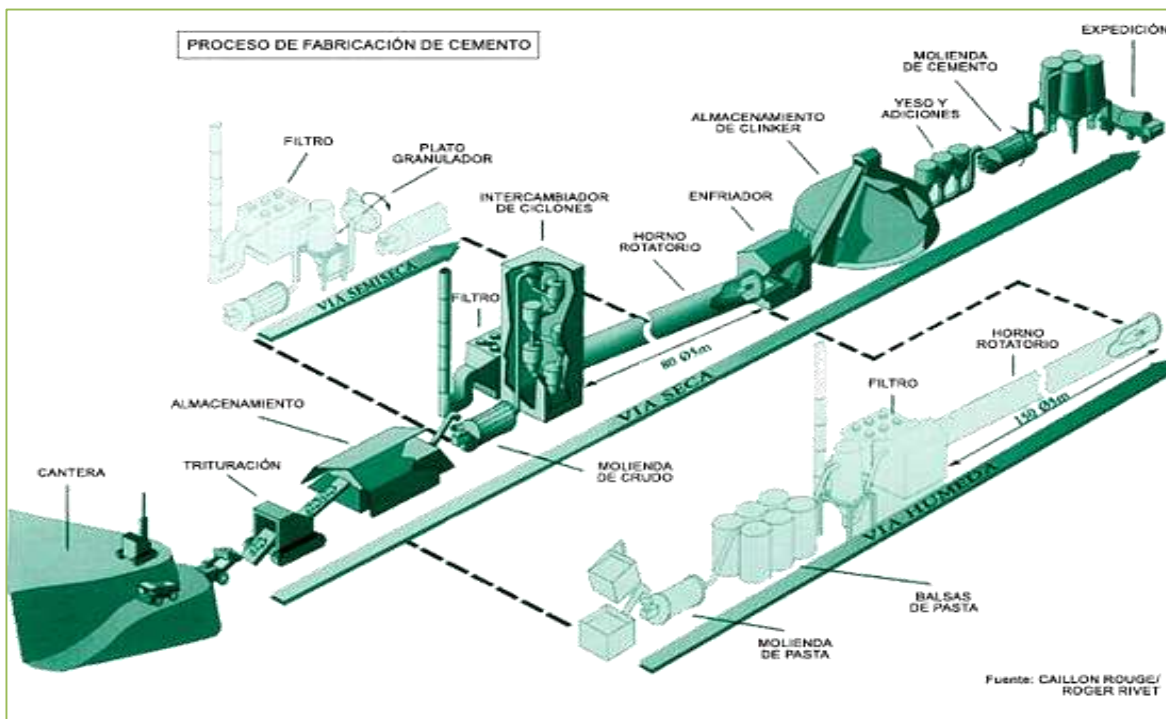


Figura 8. Proceso general de la fabricación del cemento. Fuente: Datos de estudio

3. GEOLOGÍA

3.1. GEOLOGÍA LOCAL TÍTULO 18610¹

En el área del proyecto afloran rocas sedimentarias del Cuaternario pertenecientes a la Formación la Popa y Gravas de Rotinet, y del Neógeno correspondientes a la Formación Bayunca, ésta última conformada por una secuencia arcillas, limolitas y arenas sueltas de grano fino y carácter friable que cubre un amplio sector en los alrededores del yacimiento con una topografía ligeramente ondulada y de suaves colinas. La mayor parte del área del proyecto está cubierta por las calizas arrecifales de la Formación La Popa, las cuales suprayacen en contacto discordante la secuencia de arcillas y limolitas antes descrita y están conformando las partes más altas del paisaje de colinas con alturas de hasta 220 m.s.n.m. En general, las calizas están dispuestas subhorizontalmente o con un rumbo NE y suaves buzamientos hacia el oriente, sin mayores complicaciones estructurales con excepción de algunos lineamientos y fallas gravitacionales de dirección NE, las cuales han dislocado y fracturado la caliza provocando un escalonamiento de la misma.

3.2. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO²

La Cantera Santana, está conformada por calizas de origen coralino pertenecientes a la Formación Popa (Plioceno - Pleistoceno), las cuales reposan en posición casi horizontal sobre una secuencia de arcillas, limolitas y arenas sueltas de grano fino.

La caliza, que de acuerdo con los estudios y perforaciones que se han adelantado, tiene un espesor variable entre 28 y 35 metros, está compuesta en términos generales por tres niveles con diferentes contenidos de carbonato de calcio:

- *El nivel inferior*, es una caliza de carbonato cristalino con intercalaciones de arcillas ocres. La caliza se presenta en capas delgadas muy compactas, aunque son muy comunes los estratos con espesores de más de un metro, de caliza recristalizada, extremadamente compacta, formada por bolos de gran tamaño del núcleo del arrecife. Tiene una potencia de 6 a 8 metros, un contenido de carbonato de calcio entre el 85-87% y humedad relativamente alta debido a las intercalaciones arcillosas.
- *El nivel intermedio*, es una caliza de color crema amarillento compuesta en su mayor parte por tubos calcáreos, que se denominan localmente “caracolejo”.

¹ Plan de Trabajos e Inversiones, Cantera Santa Ana - Cementos Argos S.A. Pág. 5

² Plan de Trabajo e Inversiones, Cantera Santa Ana - Cementos Argos S.A. Pág. 7

Este tramo, que tiene una potencia entre 10 y 12 metros, muestra contenidos en carbonato de calcio comprendidos entre el 87 % y 89 % y suele presentar una humedad ligeramente menor a la caliza inferior, pero con una matriz más terrosa que dificulta su explotación y beneficio.

- *El nivel superior* es una caliza masiva, de color crema, homogénea, de aspecto coralino y de regular dureza, aunque por sectores presenta algunos tramos extremadamente compactos de carbonato cristalino. Ocasionalmente contiene tubos calcáreos de relleno (caracolejo). La potencia de este tramo varía entre 8 y 10 m. El paquete es rico en carbonato de calcio, con valores superiores al 90 %, que pueden llegar ocasionalmente, al 98 %. En general se presenta muy seca, especialmente en los 4-5 metros superiores, lo que favorece su explotación especialmente en época de lluvias.

3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO³

Estructuralmente las calizas de la mina Santa Ana están localizadas en el borde sur - occidental de la denominada terraza calcárea de Turbaco, un gran yacimiento que cubre en posición sub-horizontal más de 35 Km² con alturas promedias de 200-220 metros sobre el nivel del mar. Especialmente hacia los bordes, ésta terraza calcárea está afectada por suaves plegamientos y fallas gravitacionales de dirección N - S, las cuales de alguna forma afectan la geología y las operaciones mineras, ya sea porque han enfrentado niveles de diferente composición química o porque han levantado paulatinamente el piso de la caliza.

Geomorfológicamente el área se caracteriza por dos paisajes claramente definidos: al oriente una parte alta y más o menos plana donde las calizas alcanzan su mayor expresión y al occidente una zona de suaves y alargadas colinas originadas como respuesta a los lineamientos y fallas menores mencionados anteriormente. Este último sector ha sido el más intervenido por la explotación.

³ Plan de trabajo e Inversiones, Cantera Santa Ana - Cementos Argos S.A. Pág. 8

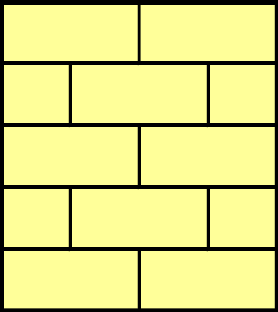
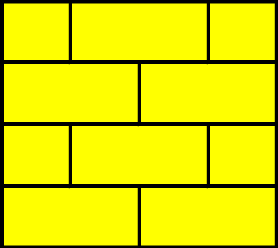
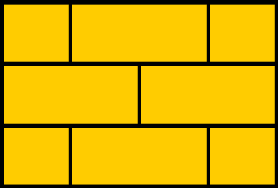

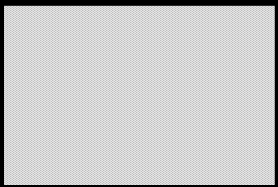
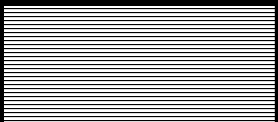
COLUMNA CANTERA SANTANA		
Coordenadas: X = 1,633,461 Y = 850,725 COTA = 227,83		
Profundidad Total : 39,65 metros		
Prof. (m)	Litología	Descripción Física
13,72		Caliza crema amarillenta algo masiva y de buen aspecto, compuesto por fragmentos no fosilíferos sin ninguna matriz.
25,92		Caliza de "caracolejo", compuesta exclusivamente por restos de estos organismos.
28,36		Caliza compacta de color amarillo ocre con intercalaciones arcillosas del mismo color.
32,63		Limo arcilloso de color verde grisáceo con tintes amarillentos y rojizos. De 93' a 95', se presenta un tramo arcilloso.
37,21		Limo arenoso de color gris oscuro a negro, con abundante materia orgánica.
39,65		Arcilla verde "oliva" a gris muy homogénea y de tacto sedoso.

Figura 9. Columna generalizada del Yacimiento, Cantera Santa Ana. Fuente: Datos de estudio

3.4. CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima es tropical seco, el comportamiento de la precipitación señala dos épocas de estiaje y dos de invierno bien definidas, las primeras se presentan en los periodos de Mayo a Junio, mientras que las segundas se presentan de Septiembre a Octubre. El total anual precipitado de la zona está en el orden de 1500 mm, el 46% se registra en el primer periodo lluvioso, el 54% en el segundo periodo lluvioso, los meses restante corresponde a los periodos secos del año.

El valor anual de la temperatura en la zona es de 28°C, con registros mayores de 35°C y menores de 25°C. Estos registros suceden a una altura de 100 msnm y tienden a desaparecer a medida que aumenta la altura, puesto que existe una relación inversa entre este elemento y el factor climático.

Las plantas más comunes de la región son roble, mango, guáimaro, papaya, mamón, níspero, pijiño, campano, ceiba, orejeros, entre otros.

3.5. FISIOGRAFÍA

El área minera perteneciente al grupo empresarial en mención, en su aspecto general, se caracteriza por paisajes claramente definidos y colinas poco pronunciadas, de cuales son cortadas por quebradas y pequeños riachuelos. En términos generales se trata de una topografía semi plana, con una variación de cota entre 150 a 200 m.s.n.m. y pendiente de 10 a 35°, en algunos sitios, se puede apreciar también, pequeños valles alargados de poca extensión. Se presenta un drenaje en superficie por medio de las pendientes y riachuelos que cruzan el área.

4. ESTADO ACTUAL DE LA MINA

4.1. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

Actualmente la explotación del yacimiento, se realiza en una secuencia de 6 bloques comenzado desde el norte de la mina hacia el oriente y finalizando en el sur del título. La explotación se realiza por banqueo en avance, y el arranque se realiza de forma mecánica, donde se construyen bancos con una altura de 6m, bermas entre bancos de 8m a 12m y una inclinación del orden de 60° y 70°. Contiguo al banco inferior hay un patio de trabajo de 100 m para brindar facilidades de movimiento a las volquetas y el equipo de arranque y cargue en general. Hacia el bloque de 6 donde se explotan limolitas la explotación se realiza por bancos de menor altura por las condiciones geomecánicas y contenido de humedad en el sector.



Figura 10. Arranque en mina. Fuente: Datos de estudio.



Figura 11. Método de explotación. Fuente: Datos de estudio.

4.2. LABORES DE PREPARACIÓN

Tienen como principal función delimitar el yacimiento mineral de cada nivel de explotación, son la base de la explotación con la primera etapa de arranque pasan a conformar el ancho del banco, esta labor consiste en el descapote del material estéril, para las vías de preparación se tienen en cuenta la circulación del equipo de transporte, el acceso de los equipos de arranque y cargue hasta el frente.

El equipo destinado a realizar esta actividad es la motoniveladora o el tractor, según la estructura de la maquinaria y el planeamiento minero. En las circunstancias actuales estas labores están siendo llevadas en diferentes bloques de la mina, pero para nuestra base de estudio se verificaron las actividades de bloque 6 paneles 17 a 32, bloque 1A paneles 44 a 45 y bloque 6 paneles 22, 23, 32 y 33.

4.3. LABORES DE DESARROLLO

Estas tienen como función comunicar con el yacimiento mineral, las vías de acceso a los frentes de explotación, contienen reguladas pendientes medias y altas en un rango de 5 a 8 %, generalmente en buen estado, el ancho de las vías se encuentra alrededor de 16 a 20 m, avalando la buena movilidad de los equipos, estas vías cuentan con un sistema de drenaje de cunetas para la circulación del agua, también realiza mantenimiento de estas con motoniveladoras, carro riego y personal de desmalezado garantizando el buen estado de estas para las diferentes actividades de transporte en la mina y de la materia prima a la trituración.

La constante regulación del estado de las vías permite tener buenos índices en la conservación de las llantas de los equipos y el adecuado transporte del material



Figura 12. Vía de acceso a los frentes. Fuente: Datos de estudio.



Figura 13. Vía de acceso cantera Santa Ana. Fuente: Datos de estudio.

hasta las trituradoras.

4.4. LABORES DE EXPLOTACIÓN

Como se mencionó anteriormente el método de explotación por el cual se lleva el depósito es por banqueo en avance o bancos descendentes, los bancos con alturas de 6m, anchos de berma entre bancos de 8m -12m y una inclinación entre 60° y 70°. Estos bancos van desde una cota de 150m y 200m sobre el nivel del mar. El arranque del material se realiza de forma mecánica, donde se emplean excavadoras RH-40, tractores DT10 para el corte y cargadores, para complementar el proceso es transportado hasta la tolva por medio de camiones CAT 773 series F y G, donde se inicia el proceso de trituración y clasificación.



Figura 14. Vías mina Santa Ana. Fuente: Datos de estudio.

4.5. DELIMITACIÓN DE LA MINA

La mina Santa Ana cuenta con 444 Ha y se realiza su explotación en el contrato de concesión 18.610, planchas **29-I-B Y 30-II-A** entre los municipios de Turbaco y Turbana Departamento de Bolívar. (Ver cuadro 1)

PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL	RUMBO					DISTANCIA (MTS)	COORDENADA NORTE PUNTO INICIAL	COORDENADA ESTE PUNTO INICIAL
		N - S	Grados	Minutos	Segundos	E - W			
P.A.	1	S	68	0	0.00	W	1,267.00	1,634,178.50	852,894.31
1	2	N	48	4	1.38	W	197.46	1,633,703.87	851,719.57
2	3	N	46	59	59.23	W	1,000.00	1,633,835.83	851,572.67
3	4	N	43	0	1.56	E	458.00	1,634,517.83	850,841.32
4	5	N	75	50	4.77	W	537.23	1,634,852.79	851,153.68
5	6	S	0	0	0.00	W	554.89	1,634,984.26	850,632.78
6	7	N	90	0	0.00	W	210.24	1,634,429.37	850,632.78
7	8	N	0	0	0.00	W	612.44	1,634,429.37	850,422.54
8	9	N	76	43	36.23	W	514.91	1,635,041.81	850,422.54
9	10	S	14	0	0.20	W	2,496.00	1,635,160.03	849,921.40
10	11	S	76	10	11.04	E	2,205.43	1,632,738.17	849,317.56
11	12	N	13	59	59.33	E	885.01	1,632,210.99	851,460.29
12	13	N	43	36	1.33	W	460.01	1,633,069.69	851,673.15
13	1	N	50	22	49.86	E	472.10	1,633,402.82	851,355.92

Cuadro 1. Delimitación mina Santa Ana. Fuente: Datos de estudio.

4.6. CONTRATO DE CONCESIÓN

Las actividades de explotación minera en el área de la actual mina Santa Ana se iniciaron a principios de los años 70 cuando la empresa Álcalis de Colombia tenía los derechos de concesión bajo el Aporte Minero No. 839. Álcalis adelantó la explotación hasta el año 1992, cuando cerró definitivamente todas sus operaciones. En 1994 la cantera fue vendida a la Compañía Colombiana de Clinker – Colclinker S.A., hoy Cementos Argos S.A. Colclinker, por su parte, tramitó ante el Ministerio de Minas y Energía la correspondiente Licencia de Exploración, la cual fue radicada con el No. 18610 y otorgada mediante la resolución No. 100275 de fecha 30 de marzo de 1.995 y posteriormente anotada en el Registro Minero Nacional bajo la modalidad de Contrato de Concesión el 12 de Abril de 1.996.

4.7. MARCO DE REGULACIÓN AMBIENTAL

En el año 1995, la compañía solicitó, y obtuvo, a la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique - CARDIQUE una licencia ambiental única que incluye los permisos necesarios para este proyecto minero, la cual fue otorgada mediante Resolución No. 000302 del 1 de noviembre de 1995.

La compañía afianzando uno de los pilares de la política de sostenibilidad “la disminución del impacto ambiental” constantemente trabaja por ver la mitigación de los efectos de su actividad, ejemplo de ello en la mina Santa Ana se realiza la reubicación de las especies silvestres, reforestación de los frentes cerrados, manejo de las aguas dentro de la explotación, disminución de la emisión de material particulado mediando el regado de las vías tanto de la mina como de la comunidades dentro del área de influencia

4.8. COMPONENTE SOCIAL

Dentro de esta actividad se componen todos aquellos aportes a las comunidades del área de influencia para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, de los programas más significativos, entre ellos algunas alianzas con entidades como Reficar, Corona, la alcaldía, el ministerio y otros. En los últimos años se ha realizado por mencionar algunos:

- Ampliación I.E. Marco Fidel Suárez de Turbana (Bolívar).
- Construcción Biblioteca Pública de Turbaco (Bolívar).
- Construcción Sede Bonanza IE Crisanto Luque (Turbaco).
- EADE Escuela de Alta Dirección Educativa.
- Entrega de BECAS para carreras Tecnológicas y Universitarias.
- Construcción de vivienda Membrillal

5. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA ACTUAL

Para la selección de la maquinaria, en su momento se tuvo en cuenta las características del yacimiento, condiciones del entorno, parámetros de explotación y el método o sistema de explotación; cualidades esenciales para mantener una viabilidad técnico-económica. De acuerdo a lo ya mencionado la cantera Santa Ana cuenta con la siguiente maquinaria:

5.1. EQUIPOS DE ARRANQUE Y CARGUE.

Dentro de este grupo se tuvo en cuenta la maquinaria que además de fraccionar el material de los bancos es capaz de cargarlo en los camiones para el transporte. En la cantera se cuenta con 2 excavadoras hidráulicas RH 40-E y en ocasiones de acuerdo a la disponibilidad del equipo propio, se cuenta con el alquiler de una excavadora Liebherr 984 litronic.



Figura 15. Equipo de Arranque y cargue. Fuente: Datos de estudio

Información general

La pala marca O&K modelo RH-40E, es un equipo hidráulico montado sobre orugas, dotado con mecanismos de elevación, giro, desplazamiento, avance y penetración a la pila de escombros o frente de cargue del material y cuyo ciclo es: Cargar el material, posicionar la cuchara sobre la volqueta, descargar y regresar al acopio o frente de cargue.

Especificaciones técnicas Retroexcavadora RH 40-E			
Tipo	Cuchara estándar para roca dura.	Cuchara estándar para roca.	Cuchara alta producción.
Sistema de dientes	ESCO V 69	ESCO V 61	ESCO V 61
Capacidad SAE 1:1	4,6 m ³ 6,0 yd ³	6,0 m ³ 7,8 yd ³	7,0 m ³ 9,2 yd ³
Capacidad CECE 2:1	4,1 m ³ 5,4 yd ³	5,2 m ³ 6,8 yd ³	6,1 m ³ 8,0 yd ³
Capacidad rasante	3,6 m ³ 4,7 yd ³	4,5 m ³ 5,9 yd ³	5,2 m ³ 6,8 yd ³
Ancho total	2.040 mm 6'8"	2.390 mm 7'10"	2.600 mm 8'6"
Ancho interior	1.840 mm 6'	2.220 mm 7'33"	2.600 mm 8'6"
N de dientes	4	5	6
Peso incl. Herramental anti desgaste	6.200 kg 13.670 lb	6.200 kg 13.670 lb	6.600 kg 14.550 lb
Densidad máx. del material (a granel)	2,4 t/m ³ 4.050 lb/yd ³	1,8 t/m ³ 3.030 lb/yd ³	1,4 t/m ³ 2.360 lb/yd ³

Cuadro 2. Especificaciones técnicas retroexcavadora RH 40- E. Fuente: Datos de estudio.

Alcance del trabajo	
Profundidad máx. de excavación	7,3 m
Alcance máx. de excavación	13,5 m
Altura máx. de excavación	13,0 m

Cuadro 3. Alcance del trabajo retroexcavadora RH 40-E. Fuente: Datos de estudio.

Fuerzas de excavación	
Fuerza máx. de penetración	390 KN
Fuerza máx. de desprendimiento	380 KN

Cuadro 4. Fuerzas de excavación retro RH 40- E. Fuente: Datos de estudio.

5.2. EQUIPOS DE ARRANQUE

En este grupo se incluye la maquinaria capaz de fraccionar el material del macizo rocoso hasta llevarlo a un tamaño que permita su manipulación para ser cargado y transportado.

En la cantera se cuenta con 3 tractores o "bulldozers" de oruga, de los cuales 2 son modelo D9T, 1 D10T también se cuenta con una motoniveladora 140M.



Figura 17. Equipo de arranque, Motoniveladora CAT 140M. Fuente: Datos de estudio.



Figura 16. Equipos de arranque, Tractores. Fuente: Datos de estudio.

Información general

Estos equipos de gran versatilidad por su campo de actuación y su empleo como unidad auxiliar se centran en los trabajos de arranque y transporte realizados por el escarificador o riper y por la hoja de empuje respectivamente. Dentro de las actividades realizadas en la cantera se encuentran: corte de material para el cargue, remoción de material estéril, adecuación de plazas para el cargue, tallar taludes o cortar desde el pie del mismo, creación de nuevas vías, limpiar, destroncar, escarificar y otros.

Por su parte la motoniveladora es una unidad de nivelación y afinamiento, pero también capaz de fraccionar el material de los taludes. Su uso en la cantera es principalmente para: refinado de taludes, extensión o mezcla de materiales, limpieza de terrenos, mantenimiento de las vías y diseño de cunetas.

Especificaciones técnicas Tractor D9T		
Potencia en el volante	306 kW 410 hp	
Peso en orden de trabajo	47.900 kg 105.600 lb	
Modelo del motor	C18 ACERT	
RPM del motor	1800	
Número de cilindros	6	
Altura (hasta la parte superior de la cabina ROPS)	4,00 m 13'1"	
Longitud total: (con hoja SU y desgarrador SS)	3,82 m 12'6"	
Ancho (con muñón)	3,31 m 10'11"	
Tipos y anchos de hoja:		
Universal	4,65 m 15'3"	
Semiuniversal	4,31 m 14'2"	
Capacidad de la hoja	13,5 m ³ 17,7 yd ³	
Velocidades de desplazamiento		
Avance	Km/hora	mph
1	3,9	2,4
2	6,8	4,2
3	11,7	7,3
Retroceso		
1	4,7	2,9
2	8,4	5,2
3	14,3	8,9

Cuadro 5. Especificaciones técnicas Tractor CAT D19T. Fuente: Datos de estudio.

Especificaciones técnicas Tractor D10T	
Potencia en el volante	433 kW 580 hp
Peso en orden de trabajo	66.451 kg 146.500 lb
Modelo del motor	C27 ACERT
RPM del motor	1800
Número de cilindros	12
Altura (hasta la parte superior de la cabina ROPS)	4,01 m 13'2"
Longitud total: (con hoja SU y desgarrador SS)	9,16 m 30'1"
Ancho (con muñón)	3,74 m 12'3"
Tipos y anchos de hoja:	
Universal	5,26 m 17'3"
Semiuniversal	4,86 m 15'11"
Capacidad de la hoja	18,5 m ³ 24,2 yd ³
Velocidades de desplazamiento	
Avance	Km/hora mph
1	4,0 2,5
2	7,2 4,5
3	12,7 7,9
Retroceso	
1	5,2 3,2
2	9,0 5,6
3	15,8 9,8

Cuadro 6. Especificaciones técnicas Tractor CAT D10T. Fuente: Datos de estudio.

Especificaciones Motoniveladora CAT 140M	
Potencia neta	183 hp
Potencia VHP	198 hp
Potencia VHP plus	218 hp
Velocidad máx. avance	46,6 km/h
Modelo del motor	C18 ACERT
Ángulo de oscilación	32°
Inclinación de las ruedas	18,0°
Ángulo de dirección	47,5°
Ángulo de articulación	20°
Hoja estándar: Longitud	3658 mm
Hoja estándar: Altura	610 mm
Hoja estándar: Espesor	22 mm

Cuadro 7. Especificaciones motoniveladora CAT 140M. Fuente: Datos de estudio.

5.3. EQUIPOS DE CARGUE

En este grupo se ubicaron los equipos capaces de ubicar el material suelto en los camiones para su transporte, en la cantera Santa Ana se cuenta con dos cargadores sobre ruedas, 1 CAT 988H y 1 CAT 980G. Siendo el segundo usado usualmente para actividades diferentes a la del cargue de las volquetas.



Figura 18. Equipos de cargue, Cargadores. Fuente: Datos de estudio.

Información general

Son equipos de gran movilidad, maniobrabilidad y versatilidad. De acuerdo a las actividades en la cantera es utilizado principalmente para: Cargue de las volquetas, carga y transporte de material en distancias cortas, limpiezas de las vías, limpiezas en la tolva de la trituradora, transporte de escombros y dado las condiciones del material como máquina de empuje sustituyendo al tractor.

Dentro de las labores cotidianas de producción el cargador 988H es el más usado para el cargue de las volquetas, por su capacidad operativa y su avanzado sistema. A diferencia del cargador 980G utilizado generalmente para limpiezas en la tolva de la trituradora, acarreo de escombros, limpiezas de las vías y otras actividades.

Especificaciones técnicas Cargador CAT 988H		
Varillaje 3.88 metros		
Modelo del motor	C18 ACERT	
Capacidad nominal cucharón	7,0 m ³	
Capacidad a ras	5,7 m ³	
Capacidad colmado	7,0 m ³	
Profundidad de excavación horizontal del cucharón	1,95 metros	
Potencia bruta	530 hp	
Potencia al volante	475 hp	
Peso en orden de trabajo	49.546 kg	
Carga útil nominal	11,4 tm-12,5 tc	
Tiempo del ciclo hidráulico, con carga nominal en cucharón:	Segundos	
Levantamiento		
Descarga	9,4	
Descenso libre (vacío)	2,4	
Total	3,8	
	15,6	
Velocidades de avance	km/h	mph
1 ^a	6,7	4,2
2 ^a	11,8	7,3
3 ^a	20,8	12,9
4 ^a	36,0	22,3
Velocidades de retroceso		
1 ^a	7,6	4,7
2 ^a	13,5	13,5
3 ^a	23,7	14,7

Cuadro 8. Especificaciones cargador de ruedas 988H. Fuente: Datos de estudio.

5.5. EQUIPOS DE TRANSPORTE

Dentro de este grupo se tuvieron en cuentas aquellos equipos destinado al acarreo del material suelto desde los frentes de explotación hasta la tolva de trituración. Aunque, los cargadores por su versatilidad entrarían en este selecto grupo, en la cantera no son utilizados para tal fin por las distancias largas que significarían.

En la cantera Santa Ana se cuenta con una flota de 5 volquetas Caterpillar de 50 Ton, modelo 773F y 773G, ocasionalmente de acuerdo a la disponibilidad del equipo propio se toma en alquiler volquetas Dumpers con capacidad 45 Ton.



Figura 19. Equipos de transporte, Volquetas. Fuente: Datos de estudio.

Información general

Son equipos de enormes capacidades, diseñados especialmente para la minería a cielo abierto, están constituidos por una caja que se apoya sobre el chasis que se mueve hacia atrás para la descarga del material, mediante unos cilindros hidráulicos. Dentro de las actividades normales de transporte en la cantera, se realiza el acarreo de material desde los frentes de explotación hasta las trituradoras, movimiento del material desde los frentes hasta los patios de stock, acarreo de material estéril hasta el botadero.

Especificaciones técnicas Cargador CAT 773G	
Modelo del motor	C27 ACERT
Peso bruto del vehículo	102,74 Ton métrica
Carga útil nominal	55,3 Ton métrica
Capacidad A ras (SAE)	25,9 m ³
Capacidad colmado (2:1) (SAE)	35,75 m ³
Potencia neta	733 hp
Potencia bruta	775 hp
Velocidad máxima cargado	67,5 km/hora

Cuadro 9. Especificaciones volquetas CAT 773F. Fuente: Datos de estudio.

5.6. OTROS EQUIPOS

En este grupo se situó a aquella maquinaria que se integra dentro del proceso operacional y productivo pero, que no se encuentra directamente identificada dentro de los grupos anteriores. Aquí se encuentran:

Camión de riego

Este equipo tiene como tarea el riego constante de las vías de acceso a los frentes de explotación, riego de las vías de las comunidades de influencia, riego de las plazas de cargue de cada nivel de explotación, área de trituración, área de pilas, con el fin de mitigar la emisión de polvo y material particulado al medio ambiente.



Figura 20. Camión de riego. Fuente: Datos de estudio.

5.7. TRITURADORAS

Son aquellas maquinas encargadas de romper y reducir de tamaño, fragmentos grandes de material de caliza, chert, limo y otros materiales utilizados para la fabricación del cemento. En la cantera Santa Ana se cuenta con dos trituradoras: Laron y Abon.

5.7.1. Trituradora Laron

Es una trituradora de martillos y tiene como función pulverizar el material que se requiera para la fabricación del cemento en LH, tritura material como caliza, mezclas de caliza, limo, mezcla de chert-limo y chert, éste último proveniente de la planta Tolúviejo y Arroyo Hondo. Ésta recibe material con una granulometría máxima de 80 cm. En condiciones óptimas de la máquina y en disposiciones excelentes del material es capaz de alcanzar un rendimiento de hasta 775 ton/hora, para la trituración de caliza puede presentar notables variaciones, por el nivel de saturación del material en épocas de lluvias en algunos sectores de la mina, llegando a bajar a un rendimiento de 350 ton/hora. En cuanto a la trituración del chert y limo es donde ha presentado los mejores rendimientos en el último año, se relaciona a las condiciones excepcionales del material y a la corta distancia de los stocks a la trituradora.



Figura 21. Trituradora Laron, Fuente: Datos de estudio.

En condiciones normales sigue brindando la mejor utilidad y capacidades productivas, proyectadas de la misma manera por al menos 30 años.

5.7.2. Trituradora Abon

Es una trituradora de rodillos horizontales (Double Roller Crusher) con una potente máquina e infraestructura conectada a todo el proceso de fabricación del cemento por una banda de 5.4 km. A diferencia de la trituradora Laron esta es capaz de triturar material con un contenido más alto de humedad 18% para calizas y 23% para limolitas, siendo el factor de reducción 6:1 y material efectivo triturado del



Figura 22. Trituradora Abon. Fuente: Datos de estudio.

98%. En ésta se tritura caliza, mezclas de calizas y limo como agente corrector. En condiciones óptimas de su estructura es capaz de alcanzar rendimientos de hasta 2500 ton/hora.

A su vez cuenta con un apilador Traveling Stacker, apilador tipo Chevron que dispone el material con densidades entre 1190-1230 kg/m³ con las humedades anteriormente mencionadas. La humedad es factor determinante en la capacidad de la pila y el ángulo que genere para ser reclamada.

5.8. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LAS OPERACIONES

En la planeación y programación de la explotación de los materiales y movimiento de tierras en la cantera Santa Ana, intervienen variables importantes como lo son: disponibilidad de la maquinaria, el rendimiento de las máquinas, tiempos efectivos de trabajo, experiencia y eficiencia de los operadores, conocimiento de los materiales, conocimiento del clima y conocimiento del terreno donde se desarrolla el proyecto.

De acuerdo a las variables anteriormente nombradas, en su correcto desarrollo es posible llegar a mantener valores óptimos de las operaciones y sostenibilidad del proyecto, por tanto para identificación de las principales falencias se procede al estudio las situaciones actuales.

5.8.1. Situación actual- año 2014

A continuación se muestra las condiciones productivas del presente año 2014, para proyectar a futuro una actividad operacional óptima y diseñar una imagen objetivo a un plazo fijo, determinando problemas, causas y soluciones probables.

TRITURACIÓN ABON CALIZA AÑO 2014			
MES	Presupuesto	Real	Cumplimiento %
ENERO	222.296,43	140.470,00	63%
FEBRERO	191.116,47	27.918,00	15%
MARZO	276.170,86	139.202,00	50%
ABRIL	252.087,68	242.305,00	96%
MAYO	270.441,89	187.358,00	69%
JUNIO	260.321,01	192.556,00	74%
JULIO	268.105,36	174.846,00	65%
AGOSTO	219.750,24	217.520,00	99%
ACUMULADO AÑO	2.893.968	1.322.175	46%

Cuadro 10. Índices productivos Cantera Santa Ana, TT Abon. Fuente: Datos de estudio.

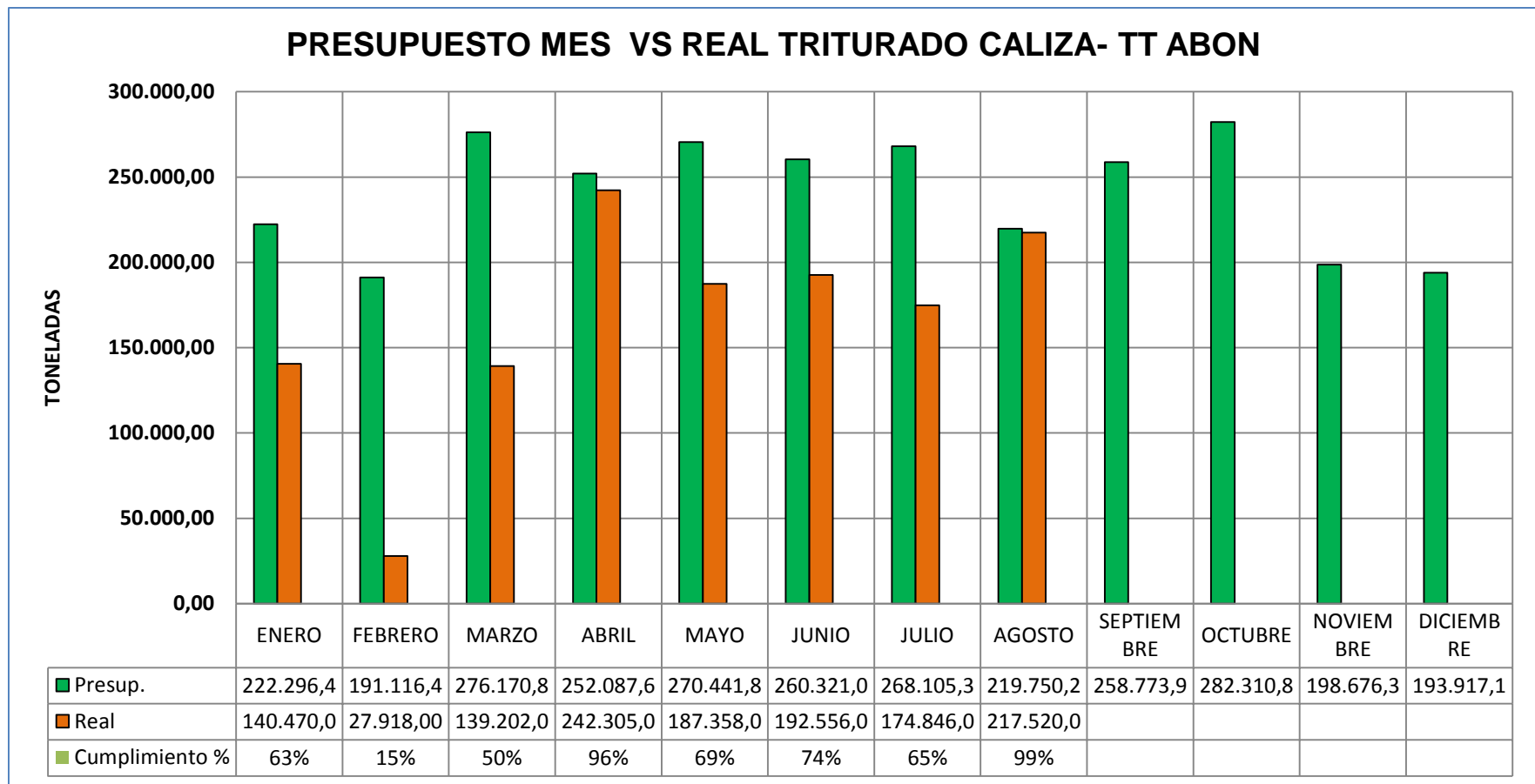


Figura 23. Índices de producción trituración Abon. Fuente: Datos de estudio.

Para el programa de producción día a día, mes a mes y para un año de operaciones, se toman en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad de producción de equipos
- Los frentes accesibles
- Programa de avance lineales (exploración, explotación y desarrollo)
- Labores de preparación requeridas para el acceso a los bloques de explotación

La producción es indicada en tonelaje y calidad del producto que sale de la mina.

De acuerdo a las condiciones anteriormente nombradas, se procede a examinar el contexto general de las operaciones.

5.8.2. Análisis de áreas claves - base teórica del análisis

Todo diagnóstico situacional de una empresa minera y en caso específico de la compañía Cementos Argos, presenta desafíos para elaborar la planeación, dado que influye en forma directa al rendimiento. Los datos productivos serán analizados desde el presente año, a fin de hacer una línea base para objetivos y metas a futuro.

A continuación se implementarán herramientas de análisis externo empresarial para identificar los procesos que están implicados en el rendimiento de la mina Santa Ana.

El primer diagnóstico tiene como objetivo primordial el siguiente:

- Determinar el grado de eficiencia de las operaciones y;
- Determinar las causas de deficiencia.

Los principales procesos a examinar son: Gerencia de operaciones, supervisión, RR. HH., explotación de materia prima, acarreo y trituración; sin embargo se enfocará el estudio más profundamente los últimos tres factores.

Teoría de las restricciones o análisis factorial causal⁴

El análisis factorial es una metodología de diagnóstico que trata de describir las fuerzas que actúan en el ámbito de la empresa, en el cual, el resultado final del esfuerzo depende de parámetros operativos que es preciso interpretar para poderlos modificar; con vista a lograr un mejor resultado.

El análisis factorial consiste en; analizar la operación total de la empresa con el propósito de determinar los factores limitados y limitantes: y determinar el grado de desempeño real y objetivo de estos factores y su contribución al esfuerzo total. El análisis factorial toma en cuenta hechos necesidades y limitaciones, además que de antemano se espera que uno de los principales problemas es el de la

⁴ Gravinzky, Análisis Factorial, Edit. Banco de México. Pag. 25,26 1986.

disponibilidad de datos, aún en aquellos aspectos que por lo común debieran conocerse estadísticamente.

Para el análisis la metodología se basa en la descomposición de 10 factores de operación de la empresa: Medio ambiente, Política y dirección, Productos y procesos, Financiamiento, Medios de producción, Fuerza de trabajo, Suministros, Actividad productora, comercialización y contabilidad. La metodología para llevar a cabo un diagnóstico es:

- 1.- Descomponer la empresa en los factores y asignar un responsable por cada una.
- 2.- Dividir en actividades cada uno de los factores.
- 3.- Elaborar una escala que represente el grado de satisfacción de cada factor. Ejemplo (A) Aceptable con valor 1.0, (B) Limitado, con valor a 0.5, y (C) No aceptable, con 0.25.
- 4.- Recolectar información.
- 5.- Evaluar el factor componente, examinando la tendencia, dirección exactitud y precisión del indicador, para darle un grado de satisfacción, señalando con una (X) la columna que corresponda en las tablas que para ello se utilizan.

FACTOR	A	B	C	L

6.- Investigar el factor de limitación. El factor analizado tiene limitaciones cuando marcamos la columna (A) o (B), buscaremos en que función se encuentra la causa de dicha limitación. Se utiliza la columna marcada con (L) para anotar este factor limitante.

7.- Se suman verticalmente el número de anotaciones hechas en cada columna (A), (B), o (L).

8.- Calcular la eficiencia, multiplicando el número de anotaciones de cada una de las 3 primeras columnas por la ponderación o calificación dada a las mismas:

$$E = [A (1) + B (0.5) + C (0.25) / n] \times 100$$

9.- Calcular la deficiencia, que es el complemento a la unidad del valor de la eficiencia.

$$\text{Deficiencia} = 1 - \text{Eficiencia}$$

10.- Obtener el porcentaje de limitación; se obtiene dividiendo la unidad entre el número de anotaciones que hay en la columna (L).

$$f = 1 / L$$

11.- Llenar una tabla con todos los resultados.

Principio de Pareto⁵

Este principio más conocido como regla del 80/20 o principio del factor de parquedad (*factor sparsity*), afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son los responsables de la mayor parte de dicho efecto. Simplificando, un 20% de lo que se hace produce el 80% de los resultados que se obtienen y viceversa, un 80% de lo que se hace produce el 20% de los resultados.



Figura 24. Principio de Pareto. Fuente: datos de estudio.

Esta herramienta con su representación en tablas y diagramas permite:

- Priorización de las causas
- Determinación de las causas
- Estudiar resultados
- Plantear una mejora continúa

Los factores o procesos que se van a referir en este análisis, involucra todo el marco de la productividad de la mina Santa Ana, también examinados con la teoría anterior.

⁵ FUNDIBET, Diagramas y principios de análisis. Páginas 1 - 20. 2009

5.8.3. Ejecución del análisis

De acuerdo a las bases anteriormente definidas se procede con las variables que mayor influencia tienen en las actividades, que para el caso en particular se centrará en: explotación, acarreo y trituración.

5.8.3.1. Teoría de las restricciones o análisis factorial causal

Se ha diseñado una escala que representará el grado de satisfacción o cumplimiento de cada factor, 0% (total insatisfacción) y 100% (total satisfacción).

Escala:

- a. Excelente.....100%
- b. Bueno.....75%
- c. Regular50%
- d. Malo.....25%
- e. Muy malo.....0%

En resumen.

RESUMEN DEL ANÁLISIS FACTORIAL Y CAUSAL

ÁREA	VALOR	EFICIENCIA										CAUSA						
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1	2	3	4	5	6	
G. OPERACIONES	75%											66%			34%			
SUPERVISIÓN	56%												50%	17%	34%			
EXLOTACIÓN	75%												60%			40%		
RR. HH.	44%											20%			80%			
ACARREO	31%												16%		32%	50%		
TRITURACIÓN	56%												25%	25%		38%	12%	
												%	43%	38%	21%	45%	43%	12%

EFICIENCIA Y DEFICIENCIA DE LAS ACTIVIDADES EN LA OPERACIÓN

EFICIENCIA DE LA OPERACIÓN:	EO	56%
DEFICIENCIA DE LA OPERACIÓN:	DO	44%

Cuadro 11. Resumen análisis factorial y causal. Fuente: datos de estudio

Los principales procesos de la mina, fueron analizados y se obtuvo el siguiente resultado: El proceso más eficiente la explotación con una eficiencia de 75%,

seguido por la trituración con una eficiencia del 56% y con una menor eficiencia el acarreo del material con 31%. **(Ver anexo A)**

5.8.3.2. Principio de Pareto

Se hace uso de esta herramienta para identificar las factores improductivas dentro del proceso general de actividad, para ello se realizó la recolección de datos diariamente en los turnos A, B y C. Correspondientes a turnos de 8 horas, en los cuales se registraron las anomalías presentadas y se obtuvo el análisis siguiente.

DESCRIPCION	TIEMPO DE PARADA	% ACUMULADO	%
SIN ESPACIO PARA APILAR	1766,7		
LIMPIEZA DE CHUTES TORRES 16-17	148,9	17%	17%
FALLA EN EL APILADOR	105,2	30%	12%
BANDA FUERA DE SERVICIO	56,6	36%	7%
ALIMENTACION DE OPERDORES	50,6	42%	6%
CICLO LENTO	45,3	48%	5%
LIMPIEZA DE TOLVA	40,4	52%	5%
FALLA EN FLUIDO ELECTRICO	33,3	56%	4%
LLENADO DE TOLVA	32,7	60%	4%
CAMBIO DE PILA	30,2	64%	4%
CAMBIO EN FRENTE DE CARGUE	28,2	67%	3%
SE ACTIVA SENSOR DE MOVIMIENTO	19,9	69%	2%
SE ESPERA OP. DE L4	17,5	71%	2%
CAMBIO DE TURNO	15,9	73%	2%
AVERÍA EQUIPO DE CARGUE	14,9	75%	2%
FALLA ENCODER	13,6	76%	2%
CALIBRACION ANALIZADOR EN LINEA	12,2	78%	1%
ANALIZADOR EN LINEA FUERA DE SEVICIO	10,8	79%	1%
SE ACTIVA DRIFT SWITCHE	10,0	80%	1%
EN ESPERA DE OP L-4	9,1	81%	1%
LLUVIAS	9,1	82%	1%
FALLA EN FRENO BANDA	8,5	83%	1%
CAIDA DE TENSION	8,0	84%	1%
FALTA DE EQUIPOS DE CARGUE	7,5	85%	1%
FALLA DE COMUNICACIÓN	7,4	86%	1%
LIMPIEZA DE TOLVA	7,1	87%	1%
FRENO DEL MOTOR ACTIVADO	6,6	88%	1%
CAMBIO DE PILA	6,5	88%	1%

SE ACTIVA SENSOR DE DESALINEACION TRPPER	6,2	89%	1%
SE ACTIVA SENSOR DE ROTURA	6,1	90%	1%
FALLA CIRCUITO DE EMERGENCIA	5,3	90%	1%
SE ACTIVA PUUL CORD	5,2	91%	1%
SE DESPRENDE LAMINA ANTIADHERENTE TOLVA	5,1	92%	1%
FALLA RASCADOR	4,4	92%	1%
FALLA ARRANCADOR	4,4	93%	1%
FALLA DE FRENO	3,7	93%	0%
AVERÍA DE ENCAUZADOR	3,5	94%	0%
ADECUACION DE VIAS	3,5	94%	0%
SE ACTIVA CIRCUITO DE EMERGENCIA	3,5	94%	0%
LIMPIEZA DE CHUTE BANDA 210	3,5	95%	0%
FALTA DE EQUIPOS TRANSPORTE	3,3	95%	0%
FALLA DE RETORNO B 200	3,1	95%	0%
FALLA DEL VARIADOR DE LA BANDA 130	2,9	96%	0%
ALTA TEMPERATURA POR MATERIAL HUMEDO	2,7	96%	0%
MONTAJE DE SENSOR DE MOVIMIENTO	2,7	96%	0%
ALTA TEMP. EN SUESTACION 193	2,6	97%	0%
TOPOGRAFIA EN LA NAVE DE APILADOS	2,4	97%	0%
REVISION DE EQUIPOS	2,3	97%	0%
CAIDA DE CONTROL NET DE TORRE 16	2,3	98%	0%
SE DISPARA TRITURADORA SECUNDARIA	2,1	98%	0%
SE SALE BANDA POR ALTA TEMPERATURA	1,6	98%	0%
CAE LAMINA ANTIADHERENTE EN TOLVA	1,6	98%	0%
FALTA DE FLUIDO ELECTRICO	1,4	98%	0%
DISPARO POR ALTA CORRIENTE	1,3	98%	0%
CORTE DE VARILLAS PARTE SUPERIOR TOLVA	1,3	99%	0%
SE DISPARA BANDA POR ALTA TEMPERATURA	1,3	99%	0%
PULL CORD ACTIVADO	1,0	99%	0%
FALLA EN MICROSWITCH TEMPERATURA	0,7	99%	0%
SE ACTIVA SENSOR DE ROTURA	0,7	99%	0%
LIMPIEZA LADO LATERAL Y RODILLERIA	0,7	99%	0%
SE ACTIVA PROTECCION TERMICA (AIRE ACOND	0,7	99%	0%
FALLA DE LA COMPUERTA DIVERSORA	0,6	99%	0%
AJUSTAN LIMPIABANDAS	0,6	99%	0%
CAMBIO DE RODILLO EN MAL ESTADO	0,6	99%	0%
FALLA BANDA 110	0,6	100%	0%
SE ACTIVA LOCAL STOP	0,6	100%	0%
SE ACTIVAN FRENOS	0,6	100%	0%
SE SALE EL SISTEMA	0,6	100%	0%

FALLA EN EL COLECTOR DE LA BANDA 120	0,5	100%	0%
LLENADO DE TOLVA	0,4	100%	0%
AVERÍA LIMPIABANDAS	0,4	100%	0%
SE SALE EL RASCADOR	0,4	100%	0%
SE RETIRAN PIEDRAS DE ENCAUZADORES	0,3	100%	0%
SE DISPARA RASCADOR	0,2	100%	0%
SE DESACTIVA SENSOR DE LLENADO TOLVA	0,2	100%	0%
FALLA DE CONTROL	0,0	100%	0%
TOTAL	854,9		

Cuadro 12. Datos principio de Pareto. Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo a los datos recolectados, debe decir que fueron tomados de forma objetiva, es decir que abarcan situaciones que estarían ocasionando mayores tiempos improductivos en el momento de la recolección.

Para este caso en particular y como ya se describió en el análisis factorial causal se busca mejorar las condiciones de: explotación, acarreo y trituración del material, para los casos como: sin espacio para apilar, corresponde a condiciones propias del proceso y no se hará énfasis.

Las demás factores dentro de las principales causales de improductividad serán abarcadas por sub proyectos para un mejor resultado.

De acuerdo a análisis gráfico, los ítems contenidos el recuadro rojo representan los factores o actividades causantes de mayor ineficiencia en el contexto general de la productividad de la mina, sin embargo se examinará de manera profunda el factor contenido dentro del recuadro amarillo. (Ver figura 25)

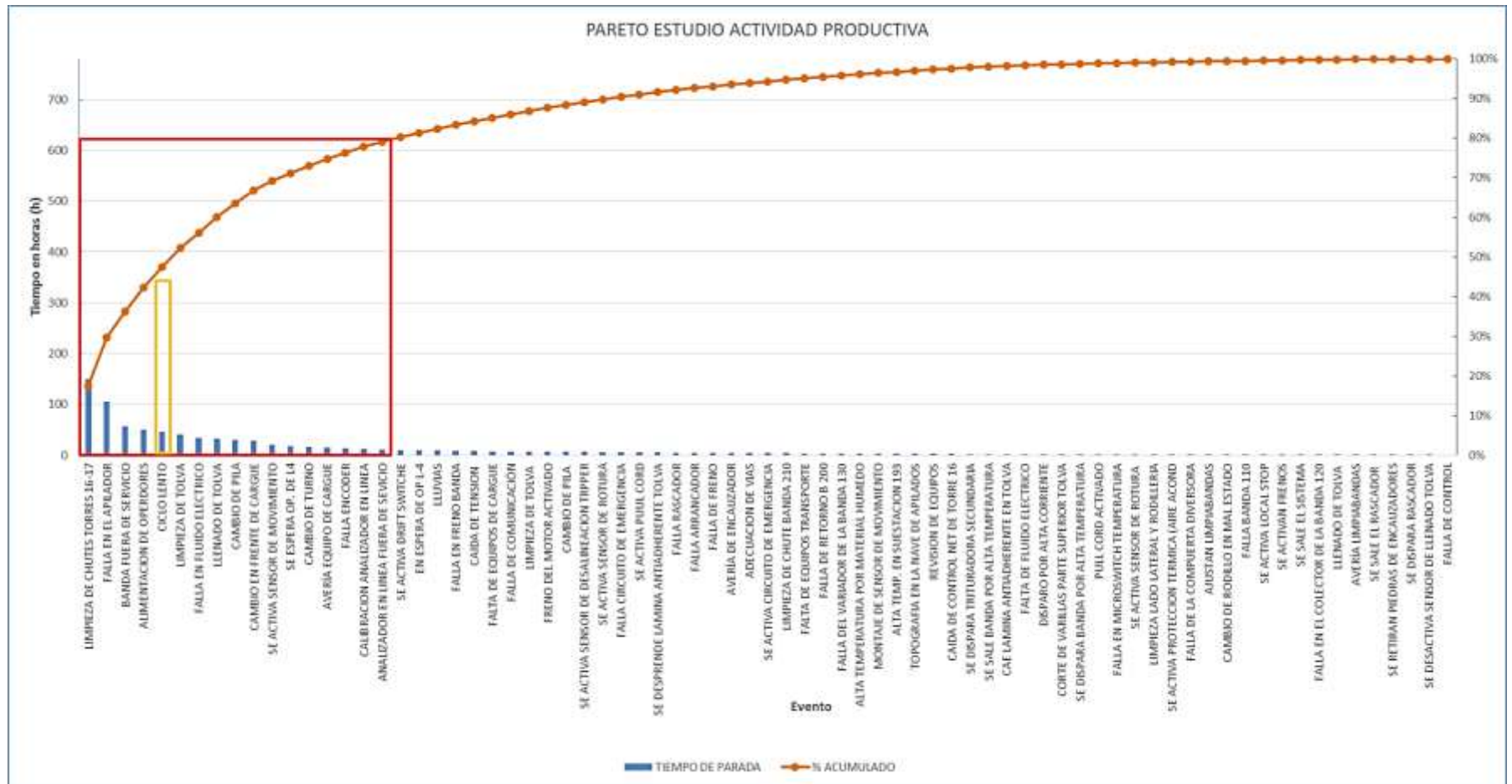


Figura 25. Diagrama de Pareto. Fuente: Datos de estudio.

CICLO LENTO: Se define como el tiempo que transcurre para la alimentación de material en la tolva de la trituradora.

5.9. MODALIDAD DE TRABAJO

De forma ilustrativa se explica el método de trabajo pilar para el desarrollo de las soluciones. (Ver gráfica)

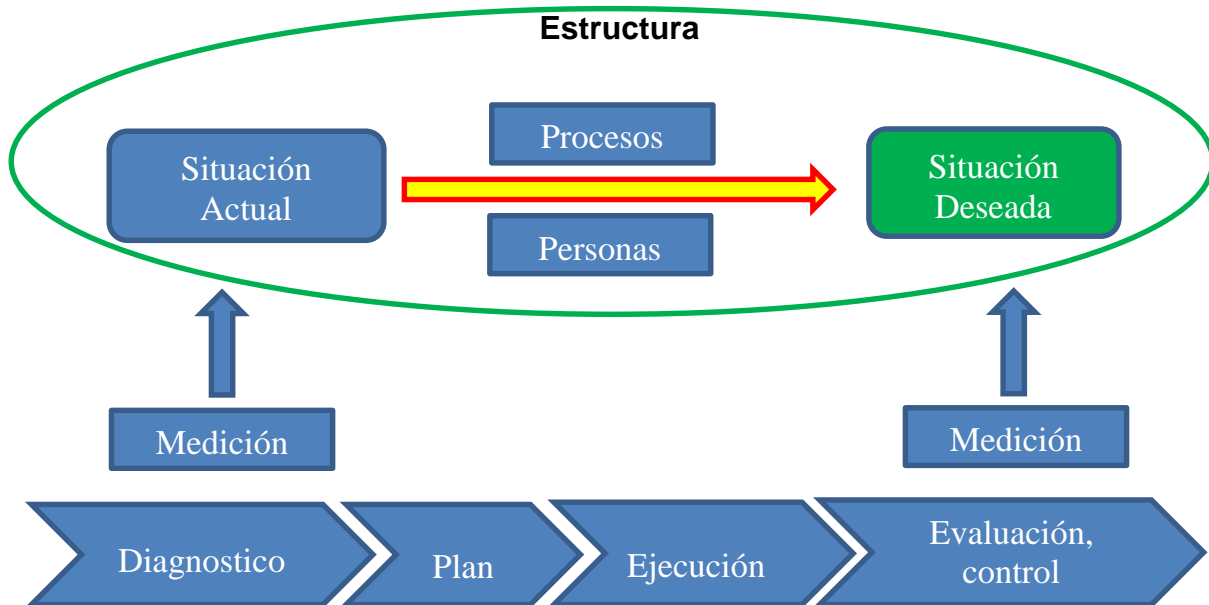


Figura 26. Modalidad de trabajo. Fuente: Datos de estudio.

Como se observa en la figura 26, se realizará una medición de la situación actual, incluyendo los factores claves encontrados en el análisis anterior.

De esta manera se medirán las condiciones actual (año 2014), mediante el estudio de los procesos y el apoyo del personal, se programará llegar a la situación deseada, posterior a esto realizar una valoración y finalmente un control para garantizar el incremento de la productividad.

El esquema de trabajo se realizará en las siguientes fases:

Fase 1. Toma de información de la mina.

La toma de información se realizará recolectando tiempos del acarreo del material, para ello se diseñaron los formatos del cuadro 16 y se explica su abreviatura como sigue.

Ciclo total de acarreo del material

- TPC (Tiempo de posicionamiento cargue): Es el tiempo que le toma a la volqueta en ubicarse en lugar de cargue.
- TCE o TCC (Tiempo de cargue excavadora o cargador respectivamente): Es el tiempo que le toma la volqueta en ser cargada.
- TFT (Tiempo frente-tolva): Es el tiempo que le toma a la volqueta en trasladarse a la tolva.
- TPT (Tiempo posicionamiento en tolva): Es el tiempo que le toma a la volqueta en situarse en la tolva para descargar.
- TDT (Tiempo de descargue en tolva): Es el tiempo que se toma la volqueta en descargar el material en la tolva.
- TTF (Tiempo de traslado al frente): Es el tiempo que se toma la volqueta en llegar hasta el frente.

De acuerdo a las condiciones de los análisis anteriores, se diseñaron campos para la recolección de los datos denominados cola de volquetas:

TET (Tiempo de espera tolva): Es el tiempo que demora la volqueta para iniciar su posicionamiento.

TEE o TEC (Tiempo de espera excavadora o cargador respectivamente): Es el tiempo que demora la volqueta en tomar su turno para el cargue.

Con el fin de garantizar la mayor confiabilidad en los resultados se adoptó un sistema para determinar el número de ciclos que debían cronometrarse, para el caso se usó la tabla planteada por *General Electric Company* que ha brindado buenos resultados en las diferentes aplicaciones. Aunque cabe aclarar que es indispensable un seguimiento y toma de muestras futuras para verificar el desempeño de los operadores. (Ver cuadro 13)

Fase 2. Identificar áreas de oportunidad.

Los conocimientos de la ciencia minera y el criterio que caracteriza a un profesional de ingeniería, deben permitir sacar el mayor provecho de la primera fase, proponiendo soluciones a los problemas encontrados, potenciando los puntos que pueden mejorar y consolidando las actividades eficientes.

Fase 3. Seguimiento y control de los procesos.

El acarreo es una de las estructura de costos más importantes dentro de la operación de una mina y uno de los aspectos a los cuales no se les toma en cuenta a menudo; la distribución de la flota de volquetas, factor muy importante determinante de la sostenibilidad de las operaciones.

Tiempo del Ciclo (min.)	Número de Ciclos
0.1	200
0.25	100
0.5	60
0.75	40
1	30
2	20
2 – 5	15
5 – 10	10
10 – 20	8
20 – 40	5
>40	3

Cuadro 13. Tamaño de muestras. Fuente: General Electric Company.

Otro factor importante dentro del acarreo es la disponibilidad mecánica de los equipos, pero en éste factor no se profundizará ya que se centrará la atención en la distribución de la flota y mejoramiento de condiciones operacionales.

6. DESCRIPCIÓN DE LAS PLAZAS DE CARGUE Y CICLOS DE ACARREO

La mina cuenta con 7 bloques en explotación 1, 1A, 2, 3, 4, 5 y 6. Estos bloques subdivididos en paneles de superficie 100 m². Los bloques cuentan con diferentes concentraciones de CaCO₃. Por requerimientos de materias primas son explotados de forma combinada y así obtener la calidad deseada.

A continuación se describen los diferentes puntos de cargue y los ciclos de la maquinaria de acuerdo al orden de explotación y labores actual de la mina.

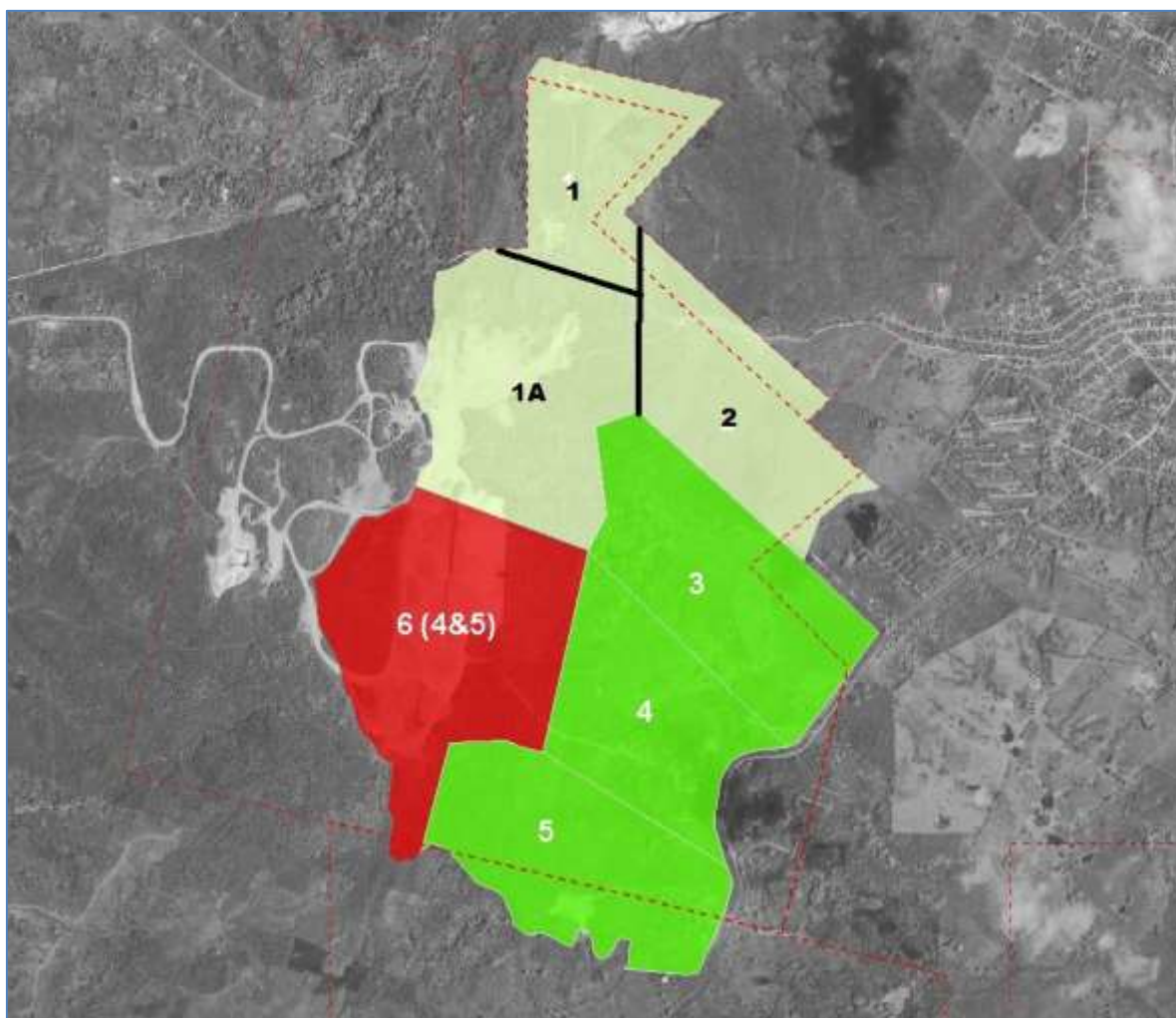


Figura 27. División bloques de explotación mina Santa Ana. Fuente: Datos de estudio.

6.1. CARACTERÍSTICA DE CARGUE CALIZA

Actualmente para requerimiento de caliza en línea húmeda o línea seca se tritura caliza con alto contenido de CaCO_3 87%-91.5%, estas condiciones favorables se obtienen gracias a mezclas de las calidades de los diferentes bloques. Para el presente caso se estudiaron dos diferentes tipos de mezclas que se realizan en la mina: mezclas en volquetas y mezclas en tolva.

Caso de mezclas en volquetas: Para este caso la volqueta es llenado en factores desde el 20% de su capacidad en un frente y complementado el 80% en otro de los frentes. A los sumo se realiza cargue en dos frentes para tener un mejor rendimiento.

Caso de mezclas en tolva: Para este caso la volqueta es llenado en un factor del 100% en uno de los frentes y otra volqueta en un factor del 100% en otro de los frentes. Ambos son llenados a su máxima capacidad, es decir 50 Ton y representan un porcentaje de la mezcla de acuerdo a la concentración de CaCO_3 .



Figura 29. Mezclas de caliza en volquetas. Fuente: Datos de estudio



Figura 28. Descarga en tolva. Fuente: Datos de estudio.

6.2. CARACTERÍSTICA DE CARGUE LIMOLITAS

Actualmente la extracción del limo se realiza en el bloque 6 y se utiliza como agente corrector de aluminio, la explotación de este material no es muy frecuente, por lo general se extrae y se almacena en un stock para cuando se requiera, entonces es transportado a la tolva para la trituración, para éste caso no se profundizará.

6.3. DISTANCIA DE ACARREO DEL MATERIAL

A continuación se describen las distancias de acarreo de los diferentes bloques y paneles.

DISTANCIAS DE ACARREO			
DESCRIPCIÓN	PANEL - TOLVA (Km)	TOLVA – PANEL (Km)	TOTAL CICLO (Km)
BLOQUE# 3 PANEL # 18	2	1,7	3,7
BLOQUE# 3 PANEL # 11	1,85	1,65	3,5
BLOQUE# 2 PANEL # 23	1,64	1,66	3,3
BLOQUE# 3 PANEL # 11	1,85	1,65	3,5
BLOQUE# 2 PANEL # 9	1,84	1,69	3,53
BLOQUE# 1A PANEL # 43	1,29	1,26	2,55
BLOQUE# 1A PANEL # 44	1,35	1,30	2,65
BLOQUE# 3 PANEL # 28	1,98	1,7	3,68
BLOQUE# 1 PANEL # 5	2,47	2,53	5

Cuadro 14. Distancias de acarreo diferentes bloques. Fuente: Datos de estudio.

En la actualidad se está explotando el bloque 3 y sus diferentes paneles y el bloque 1A. Aunque hay varios frentes activos, éstos son explotados por criterios de calidad del material.



Figura 30. Ciclo acarreo bloque 1A y mezcla con Bloque 3. Fuente: Google Earth.



Figura 31. Vías de acceso a los frentes y de acceso a tolva. Fuente: Google Earth.



Figura 32. Ciclo mezcla bloque 3 y bloque 2. Fuente: Google Earth.

Las vías que componen el ciclo de acarreo del material, son en un solo sentido. La representada con el color rojo es la de acceso a los frentes de explotación y la azul la de acceso a la tolva.

6.4. TIEMPOS PROGRAMADOS DE LOS CICLOS

A continuación se hace un cálculo aproximado de la duración de los ciclos teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

$$V = \frac{x}{t}$$

V cargado = 35 km/h

V vacío = 38 km/h

Tiempo posicionamiento cargue = 00:00:32

Tiempo cargue = 00:02:06

Tiempo posicionamiento tolva = 00:00:44

Tiempo de descargue en tolva = 00:00:35

Las condiciones de velocidad son dispuestas teniendo en cuenta un límite máximo de velocidad permitido dentro de la mina de 40 km/h y los demás datos son el promedio de los datos recogidos en campo.

Tiempos estimados de los ciclos							
Descripción plaza de cargue	Tiempo pos. Cargue (mm:ss)	Tiempo de cargue (mm:ss)	Tiempo Frente - Tolva (mm:ss)	Tiempo pos. Tolva (mm:ss)	Tiempo descargue tolva (mm:ss)	Tiempo Tolva - Frente (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)
BLOQUE# 3 PANEL # 18	00:32	02:06	03:26	00:44	00:35	02:41	10:04
BLOQUE# 3 PANEL # 11	00:32	02:06	03:10	00:44	00:35	02:36	09:44
BLOQUE# 2 PANEL # 23	00:32	02:06	02:49	00:44	00:35	02:37	09:23
BLOQUE# 3 PANEL # 11	00:32	02:06	03:10	00:44	00:35	02:36	09:44
BLOQUE# 2 PANEL # 9	00:32	02:06	03:09	00:44	00:35	02:40	09:46
BLOQUE# 1A PANEL # 43	00:32	02:06	02:13	00:44	00:35	01:59	08:09
BLOQUE# 1A PANEL # 44	00:32	02:06	02:19	00:44	00:35	02:03	08:19
BLOQUE# 3 PANEL # 28	00:32	02:06	03:24	00:44	00:35	02:41	10:02
BLOQUE# 1 PANEL # 5	00:32	02:06	04:14	00:44	00:35	04:00	12:11

Cuadro 15. Tiempos estimados de ciclos. Fuente: Datos de estudio.

6.5. REGISTRO DE CICLOS Y RENDIMIENTOS EN CAMPO

6.5.1. Ciclo transporte caliza bloque 3

De acuerdo a las actividades de campo se obtuvieron los siguientes datos:

TIEMPOS CICLOS DE TRANSPORTE									
Fecha	11/06/2014	Material: CLZ	T. Trabajo: 5,1 horas	T. Tanqueo	00:28:00				
Volqueta	Cat 773F#1	V. Prod. 16	BL. 3 P28	TURNO	A				
CICLO	TEE (mm:ss)	TPC (mm:ss)	TCE (mm:ss)	TFT (mm:ss)	TET (mm:ss)	TPT (mm:ss)	TDT (mm:ss)	TTF (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)
1	01:46	00:24	02:24	02:58		00:46	00:42	03:08	12:08
2	04:09	00:30	02:19	04:35	00:56	00:39	00:47	02:49	16:44
3	05:10	00:31	02:45	03:45		00:41	00:38	03:05	16:35
4	02:16	00:33	03:01	03:48	01:05	00:45	00:41	02:44	14:53
5	02:38	00:28	02:32	04:37		00:48	00:41	03:20	15:04
6	02:45	00:31	01:49	03:19		00:45	00:44	03:25	13:18
7	01:57	00:29	01:57	03:22	01:00	00:44	00:39	03:32	13:40
8	02:10	00:32	01:30	03:18		00:43	00:41	03:33	12:27
9	01:59	00:40	02:16	03:22	00:40	00:47	00:33	03:25	13:42
10	01:47	00:41	01:28	03:34		00:45	00:35	03:22	12:12
PROMEDIO	02:40	00:32	02:12	03:40	00:55	00:44	00:40	03:14	14:04

RESULTADOS TIEMPOS			
DESCRIPCIÓN	TET (mm:ss)	TEE (mm:ss)	TIEMPO DEL CICLO (mm:ss)
Tiempo Total	03:41	26:37	Tiempo Máximo
			16:44
			Tiempo Mínimo
			14:04
			Promedio del Ciclo
			14:04

Cuadro 16. Tiempos de ciclo bloque 3. Fuente: Datos de estudio.

Producción: La producción viene determinada por el número de toneladas o metros cúbicos de material en un determinado tiempo. El principal objetivo de la productividad es mover grandes cantidades de material al costo más bajo posible.

Para estudiar y determinar la producción de las volquetas se utilizan las siguientes expresiones, la Ecu 1 para calcular la producción teórica, la Ecu 3 para determinar la producción real y las Ecu. 4, 5 rendimiento teórico y real respectivamente.

La eficiencia de la operación viene afectada por factores tanto internos como externos, para la aplicación en la Ecu. 1 se toma la relación entre tiempo real sobre tiempo teórico. Adicionalmente se agregó el cuadro 19. de factores de eficiencias para hacer una lectura de éstos índices.

$$\text{Producción teórica (Ton)} = \frac{Tt * Cv * E}{Tc} \text{ Ecu. 1.}$$

Donde:

Tt = Tiempo teórico de trabajo volqueta

Cv = Capacidad de la volqueta

E = Factor de eficiencia, sin unidades (tr/tt)

Tc = Tiempo del ciclo

$$\text{Eficiencia estimada} = Tr/Tt \text{ Ecu. 2}$$

$$\text{Producción real (Ton)} = Nc * Cv \text{ Ecu. 3}$$

Donde:

Nc = número de ciclos

Cv = Capacidad de la volqueta

$$\text{Redimiento teórico} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pt}{Te} \text{ Ecu. 4}$$

Pt = Producción teórica (ton)

Te = Tiempo efectivo de trabajo

$$\text{Rendimiento real} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pr}{Te} \text{ Ecu. 5}$$

Pr = Producción real (ton)

Te = Tiempo efectivo de trabajo (h final – hora i) ⁶

La aplicación de la eficiencia tiene como finalidad detectar las bajas en el rendimiento y poder corregirlos de forma visible.

⁶ BALLESTER, F. Y RODRIGUEZ, J.A. "Manual de arranque, carga y transporte en minería". Pág. 521- 523.

A continuación se hará un análisis de las operaciones de acuerdo a los datos obtenido en campo y lo proyectado en producción.

Como se mencionó anteriormente el ciclo productivo consta de 3 turnos:

A 07:00 – 15:00

B 15:00 - 23:00

C 23:00 – 07:00

Se consideran dentro de la operación 1,5 horas de paros programados por concepto de 0,5 horas revisión de equipos y tanqueo, 0,5 horas alimentación y 0,5 horas de cambio de turno.

DISTRIBUCIÓN HORARIA DEL TURNO		HORAS DE TRABAJO
DESCRIPCIÓN	HORAS	6,5
PAROS PROGRAMADOS	1,5	
HORAS DE TRABAJO	6,5	
HORAS DEL TURNO	8	

Cuadro 17. Distribución del tiempo del turno. Fuente: Datos de estudio

Diagnóstico del ciclo bloque 3 panel 28

Considerando las ecuaciones expuestas en la página anterior, se procede a verificar el funcionamiento del ciclo.

$$Producción\ teórica\ (Ton) = \frac{6,5\ h * 50\ Ton * Ee}{0,23\ h} \text{ Ecu. 1}$$

La eficiencia puede ser calculada de dos formas,

$Ee = tr/tt$, en esta se toma la relación del tiempo real trabajado sobre el tiempo programado de trabajo. En este caso sería eficiencia estimada:

$$Ee = (13278,5 - 13273,4\ h) / 6,5\ h \dots Ee = 0,78 \text{ Ecu. 2}$$

Usando criterio ingenieril se verifican las diferentes condiciones de operación (ver Cuadro 18) y se elige un dato del cuadro de eficiencia de acuerdo al dato obtenido (Ver cuadro 19). O viceversa para la interpretación de las condiciones.

CONDICIONES	FAVORABLES	PROMEDIO	DESFAVORABLES
Estado de máquinas	Con un buen mantenimiento	Con un mantenimiento aceptable	Con poco mantenimiento
Material	Tierra suelta y seca, graba seca, carbón, capa vegetal, material caliza seco y suelto	Arena, gravilla, pizarra, greda con poca humedad, caliza de poca humedad	Materiales duros en bancos, greda húmeda, roca
Área de explotación	Sin obstrucciones, plano, seca y bien mantenida.	Con algunas obstrucciones, piso rugoso blando	Terreno húmedo, resbaloso o blando, con obstrucciones
Carreteras	Con mantenimiento constante	Con mantenimiento ocasional	Sin mantenimiento
Área de descargue	Sin obstrucciones, con mantenimiento	Con algunas obstrucciones, piso algo blando	Área con obstrucciones, piso blando, húmedo y sin mantenimiento
Tráfico	Completamente independiente de carreteras públicas y líneas de tren	Cruza algunas vías de tránsito frecuente de la mina	Desplazamiento a lo largo de vías públicas o tráfico de la población
Clima	Sin variaciones, muy poca lluvia	Pocas variaciones	Con variaciones repentinas
Trabajo nocturno	No	Regularmente	Siempre
Habilidad del operario	Buena	Aceptable	Poca
Supervisión	Adecuada en todas las áreas	Intermitente	Muy poca

Cuadro 18. Condiciones de operación. Fuente: Datos de estudio.

Condiciones de operación	Favorable	Promedio	Desfavorable	Muy desfavorables
Eficiencia	83%-100%	75%-82%	67%-74%	58%-66%

Cuadro 19. Factores de eficiencia. Fuente: Datos de estudio.

Para el presente estudio se emplea el primer paso, tomando la eficiencia de acuerdo al tiempo real de trabajo y se interpreta usando el segundo paso.

Cabe resaltar que el ítem de condición de operación **muy desfavorable**, se presenta cuando hay condiciones desfavorables muy marcadas que afectan el rendimiento.

$$\text{Producción teórica (Ton)} = \frac{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton} * 0,78}{0,23 \text{ h}}$$

$$\text{Producción teórica} = 1102 \text{ Ton}$$

$$\text{Producción real (Ton)} = Nc * Cv \text{ Ecu. 3}$$

$$Nc = V. \text{ Prod.} = 16$$

$$\text{Producción real (Ton)} = 16 * 50$$

$$\text{Producción real} = 800 \text{ Ton}$$

$$\text{Redimiento teórico} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pt}{Te} \text{ Ecu. 4}$$

$$\text{Redimiento teórico} = \frac{1102 \text{ Ton}}{5,1 \text{ h}}$$

$$\text{Redimiento teórico} = 216 \text{ Ton/h}$$

$$\text{Rendimiento real} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pr}{Te} \text{ Ecu. 5}$$

$$\text{Rendimiento real} = \frac{800 \text{ Ton}}{5,1 \text{ h}}$$

$$\text{Rendimiento real} = 157 \text{ Ton/h}$$

Cómo se evidencia la producción real y el rendimiento real se encuentran por debajo del teórico aun considerando un factor de eficiencia promedio.

Para calcular el factor de eficiencia real del proceso se reemplaza en la Ecu. 6

$$Er = \frac{Pr * Tc}{Tt * Cv} \text{ Ecu. 6}$$

$$Er = \frac{800 \text{ Ton} * 0,23 \text{ h}}{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton}}$$

$$Er = 56\%$$

Interpretando mediante el cuadro 19. Se dice que se cuenta con unas condiciones **muy desfavorables** para la sostenibilidad de la operación.

6.5.2. Ciclo transporte caliza bloque 1A panel 44

A continuación se muestran los datos obtenidos en campo del ciclo en el bloque 1A.

TIEMPOS CICLOS DE TRANSPORTE									
Fecha	23/07/2014	Material CLZ		T. Trabajo = 5,1 h		T. Tanqueo	00:26:00		
Volqueta	Cat 773F	V. Prod. = 18		BLQ 1A P 44		TURNO	A		
CICLO	TEE (mm:ss)	TPC (mm:ss)	TCE (mm:ss)	TFT (mm:ss)	TET (mm:ss)	TPT (mm:ss)	TDT (mm:ss)	TTF (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)
1	01:28	00:32	02:30	02:20	00:56	00:46	00:38	02:10	11:20
2	02:32	00:32	02:22	02:33		00:39	00:35	02:22	11:35
3	01:40	00:34	02:45	03:34		00:41	00:32	02:14	12:00
4	02:13	00:32	03:01	02:49	00:40	00:45	00:40	02:02	12:42
5	01:10	00:30	02:32	02:18		00:48	00:32	02:02	09:52
6	02:24	00:36	02:03	02:40	00:45	00:45	00:35	02:12	12:00
7	01:40	00:33	02:10	02:15		00:44	00:32	02:03	09:57
8	01:45	00:32	02:18	02:14		00:43	00:31	02:10	10:13
9	01:40	00:42	02:16	02:00	00:40	00:47	00:36	02:04	10:45
10	01:47	00:41	01:28	01:58		00:45	00:35	02:05	09:19
PROMEDIO	01:50	00:34	02:20	02:28	00:45	00:44	00:35	02:08	10:58

RESULTADOS TIEMPOS				
DESCRIPCIÓN	TET (mm:ss)	TEE (mm:ss)	TIEMPO DEL CICLO (mm:ss)	
Tiempo Total	03:01	18:19	Tiempo Máximo	12:42
			Tiempo Mínimo	09:19
			Promedio del Ciclo	10:58

Cuadro 20. Tiempos de ciclo bloque 1A. Fuente: Datos de estudio

Diagnóstico del ciclo bloque 1A panel 44

$$Producción\ teórica\ (Ton) = \frac{6,5\ h * 50\ Ton * Ee}{0,18\ h} \text{ Ecu. 1}$$

$$Ee = \frac{tr}{tt} = \frac{5,1}{6,5} = 0,78 \text{ Ecu. 2}$$

$$Producción\ teórica = \frac{6,5\ h * 50\ Ton * 0,78}{0,18\ h}$$

$$Producción\ teórica = 1408\ Ton$$

$$Producción\ real\ (Ton) = Nc * Cv \text{ Ecu. 3}$$

$$Producción\ real\ (Ton) = 18 * 50$$

$$\text{Producción real (Ton)} = 900 \text{ Ton}$$

$$\text{Redimiento teórico} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pt}{Te} \text{ Ecu. 4}$$

$$\text{Redimiento teórico} = \frac{1408}{5,1}$$

$$\text{Redimiento teórico} = 276 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

$$\text{Rendimiento real} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pr}{Te} \text{ Ecu. 5}$$

$$\text{Rendimiento real} = \frac{900}{5,1}$$

$$\text{Rendimiento real} = 176 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Calculando la eficiencia real del proceso:

$$Er = \frac{Pr * Tc}{Tt * Cv} \text{ Ecu. 6}$$

$$Er = \frac{900 * 0,18}{6,5 * 50}$$

$$Er = 50\%$$

Interpretando mediante el cuadro 19. Se dice que se cuenta con unas condiciones **muy desfavorables** para la sostenibilidad de la operación.

6.5.3. Ciclo transporte mezcla bloque 3 y bloque 1A

A continuación se muestra el ciclo estimado para la mezcla de bloque 3 panel 18 y bloque 1A panel 44.

Tiempo estimado del ciclo										
Descripción plaza de cargue	Tiempo pos. Cargue Bl. 3 (mm:ss)	Tiempo de cargue Bl. 3 (mm:ss)	Tiempo Bl. 3 - Bl. 1A (mm:ss)	Tiempo pos. Cargue Bl. 1A (mm:ss)	Tiempo de cargue Bl. 1A (mm:ss)	Tiempo frente - tolva (mm:ss)	Tiempo pos. Tolva (mm:ss)	Tiempo descargue tolva (mm:ss)	Tiempo Tolva - Frente (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)
MEZCLA BL. 3 P 18 Y BL. 1A P 44	00:40	02:15	02:46	00:40	00:45	03:30	00:44	00:41	02:41	14:42

Cuadro 21. Tiempo estimado del ciclo mezcla Bl. 3 y Bl. 1A. Fuente: Datos de estudio.

Como se mencionó anteriormente la eficiencia viene afectada por diferentes factores cruciales, en algunos casos se presentó que los tiempos fijos (tiempo posicionamiento, tiempo de cargue, tiempo de descargue) presentaban una leve variación en comparación a los ya establecidos, atribuible al estado del material y el terreno el día de la toma de los datos. En este sentido para no maltratar el proceso se hizo una leve modificación agregando unos segundos adicionales.

Diagnóstico del ciclo mezcla bloque 3 y bloque 1A

$$\text{Producción teórica (Ton)} = \frac{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton} * Ee}{0,27 \text{ h}} \text{ Ecu. 1}$$

$$Ee = tr/tt = 4,5/6,5 = 0,69 \text{ Ecu. 2}$$

$$\text{Producción teórica} = \frac{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton} * 0,69}{0,27 \text{ h}}$$

$$\text{Producción teórica} = 831 \text{ Ton}$$

$$\text{Producción real (Ton)} = Nc * Cv \text{ Ecu. 3}$$

$$\text{Producción real} = 12 * 50$$

$$\text{Producción real} = 600 \text{ Ton}$$

$$\text{Redimiento teórico} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pt}{Te} \text{ Ecu. 4}$$

$$\text{Redimiento teórico} = \frac{831}{4,5}$$

$$\text{Redimiento teórico} = 184 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

TIEMPOS CICLO DE TRANSPORTE														
Fecha	13/06/2014	B 3 P 18	V. Prod = 12		B 1A P 44	Material: CLZ	T. trabajo: 4,5 horas	T. Tanqueo						
Volqueta	Cat 773F # 1	Eq: RH- 40E	Mezcla:	80 - 20	Eq: Cat 988G	TURNO	A	00:26:21						
CICLO	TEE PTO A (mm:ss)	T POS. PTO A (mm:ss)	TC PTO A (mm:ss)	T PTO A- PTO (mm:ss)	TEC PTO B (mm:ss)	T POS. PTO B (mm:ss)	TC PTO B (mm:ss)	T PTO B TOLVA (mm:ss)	TET (mm:ss)	TPT (mm:ss)	TDT (mm:ss)	T TOLVA PTO A (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)	
1	01:16	00:48	01:58	02:35	00:38	00:33	00:22	03:30		00:46	00:42	02:39	15:47	
2	02:10	00:50	02:15	02:27	00:25	00:40	00:26	03:15	00:58	00:42	00:41	02:42	17:31	
3	01:48	00:46	02:34	02:34	00:19	00:35	00:23	03:41		00:43	00:46	02:36	16:45	
4	01:20	00:47	02:22	03:01	00:27	00:37	00:24	03:01	00:45	00:46	00:41	02:42	16:53	
5	01:18	00:40	02:16	02:56	00:40	00:35	00:27	03:22		00:34	00:38	02:50	16:16	
6	00:58	00:49	02:28	02:45	00:50	00:33	00:25	03:18	00:35	00:37	00:40	02:40	16:38	
7	01:38	00:39	02:08	02:10	00:47	00:37	00:24	03:19		00:37	00:41	02:40	15:40	
8	00:00	00:49	02:04	02:08	00:45	00:40	00:19	03:45	00:22	00:41	00:39	02:35	14:47	
9	01:25	00:46	02:21	02:11	00:36	00:46	00:21	03:38		00:40	00:41	02:41	16:06	
10	02:20	00:41	02:05	02:15	00:32	00:37	00:34	03:40	00:38	00:42	00:40	02:19	17:03	
PROMEDIO	01:25	00:46	02:15	02:30	00:36	00:37	00:24	03:27	00:40	00:41	00:41	02:38	16:21	

RESULTADOS TIEMPOS CICLO DE TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	TEE PTO A (mm:ss)	T PTO A- PTO B (mm:ss)	TEC PTO B (mm:ss)	TET (mm:ss)	TIEMPO DEL CICLO (mm:ss)	
Tiempo Total	14:13	25:02	05:59	03:18	Tiempo Máximo	17:31
					Tiempo Mínimo	14:47
					Promedio del Ciclo	16:21

Cuadro 22. Tiempos ciclo mezcla BL. 3 y BL. 1A. Fuente: Datos de estudio.

$$\text{Rendimiento real} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pr}{Te} \text{ Ecu. 5}$$

$$\text{Rendimiento real} = \frac{600}{4,5}$$

$$\text{Rendimiento real} = 133 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Calculando la eficiencia real del proceso:

$$Er = \frac{Pr * Tc}{Tt * Cv} \text{ Ecu. 6}$$

$$Er = \frac{600 * 0,27}{6,5 * 50}$$

$$Er = 50\%$$

Interpretando mediante el cuadro 19. Se dice que se cuenta con unas condiciones **muy desfavorables** para la sostenibilidad de la operación.

6.5.4. Ciclo transporte mezcla bloque 2 y bloque 3

A continuación se muestra el ciclo estimado para la mezcla de bloque 2 panel 5, con bloque 3 panel 28.

Tiempos estimado del ciclo										
Descripción plaza de cargue	Tiempo pos. Cargue Bl. 2 (mm:ss)	Tiempo de cargue Bl. 2 (mm:ss)	Tiempo Bl. 2 - Bl. 3 (mm:ss)	Tiempo pos. Cargue Bl. 3 (mm:ss)	Tiempo de cargue Bl. 3 (mm:ss)	Tiempo bloque 3 - tolva (mm:ss)	Tiempo pos. Tolva (mm:ss)	Tiempo descargue tolva (mm:ss)	Tiempo Tolva - bl 2 (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)
MEZCLA BL. 2 P 5 Y BL. 3 P 28	00:32	02:06	02:50	00:40	02:06	03:24	00:44	00:35	03:34	16:31

Cuadro 23. Tiempo estimado del ciclo mezcla bloque 2 y bloque 3. Fuente: Datos de estudio

Vale resaltar que el tiempo de carga en cada punto depende del porcentaje de mezcla, es decir si en el punto A, bloque 2 se carga el 60% de la capacidad de la volqueta demoraría un poco más que lo que se demoraría cargando en el punto siguiente. Para éste caso en particular, hubo variaciones en la mezcla, para alcanzar las calidades requeridas, por lo que los tiempos de cargue en un punto y otro también presentaron alguna variación.

TIEMPOS CICLO DE TRANSPORTE													
Fecha	18/07/2014	B 2 P 5	V. Prod = 13		B 3 P 28	Material	CLZ	T. Tanqueo (mm:ss) 25:18					
Volqueta	Cat773F# 2	Eq: RH- 40E	Mezcla:	80 - 20/60 - 40	Eq: RH- 40E	TURNO	A	T. trabajo = 4,7 h					
CICLO	TEE PTO A (mm:ss)	T POS. PTO A (mm:ss)	TC PTO A (mm:ss)	T PTO A- PTO (mm:ss)	TER PTO B (mm:ss)	T POS. PTO B (mm:ss)	TC PTO B (mm:ss)	T PTO B TOLVA (mm:ss)	TET (mm:ss)	TPT(mm:ss)	TDT (mm:ss)	T TOLVA PTO A (mm:ss)	Total Ciclo (mm:ss)
1	01:16	00:41	00:49	02:48	01:10	00:35	01:47	03:32	00:27	00:45	00:37	03:36	18:03
2	00:18	00:50	00:47	02:59	00:49	00:39	01:50	03:28		00:43	00:38	03:40	16:41
3	01:48	00:46	02:34	02:39	00:50	00:35	01:00	03:26		00:42	00:37	03:30	18:27
4	01:20	00:46	02:22	02:49	01:08	00:37	00:58	03:01		00:43	00:39	03:25	17:48
5	01:18	00:40	02:16	03:10	01:02	00:36	00:59	03:22	00:48	00:45	00:40	03:20	18:56
6	00:58	00:49	02:28	03:13	01:03	00:39	01:22	03:18	00:45	00:47	00:36	03:29	19:27
7	01:38	00:39	02:08	02:45	00:56	00:40	01:13	03:28		00:40	00:36	03:29	18:12
8	00:40	00:49	02:04	03:10	01:03	00:41	01:10	03:22	01:01	00:41	00:34	03:22	18:37
9	01:25	00:46	02:21	03:22	02:03	00:48	01:17	03:17		00:40	00:38	03:30	20:07
10	02:20	00:41	02:05	03:01	02:10	00:37	01:03	03:52	01:34	00:42	00:30	03:19	21:54
PROMEDIO	01:18	00:45	01:59	03:00	01:13	00:39	01:16	03:25	00:55	00:43	00:37	03:28	18:49

RESULTADOS TIEMPOS CICLO DE TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	TEE PTO A (mm:ss)	T PTO A- PTO B (mm:ss)	TE PTO B (mm:ss)	TET (mm:ss)	TIEMPO DEL CICLO (mm:ss)	
Tiempo Total	13:01	29:56	12:14	04:35	Tiempo Máximo	21:54
					Tiempo Mínimo	16:41
					Promedio del Ciclo	18:49

Cuadro 24. Tiempo de ciclo mezcla bloque 2 y bloque 3. Fuente: Datos de estudio.

Diagnóstico del ciclo mezcla bloque 2 y bloque 3

$$\text{Producción teórica (Ton)} = \frac{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton} * Ee}{0,31 \text{ h}} \text{ Ecu. 1}$$

$$Ee = \frac{tr}{tt} = \frac{4,7}{6,5} = 0,72 \text{ Ecu. 2}$$

$$\text{Producción teórica (Ton)} = \frac{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton} * 0,72}{0,31 \text{ h}}$$

$$\text{Producción teórica (Ton)} = 754 \text{ Ton}$$

$$\text{Producción real (Ton)} = Nc * Cv \text{ Ecu. 3}$$

$$\text{Producción real (Ton)} = 13 * 50$$

$$\text{Producción real (Ton)} = 650 \text{ Ton}$$

$$\text{Redimiento teórico} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pt}{Te} \text{ Ecu. 4}$$

$$\text{Redimiento teórico} = \frac{754 \text{ Ton}}{4,7 \text{ h}}$$

$$\text{Redimiento teórico} = 160 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

$$\text{Rendimiento real} \left(\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) = \frac{Pr}{Te} \text{ Ecu. 5}$$

$$\text{Rendimiento real} = \frac{650 \text{ Ton}}{4,7 \text{ h}}$$

$$\text{Rendimiento real} = 138 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Calculando la eficiencia real del proceso:

$$Er = \frac{Pr * Tc}{Tt * Cv} \text{ Ecu. 6}$$

$$Er = \frac{650 \text{ Ton} * 0,31 \text{ h}}{6,5 \text{ h} * 50 \text{ Ton}}$$

$$Er = \frac{202}{325}$$

$$Er = 62\%$$

Interpretando mediante el cuadro 19. se dice que se cuenta con unas condiciones **desfavorables** para la sostenibilidad de la operación.

6.6. RESULTADO DE LOS CICLOS

Como puede evidenciarse los tiempos programados para el ciclo no se cumplen, en gran medida por el tiempo de espera en el punto de cargue (TEC o TEE) y en ocasiones debido a tiempos de espera en tolva (TET), se deben buscar alternativas para aprovechar al máximo el tiempo disponible para el ciclo y sacar el mejor rendimiento de la operación.

6.6.1. Resultados ciclo mezcla en tolva

A continuación se resumen las condiciones encontradas en el ciclo de acarreo desde los dos frentes estudiados:

CICLO MEZCLA EN TOLVA DE ACUERDO AL TIEMPO TRABAJADO								
PLAZA	Tiempo del ciclo (mm:ss)	Tiempo trabajado (h)	Producción esperada (Ton)	producción real (Ton)	Rendimiento esperado (Ton/h)	Rendimiento real (Ton/h)	Eficiencia del proceso (%)	Condición
BL 3 P 28	14:04	5,1	1102	800	216	157	56%	Muy desfavorable
BL 1A P 44	10:58	5,1	1408	900	276	176	50%	Muy desfavorable

Cuadro 25. Resultados ciclos mezcla en tolva. Fuente: Datos de estudio

Plaza	Tiempo de espera en punto de cargue (mm:ss)	Tiempo de espera en tolva (mm:ss)
BL 3 P 28	26:37	03:41
BL 1A P 44	18:19	03:01

Cuadro 26. Tiempos de espera en el ciclo. Fuente: Datos de estudio.

Las condiciones presentes, son visiblemente negativas para el desarrollo eficiente y sostenible de la operación, después del análisis se puede decir que las situaciones que representan las principales fallas son:

- ✓ Espera en el punto de cargue, y
- ✓ Espera en tolva

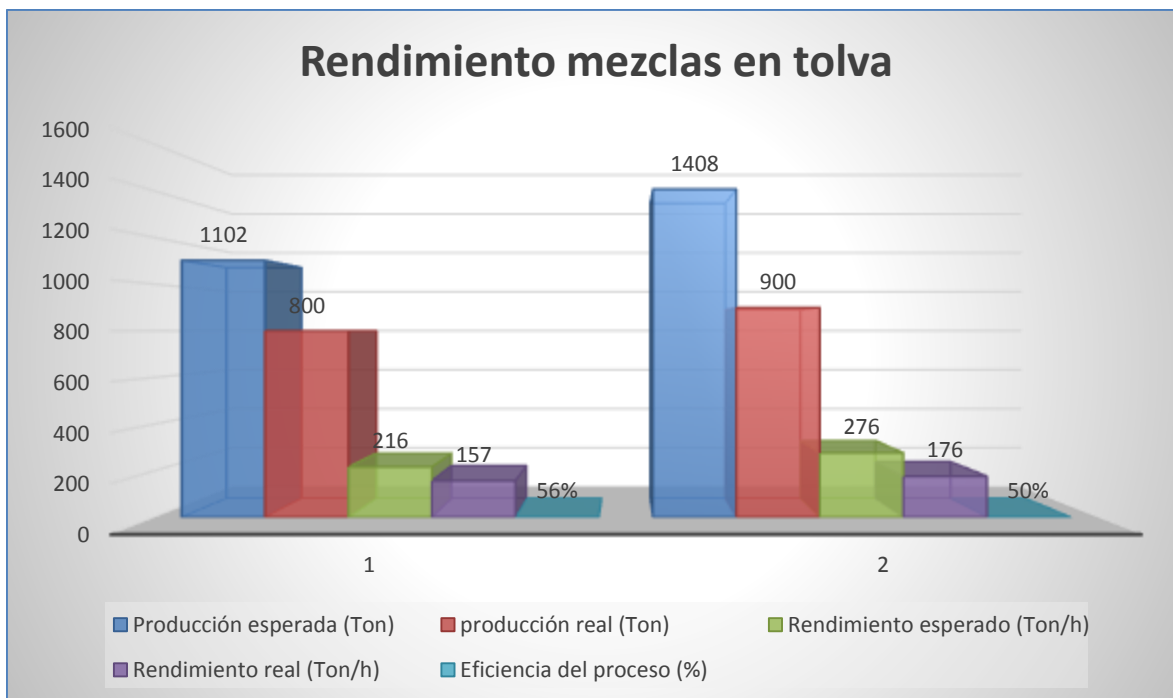


Figura 33. Resumen rendimientos ciclo mezcla en tolva. Fuente: Datos de estudio

Desglosando el contenido del ciclo, la primera falla (espera en el punto de cargue), se hace la más representativa, con un 19% para la plaza 1 y un 16,7% para la plaza 2. Con respecto al tiempo del estudio.

6.6.2. Resultado mezclas en volquetas

A continuación se muestran los resultados de los dos ciclos de mezclas estudiados:

CICLO MEZCLA EN VOLQUETA DE ACUERDO AL TIEMPO TRABAJADO									
Mezcla		Tiempo del ciclo (mm:ss)	Tiempo trabajado (h)	Producción esperada (Ton)	producción real (Ton)	Rendimiento o esperado (Ton/h)	Rendimiento o real (Ton/h)	Eficiencia del proceso (%)	Condición
BL 3 P 18	BL 1A P 44	16:21	4,5	831	600	184	133	50%	Muy desfavorable
BL 2 P 5	BL 3 P 28	18:49	4,7	754	650	160	138	62%	Desfavorables

Cuadro 27. Resultados mezclas en volqueta. Fuente: Datos de estudio.

Mezcla		Tiempos de espera en puntos de cargue (mm:ss)	Tiempo de Pto 1 a Pto 2 (mm:ss)	Tiempo de espera en tolva (mm:ss)
BL 3 P 18	BL 1A P 44	20:12	25:02	03:18
BL 2 P 5	BL 3 P 28	25:15	29:56	04:35

Cuadro 28. Tiempos de espera en el ciclo. Fuente: Datos de estudio.

Haciendo el análisis puede verse que las condiciones presentes no muestran un balance positivo para la eficiencia de las operaciones y son claramente identificables, las siguientes actividades son las causantes de las fallas en la eficiencia:

- ✓ Tiempo de trayecto punto 1 a punto 2,
- ✓ Tiempo de espera en puntos de cargue, y
- ✓ Tiempo de espera en tolva.

Como el tiempo de trayecto del punto1 al punto 2, debe estar considerado al momento de la distribución de la flota, no será analizado como causante de baja eficiencia. Para la mezcla 1 (BL 3 P 18 a BL 1A P44) presenta una distribución en la afección del ciclo de la siguiente manera:

Tiempo de espera en puntos de cargue = 12%

Tiempo de espera en tolva. = 4,1%

Para la mezcla 2 (BL 2 P 5 a BL 3 P 28) presenta una distribución en la afección del ciclo de la siguiente manera:

Tiempo de espera en puntos de cargue = 13,40%

Tiempo de espera en tolva. = 4,9%

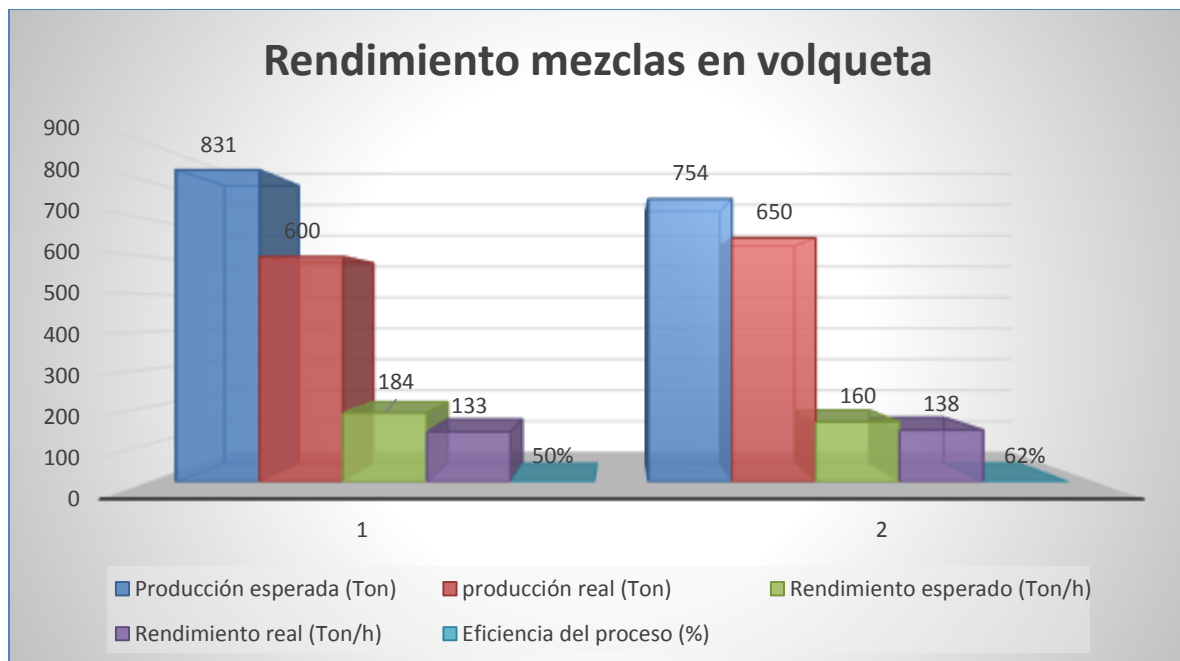


Figura 34. Resumen rendimientos ciclo mezcla en volqueta. Fuente: Datos de estudio.

6.7. ESTUDIO ADICIONAL DE LA OPERACIÓN DE ACARREO

Con objetivo de analizar y verificar el funcionamiento de toda la operación, de forma paralela se tomaron datos y se modelaron, esta vez teniendo en cuenta el tiempo programado para el trabajo en cada turno y considerando máxima eficiencia el cumplimiento de las horas programadas para el turno de trabajo.

En éste sentido, se busca revisar la eficiencia desde las dos perspectivas, la ya analizada de acuerdo a las horas trabajadas y la presente de acuerdo al horario programado para el trabajo.

En esta se es un poco más general, debido a que se estandarizó el ciclo de transporte a 14 minutos (promedio de los ciclos por los frentes trabajados) y no se discriminan de forma detalladas los paros dentro del ciclo.

Bien, después del estudio anterior ya se tienen plenamente identificados los paros improductivos evitables:

- ✓ Tiempos de espera en el punto de cargue
- ✓ Tiempo de espera en tolva

Los datos tomados para éste segundo estudio, también buscan validar el primer estudio, determinar la eficiencia general en cuanto al tiempo programado versus el tiempo real trabajado y los índices de rendimientos obtenidos para el mismo mes de la toma de los datos del primer estudio.

A continuación se muestra detalladamente el estudio y las condiciones encontradas en la operación.

6.7.1. Resultados CAT 1

El siguiente cuadro se compone de la información recolectada para la volqueta 773F # 1, que muestra lo siguiente:

Tiempos por turno A mes de Julio- CAT 1									
Presupuesto horas turno/mes:		176	37 h	Por debajo de lo esperado					
Horas real turno/mes		138	Cumplimiento h de un % :		70%				
Tiempo ciclo transporte a TT Abon		14 min	0,23						
Di a	Fecha	Tiempo nominal turno (h)	Horas nominal acumuladas (h)	Tiempo efectivo Turno (h)	Tiempo efectivo Acumulado (h)	Cumplimiento tiempo t %	Viajes nominal	Viajes real	Eficiencia %
M	1	6,5	6,5	2,70	3	42%	12	7	56%
M	2	6,5	13,0	5,60	8	64%	26	20	77%
J	3	6,5	19,5	4,20	13	64%	19	6	31%
V	4	6,5	26,0	5,00	18	67%	23	17	74%
S	5	6,5	32,5	3,60	21	65%	17	15	90%
D	6	6,5	39,0	5,60	27	68%	28	22	79%
L	7	6,5	45,5	5,60	32	71%	28	22	79%
M	8	6,5	52,0	6,20	39	74%	27	22	83%
M	9	6,5	58,5	5,30	44	75%	27	21	79%
J	10	6,5	65,0	2,90	47	72%	17	14	80%
V	11	6,5	71,5	6,10	53	74%	31	23	75%
S	12	6,5	78,0	4,20	57	73%	21	14	67%
D	13	6,5	84,5	5,50	63	74%	28	23	84%
L	14	6,5	91,0	3,90	66	73%	23	12	51%
M	15	6,5	97,5	5,80	72	74%	29	18	62%
M	16	6,5	104,0	3,90	76	73%	23	15	64%
J	17	6,5	110,5	3,40	80	72%	14	15	110%
V	18	6,5	117,0	3,40	83	71%	14	10	74%
S	19	6,5	123,5	4,00	87	70%	16	10	63%
L	21	6,5	130,0	4,40	91	70%	18	14	80%
M	22	6,5	136,5	5,70	97	71%	29	28	98%
M	23	6,5	143,0	5,60	103	72%	28	22	79%
J	24	6,5	149,5	5,70	108	72%	29	19	67%
V	25	6,5	156,0	1,80	110	71%	8	5	60%
S	26	6,5	162,5	5,60	116	71%	26	22	85%
D	27	6,5	169,0	5,40	121	72%	27	21	78%
L	28	6,5	175,5	5,80	127	72%	23	22	95%
M	29	6,5	182,0	4,80	132	72%	19	12	62%
M	30	6,5	188,5	2,00	134	71%	10	6	60%
J	31	6,5	195,0	4,70	138	71%	24	11	47%
			Promd.	4,6	Promd.		22	16	73%

Cuadro 29. Tiempos turno A CAT 1, mes de julio. Fuente: Datos de estudio

Se encuentra un rendimiento real promedio en el turno 16 viajes, y un rendimiento nominal promedio de 22 viajes lo que es equivalente en efecto a:

Rendimiento promed. esperado turno	1.100	Ton/turno
Rendimiento promed. real turno	800	Ton/turno

Cuadro 30. Rendimiento promedio del turno CAT 1. Fuente: Datos de estudio.

En la figura 35, se puede ver la tendencia de los rendimientos de acuerdo a los viajes programados nominal y los viajes reales del equipo a lo largo del mes de julio.

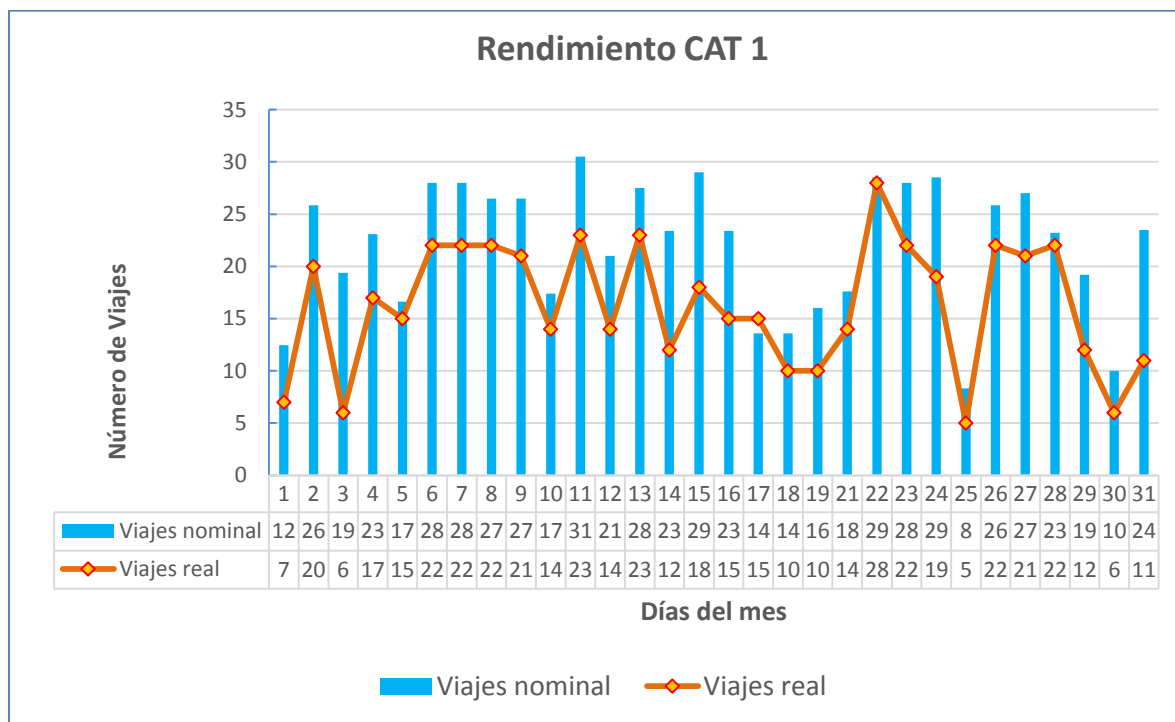


Figura 35. Rendimiento CAT 1 turno. Fuente: Datos de estudio.

El rendimiento marca una clara tendencia por debajo de lo esperado, concordando con el primer estudio. La eficiencia encontrada fue del **73%**, que de acuerdo al cuadro 19, sería una eficiencia **desfavorable** para el sostenimiento de la operación, aproximándose considerablemente a una condición de eficiencia promedio. También puede apreciarse un cumplimiento del horario de trabajo promedio del **70%** es decir 4,6 horas trabajadas de 6,5 programadas. En la siguiente gráfica puede observarse el comportamiento de las horas de trabajo nominales acumuladas versus reales acumuladas, y el cumplimiento de las horas meta versus real.

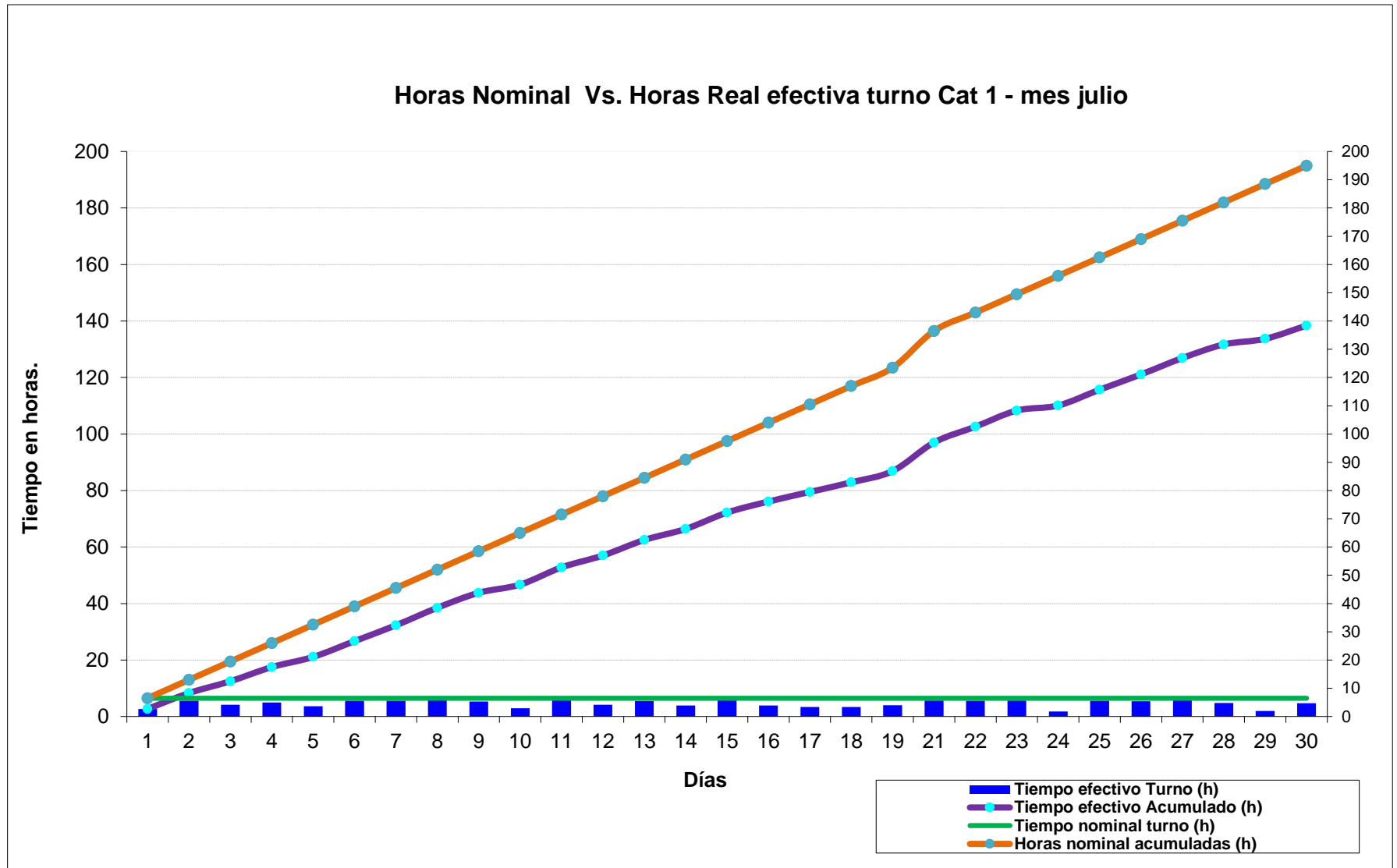


Figura 36. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 1. Fuente: Datos de estudio.

6.7.2. Resultados CAT 2

El siguiente cuadro se compone de la información recolectada para la volqueta 773F # 2, que muestra lo siguiente:

Tiempo real promedio por turno A mes de julio - CAT 2									
Presupuesto horas turno/mes:		176	36 h	Por debajo de lo esperado					
Horas real turno/mes		139	Cumplimiento de un % :		69%				
Tiempo ciclo transporte a TT Abon		14 min	0,23						
Dia	Fecha	Tiempo nominal turno	Horas nominal acumuladas	Tiempo efectivo Turno	Tiempo efectivo Acumulado	Cumplimiento %	Viajes nominal	Viajes real	Eficiencia %
M	1	6,5	7	2,10	2	32%	10	8	83%
M	2	6,5	13	5,30	7	57%	24	20	82%
J	3	6,5	20	3,00	10	53%	14	6	43%
V	4	6,5	26	5,00	15	59%	23	18	78%
S	5	6,5	33	4,00	19	60%	18	13	70%
D	6	6,5	39	6,20	26	66%	31	22	71%
L	7	6,5	46	6,20	32	70%	29	22	76%
M	8	6,5	52	6,20	38	73%	29	21	72%
M	9	6,5	59	6,00	44	75%	30	19	63%
J	10	6,5	65	3,00	47	72%	18	15	83%
V	11	6,5	72	5,50	52	73%	28	22	80%
S	12	6,5	78	4,20	57	73%	21	14	67%
D	13	6,5	85	5,90	63	74%	29	20	68%
L	14	6,5	91	4,50	67	74%	27	15	56%
M	15	6,5	98	5,90	73	75%	29	17	58%
M	16	6,5	104	4,00	77	74%	24	17	71%
J	17	6,5	111	5,30	82	74%	21	20	94%
V	18	6,5	117	4,70	87	74%	19	15	80%
S	19	6,5	124	4,10	91	74%	16	14	85%
L	21	6,5	130	3,00	94	72%	12	12	100%
M	22	6,5	137	5,40	99	73%	27	8	30%
M	23	6,5	143	4,20	104	73%	21	15	71%
J	24	6,5	150	5,80	109	73%	29	18	62%
V	25	6,5	156	2,00	111	71%	9	7	80%
S	26	6,5	163	5,00	116	72%	23	17	74%
D	27	6,5	169	5,50	122	72%	28	17	62%
L	28	6,5	176	5,60	128	73%	22	22	98%
M	29	6,5	182	6,00	134	73%	24	15	63%
M	30	6,5	189	1,50	135	72%	20	15	200%
J	31	6,5	195	4,20	139	71%	21	10	48%
Promd.			4,5	Promd.		22	16	71%	

Cuadro 31. Tiempos turno A CAT 2, mes de julio. Fuente: Datos de estudio

Se encuentra un rendimiento real promedio en el turno de 16 viajes y un rendimiento nominal promedio de 22 viajes equivalentes, en efecto a:

Rendimiento promed. esperado turno	1.100	Ton/turno
Rendimiento promed. real turno	800	Ton/turno

Cuadro 32. Rendimiento promedio del turno CAT 2. Fuente: Datos de estudio.

En la figura 37, se puede ver la tendencia de los rendimientos de acuerdo a los viajes programados nominal y los viajes reales del equipo CAT 2 a lo largo del mes de julio.

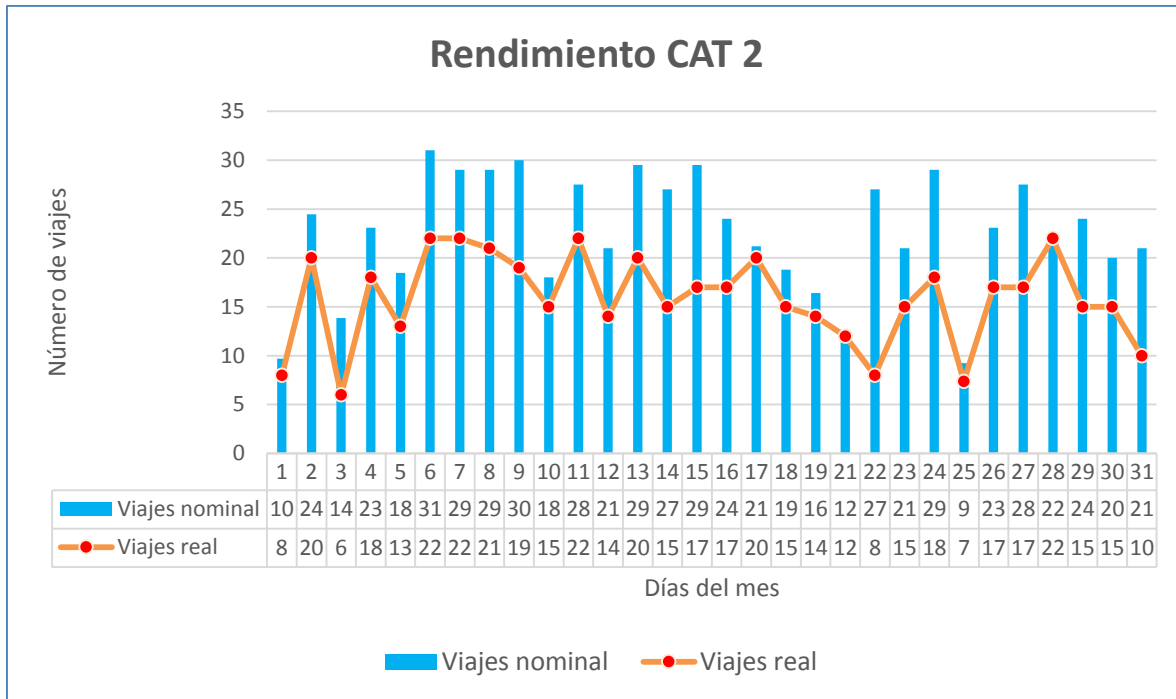


Figura 37. Rendimiento turno CAT 2. Fuente: Datos de estudio

Se puede evidenciar una marcada tendencia por debajo del rendimiento esperado en el turno, concordando con el estudio inicial. La eficiencia encontrada fue del **71%** que de acuerdo al cuadro 19, sería una eficiencia **desfavorable** para el sostenimiento de la operación. De igual manera puede apreciarse un cumplimiento promedio del horario de trabajo del **69%**, correspondiente a 4,5 horas de trabajadas de 6,5 programadas. En la siguiente gráfica puede observarse el comportamiento de las horas de trabajo nominales acumuladas versus reales acumuladas, y el cumplimiento de las horas meta versus real para el CAT 2.

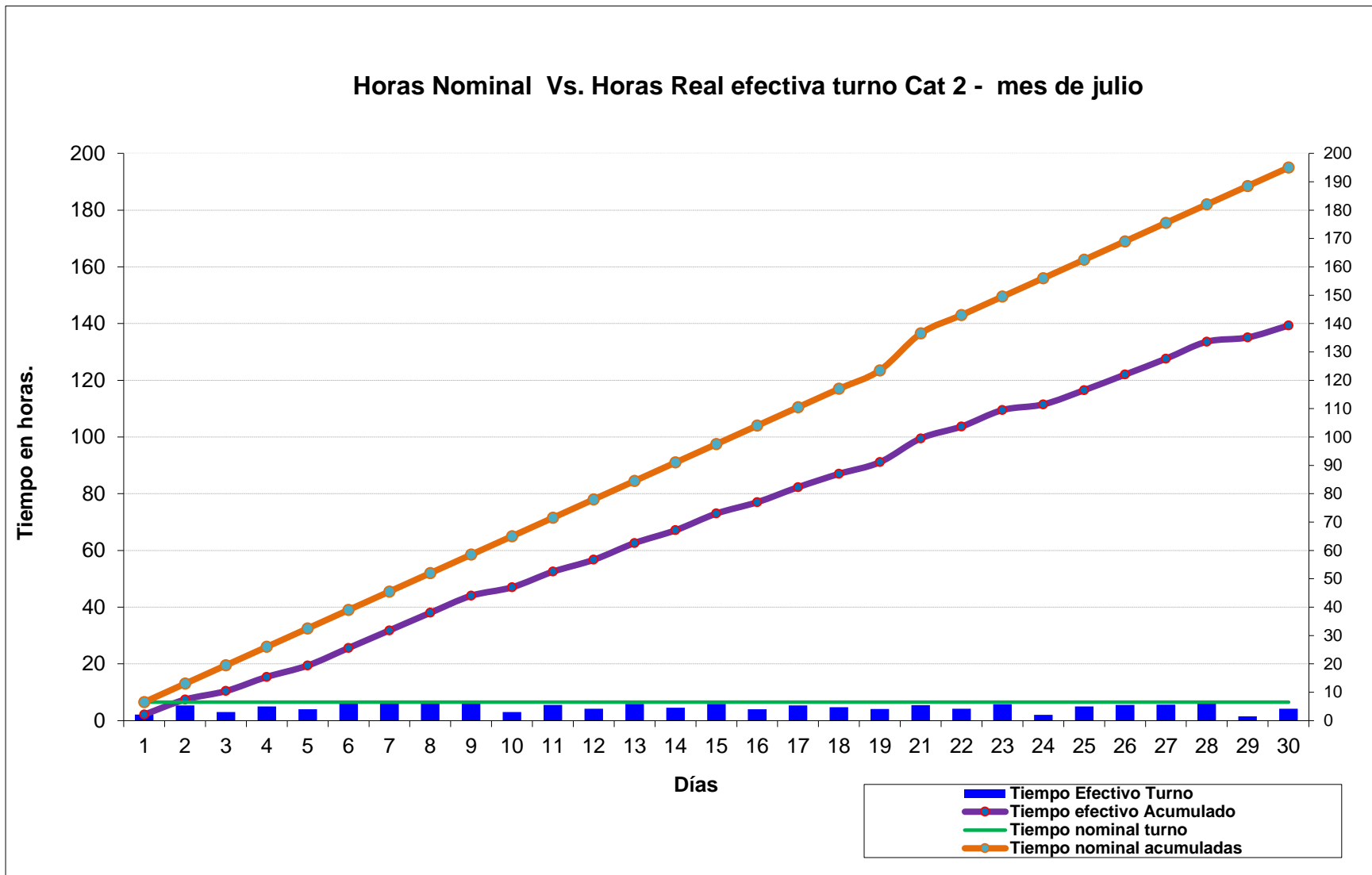


Figura 38. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 2. Fuente: Datos de estudio

6.7.3. Resultados CAT 3

El siguiente cuadro se compone de la información recolectada para la volqueta 773G # 3, que muestra lo siguiente:

Tiempo real promedio por turno A julio-CAT 3										
Presupuesto horas turno/mes:		176	32 h	Por debajo de lo esperado						
Horas real turno/mes		143	Cumplimiento de un %		73%					
Tiempo ciclo transporte a TT Abon		14 min	0,23							
Di a	Fecha	Tiempo nominal turno	Horas nominal acumuladas	Tiempo efectivo Turno	Tiempo efectivo Acumulado	Cumplimiento %	Viajes nominal	Viajes real	Eficiencia %	
M	1	6,5	6,5	3,20	3,2	49%	15	8	54%	
M	2	6,5	13,0	6,00	9,2	71%	28	20	72%	
J	3	6,5	19,5	4,00	13,2	68%	18	6	33%	
V	4	6,5	26,0	5,00	18,2	70%	23	16	69%	
S	5	6,5	32,5	3,90	22,1	68%	18	15	83%	
D	6	6,5	39,0	6,00	28,1	72%	30	22	73%	
L	7	6,5	45,5	6,20	34,3	75%	29	22	76%	
M	8	6,5	52,0	5,60	39,9	77%	28	22	79%	
M	9	6,5	58,5	5,00	44,9	77%	25	20	80%	
J	10	6,5	65,0	4,00	48,9	75%	24	14	58%	
V	11	6,5	71,5	5,00	53,9	75%	25	19	76%	
S	12	6,5	78,0	4,00	57,9	74%	20	14	70%	
D	13	6,5	84,5	6,00	63,9	76%	30	21	70%	
L	14	6,5	91,0	5,00	68,9	76%	30	15	50%	
M	15	6,5	97,5	4,00	72,9	75%	20	19	95%	
M	16	6,5	104,0	5,00	77,9	75%	30	16	53%	
J	17	6,5	110,5	5,00	82,9	75%	10	7	70%	
V	18	6,5	117,0	5,50	88,4	76%	22	18	82%	
S	19	6,5	123,5	4,10	92,5	75%	16	14	85%	
L	21	6,5	130,0	5,00	97,5	75%	20	13	65%	
M	22	6,5	136,5	4,00	101,5	74%	20	10	50%	
M	23	6,5	143,0	6,00	107,5	75%	30	22	73%	
J	24	6,5	149,5	6,00	113,5	76%	30	19	63%	
V	25	6,5	156,0	2,00	115,5	74%	9	4	43%	
S	26	6,5	162,5	5,70	121,2	75%	23	17	74%	
D	27	6,5	169,0	6,00	127,2	75%	30	21	70%	
L	28	6,5	175,5	5,00	132,2	75%	20	19	95%	
M	29	6,5	182,0	5,00	137,2	75%	20	14	70%	
M	30	6,5	188,5	2,00	139,2	74%	10	6	60%	
J	31	6,5	195,0	4,20	143,4	74%	21	8	38%	
			Promd.	4,8			Promd.	22	15	68%

Cuadro 33. Tiempos turno A CAT 3, mes de julio. Fuente: Datos de estudio.

Se encuentra un rendimiento real promedio en el turno 15 viajes, y un rendimiento nominal promedio de 22 viajes lo que es equivalente en efecto a:

Rendimiento promed. esperado turno	1.100	Ton/turno
Rendimiento promed. real turno	750	Ton/turno

Cuadro 34. Rendimiento promedio del turno CAT 3. Fuente: Datos de estudio.

En la figura 39, se puede ver la tendencia de los rendimientos de acuerdo a los viajes programados nominal y los viajes reales del equipo CAT 3 a lo largo del mes de julio.

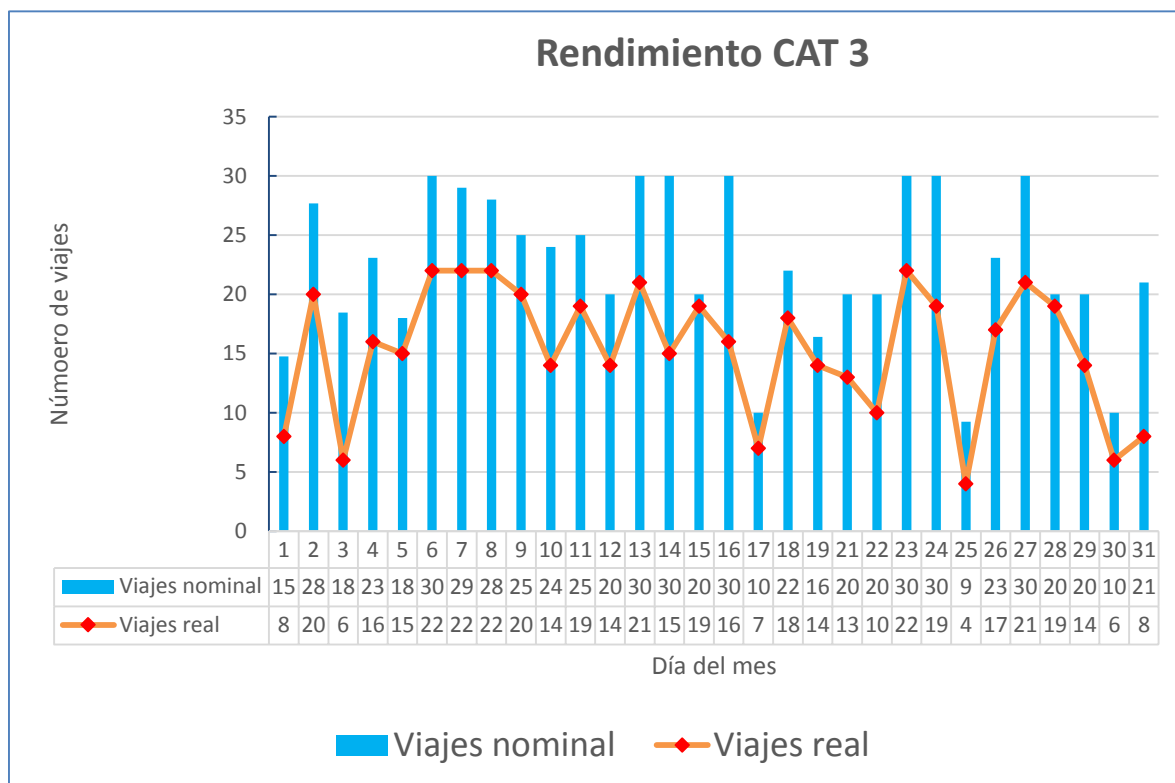


Figura 39. Rendimiento turno CAT 3. Fuente: Datos de estudio

Del gráfico se puede evidenciar una tendencia por debajo del rendimiento esperado en el turno, concordando con el estudio inicial. La eficiencia encontrada fue del **68%** que de acuerdo al cuadro 19, sería una eficiencia **desfavorable** para el sostenimiento de la operación. De igual manera puede apreciarse un cumplimiento promedio del horario de trabajo del **73%**, correspondiente a 4,8 horas de trabajadas de 6,5 programadas. En la siguiente gráfica puede observarse el comportamiento de las horas de trabajo nominales acumuladas versus reales acumuladas, y el cumplimiento de las horas meta versus real para el CAT 3.

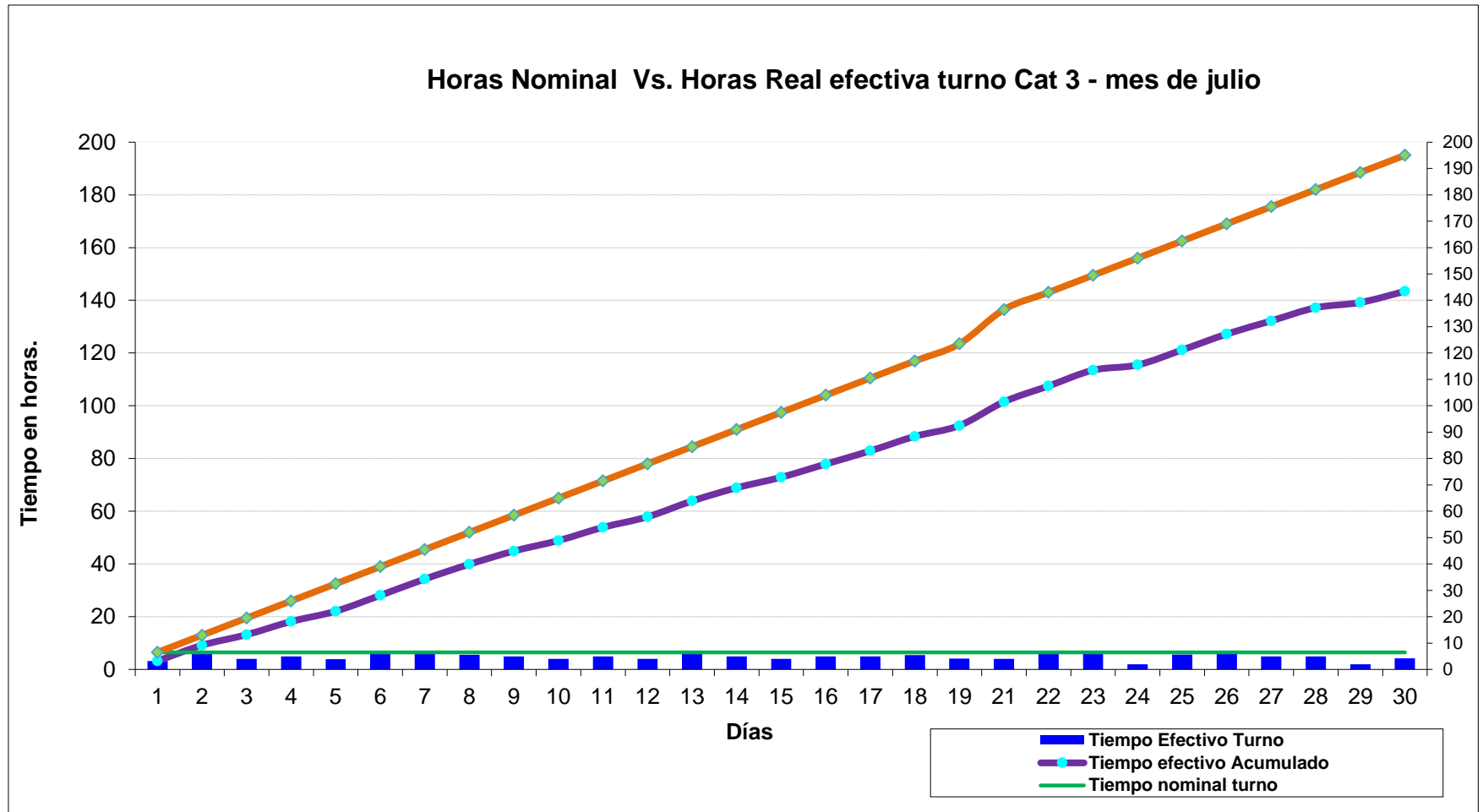


Figura 40. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 3. Fuente: Datos de estudio

6.7.4. Resultados CAT 5

El siguiente cuadro se compone de la información recolectada para la volqueta 773G # 5, que muestra lo siguiente:

Tiempo real promedio por turno A Mes julio-CAT 5										
Presupuesto horas turno/mes:		176	37 h	Por debajo de lo programado						
Horas real turno/mes		139	Cumplimiento de un % :		71%					
Tiempo ciclo transporte a TT Abon		14 min	0,23							
Di a	Fecha	Tiempo nominal turno	Horas nominal acumuladas	Tiempo efectivo Turno	Tiempo efectivo Acumulado	Cumplimiento %	Viajes nominal	Viajes real	Eficiencia %	
M	1	6,5	7	3,00	3	46%	14	8	58%	
M	2	6,5	13	6,00	9	69%	28	18	65%	
J	3	6,5	20	2,60	12	59%	12	4	33%	
V	4	6,5	26	4,70	16	63%	22	17	78%	
S	5	6,5	33	3,60	20	61%	17	13	78%	
D	6	6,5	39	5,80	26	66%	30	22	73%	
L	7	6,5	46	6,00	32	70%	31	22	71%	
M	8	6,5	52	6,20	38	73%	28	21	75%	
M	9	6,5	59	5,90	44	75%	30	20	68%	
J	10	6,5	65	4,40	48	74%	26	16	61%	
V	11	6,5	72	5,10	53	75%	20	20	100%	
S	12	6,5	78	3,30	57	73%	17	11	67%	
D	13	6,5	85	5,70	62	74%	28	22	77%	
L	14	6,5	91	5,00	67	74%	27	15	56%	
M	15	6,5	98	6,10	73	75%	30	17	56%	
M	16	6,5	104	4,60	78	75%	28	21	76%	
J	17	6,5	111	5,30	83	75%	21	20	94%	
V	18	6,5	117	5,60	89	76%	22	22	98%	
S	19	6,5	124	3,90	93	75%	16	13	83%	
L	21	6,5	130	4,90	98	75%	20	13	66%	
M	22	6,5	137	2,20	100	73%	20	10	50%	
M	23	6,5	143	4,10	104	73%	20	18	88%	
J	24	6,5	150	5,50	109	73%	28	18	65%	
V	25	6,5	156	1,60	111	71%	7	5	68%	
S	26	6,5	163	5,70	117	72%	26	21	80%	
D	27	6,5	169	5,60	122	72%	28	17	61%	
L	28	6,5	176	5,50	128	73%	22	21	95%	
M	29	6,5	182	5,20	133	73%	21	16	77%	
M	30	6,5	189	1,70	135	72%	8	6	71%	
J	31	6,5	195	4,20	139	71%	21	13	62%	
			Promd.	4,6			Promd.	22	16	72%

Cuadro 35. Tiempos turno A CAT 5, mes de julio. Fuente: Datos de estudio.

Se encuentra un rendimiento real promedio en el turno 16 viajes, y un rendimiento nominal promedio de 22 viajes lo que es equivalente en efecto a:

Rendimiento promed. esperado turno	1.100	Ton/turno
Rendimiento promed. real turno	800	Ton/turno

Cuadro 36. Rendimiento promedio del turno CAT 5. Fuente: Datos de estudio.

En la figura 41, se puede ver la tendencia de los rendimientos de acuerdo a los viajes programados nominal y los viajes reales del equipo CAT 5 a lo largo del mes de julio.

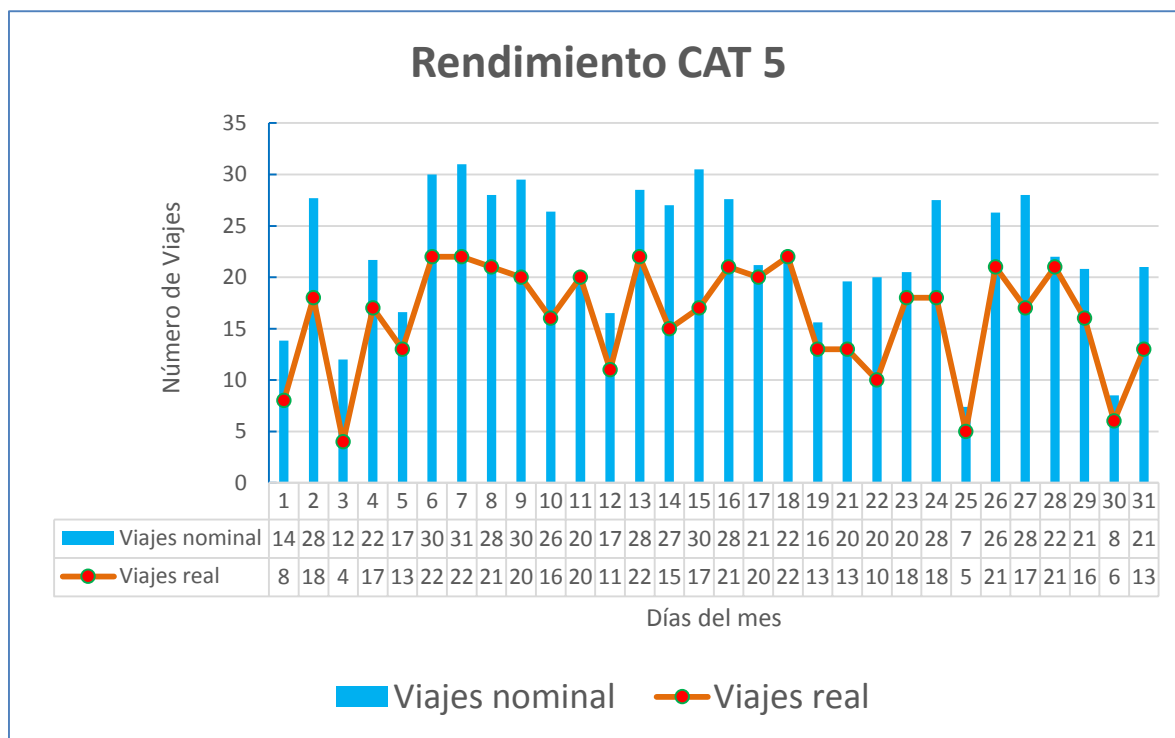


Figura 41. Rendimiento turno CAT 5. Fuente: Datos de estudio

De acuerdo al gráfico se puede deducir la tendencia de bajo rendimiento en comparación al esperado en el turno, concordando con el estudio inicial. La eficiencia encontrada fue del **72%** que de acuerdo al cuadro 19, sería una eficiencia **desfavorable** para el sostenimiento de la operación. De igual manera puede apreciarse un cumplimiento promedio del horario de trabajo del **71%**, correspondiente a 4,6 horas de trabajadas de 6,5 programadas. En la siguiente gráfica puede observarse el comportamiento de las horas de trabajo nominales acumuladas versus reales acumuladas, y el cumplimiento de las horas meta versus real para CAT 5.

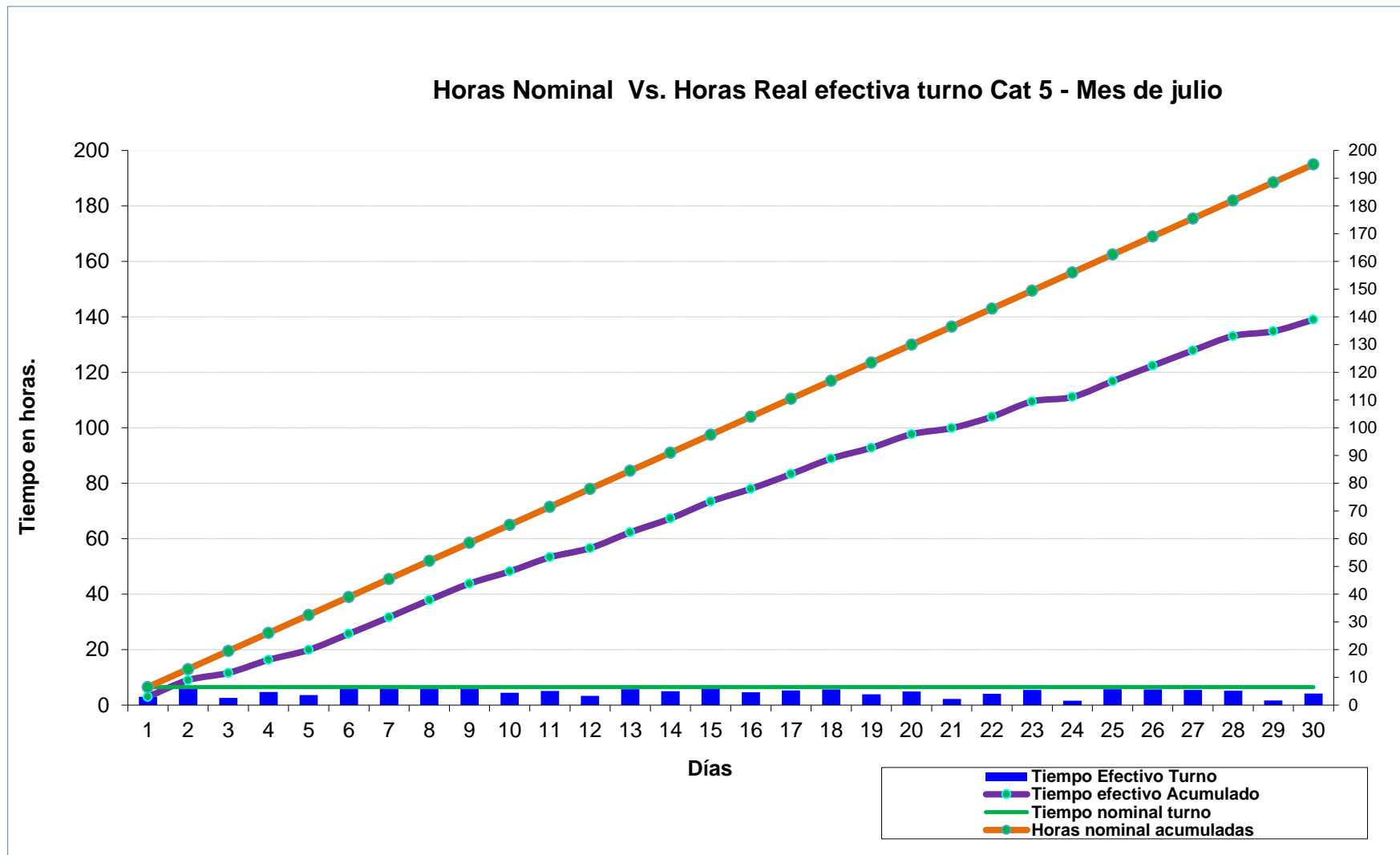


Figura 42. Comportamiento horas nominal vs horas real turno CAT 2. Fuente: Datos de estudio.

6.8. Resultado general del estudio de la operación

En el cuadro 37, se muestra el resultado general de cada uno de los equipos estudiados, en el proceso de acarreo del material desde los frentes hasta la trituradora Abon.

Equipo	Promedio Tiempo efectivo Turno	Cumplimiento o horas promedio turno %	Toneladas promedio o esperadas turno.	Toneladas promedio o reales turno.	Promedio viajes nominal por turno	Promedio viajes reales turno	Eficiencia de la operación
CAT 1	4,6	70%	1102,4	813,3	22	16	73%
CAT 2	4,6	69%	1129,4	790,6	23	16	71%
CAT 3	4,8	73%	1124,5	768,3	22	15	68%
CAT 5	4,6	71%	1112,7	800,0	22	16	72%
	Horas/tur no	Cumplimient o h	Ton/turn o	Ton/turn o	Viajes/tur no	Viajes/tur no	Eficiencia turno
PROM. TOTAL VOLQUETAS	4,7	71%	1117,3	793,1	22	16	71%

Cuadro 37. Resultado estudio general de la operación de las volquetas. Fuente: Datos de estudio

De acuerdo al resultado del estudio se puede apreciar claramente que la operación no consigue alcanzar una eficiencia promedio, llegando a un **71%** de ésta, lo cual según a los análisis anteriores se interpreta como una condición **desfavorable**, también puede apreciarse que el cumplimiento de las horas de trabajo llega apenas a un 71% equivalente a 4,7 horas trabajadas de 6,5 horas programadas. (ver figura 43).

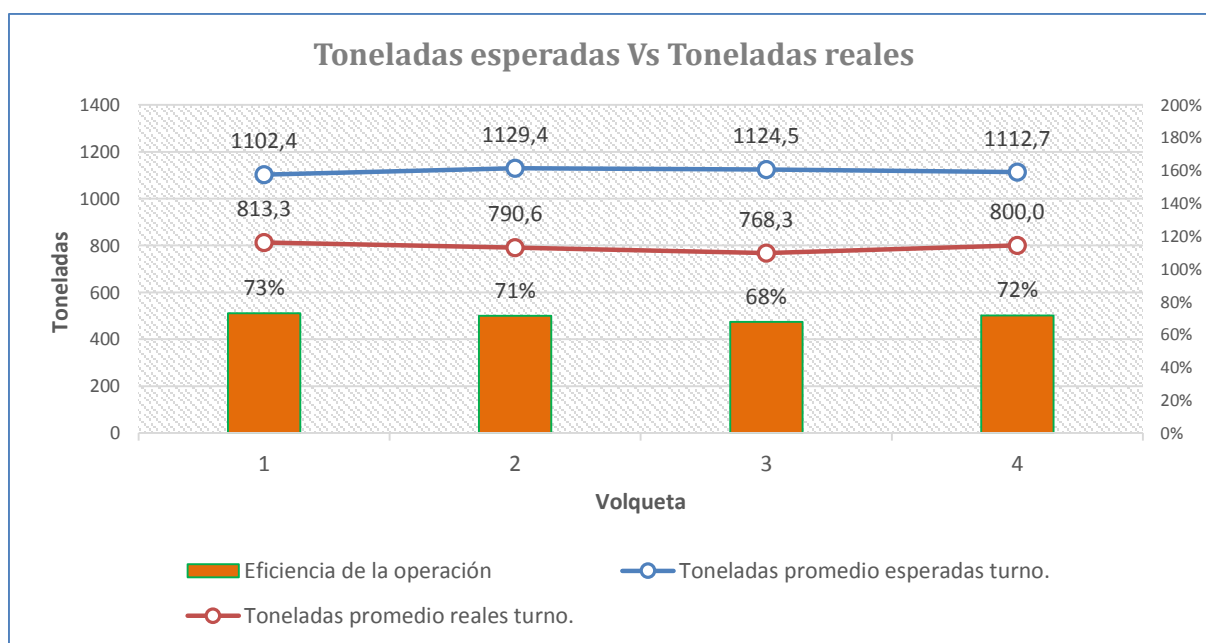


Figura 43. Rendimiento general volquetas. Fuente: Datos de estudio.

Ya visto el resultado de los dos estudios, se puede valorar la condición general del proceso, objeto de mejora y del proyecto, entonces se procede a modelar las condiciones de utilización de la trituradora Abon. Para modelar las condiciones de operación de la trituradora se hará uso de la teoría de líneas de espera.

6.8. ANÁLISIS OPERACIONAL POR MEDIO DE LA TEORÍA DE LÍNEAS DE

ESPERA

La teoría de líneas de espera o teoría de colas, aplicada generalmente a sistemas de negocios, fue aplicada por primera vez en 1909 por el matemático danés Erlang sobre conversaciones telefónicas, para el cálculo del tamaño de centralistas. Después se convirtió en un concepto teórico que consiguió un gran desarrollo, y desde hace algunos años se vuelve a hablar de un concepto aplicado aunque exige un importante trabajo de análisis para convertir las formulas en realidades y viceversa.⁷

El propósito de éste apartado, es modelar las condiciones encontradas en los análisis anteriores y entender el sistema, respondiendo a preguntas planteadas desde el inicio del estudio. Para un mejor entendimiento se adoptará un sistema dinámico constituido por un espacio de configuración con regla de orden secuencial que modela el paso del tiempo, en otras palabras, el sistema de transporte o acarreo del material viene dado por posiciones y velocidades en un determinado tiempo por lo tanto, sólo se calculará la posibilidad de que algo suceda.

Para el presente caso se aplicarán dos sistemas M/M/1 y M/M/S, el primero para el caso de los equipos de cargue y el segundo para cuando la trituradora estuvo funcionando con las 2 y 3 caras de descargue.

6.8.1. Parámetros de la teoría de líneas de espera

- λ = Velocidad de llegada.
- μ = Velocidad de servicio.
- $1/\lambda$ = Tiempo promedio entre llegadas.
- $1/\mu$ = Tiempo promedio servicio.

⁷ José Pedro García. Organización de empresas 2010. Pág. 12

- **L_q** = Número promedio esperado de clientes en la cola (excluye los clientes que están en servicio).
- **L_s** = Número esperado de clientes que se atienden y/o esperan en el sistema.
- **W_q** = Tiempo estimado que emplea un cliente esperando en la cola.
- **W_s** = Tiempo estimado que emplea un cliente esperando más el que emplea siendo atendido (tiempo esperado en el sistema).
- **P₀** = Probabilidad de encontrar el sistema vacío u ocioso.
- **P_n** = Probabilidad de encontrar exactamente n clientes en el sistema.

Distribución de Poisson

Esta distribución es muy frecuente en los problemas relacionados con la investigación operativa, sobre todo en el área de la gestión de colas. Suele describir, por ejemplo, la llegada de pacientes a un ambulatorio, las llamadas a una central telefónica, la llegada de coches a un túnel de lavado, etc. Todos estos casos pueden ser descritos por una variable aleatoria discreta que tiene valores no-negativo entero.⁸

Distribución Exponencial

La distribución de Poisson describe las llegadas por unidad de tiempo y la distribución exponencial estudia el tiempo entre cada una de estas llegadas. Si las llegadas son de Poisson, el tiempo entre ellas es exponencial. La distribución de Poisson es discreta, mientras que la distribución exponencial es continua, porque el tiempo entre llegadas no tiene por qué ser un número entero.

Esta distribución se usa mucho para describir el tiempo entre eventos, específicamente, la variable aleatoria que representa el tiempo necesario para servir a la llegada. Un ejemplo típico puede ser el tiempo que un médico dedica a un paciente.⁹

⁸ Moskowitz H. y Wright G.P. Investigación de Operaciones. Prentice_Hall Hispanoamericana S.A. 1991.

⁹ Moskowitz H. y Wright G.P. Investigación de Operaciones. Prentice_Hall Hispanoamericana S.A. 1991.

6.8.2. Sistema M/M/1

Una cola M/M/1 tiene un único servidor y las tasas de llegada y de servicio tienen una distribución Poisson, es decir una variable aleatoria discreta que tiene valores no negativa entera. Siendo por tanto:

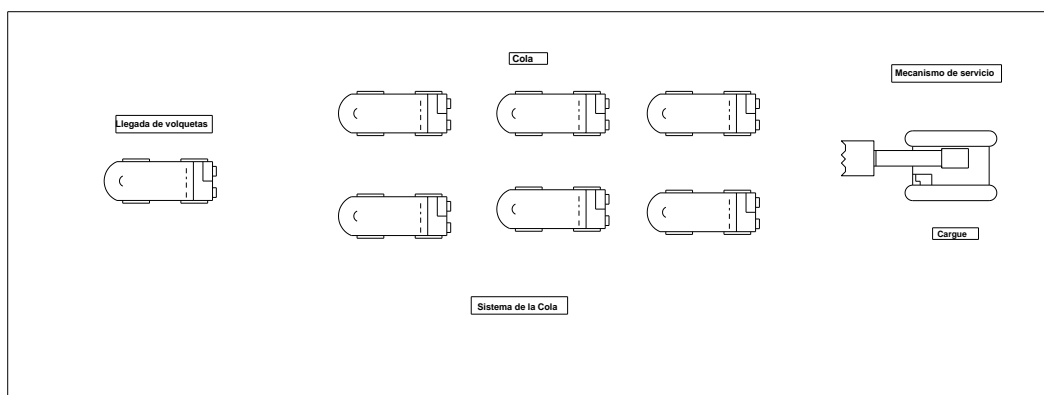


Figura 44. Sistema cola M/M/1. Fuente: Datos de estudio.

La tasa de llegada es $a(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

La tasa de salida es $a(t) = \mu e^{-\mu t}$

Para el presente modelo se considera lo siguiente:

- Las llegadas son aleatorias y provienen de una distribución de probabilidad de Poisson o de Markov.
- Se supone que el tiempo de servicio es también una variable aleatoria que sigue una distribución exponencial o de Markov. Se supone además que los tiempos de servicios son independientes entre sí e independientes del proceso de llegada.
- Sólo hay una unidad de servicio.
- La disciplina de cola se basa en el principio FIFO (primero en llegar primero en salir) y no hay un límite para el tamaño de la cola.
- Las tasas de llegadas y de servicio no cambian con el tiempo. El proceso ha estado en operación el tiempo suficiente para eliminar los efectos de las condiciones iniciales.

$$\lambda_n : \lambda \quad \lambda < \mu$$

Para $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\mu_n : \mu$$

Para $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Probabilidad de encontrar exactamente n clientes en el sistema:

$$P_n = (\lambda/\mu)^n P_0, \quad n \geq 0 \text{ Ecu. 7}$$

- Factor de utilización:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \text{ Ecu. 8}$$

- Probabilidad de encontrar el sistema vacío u ocioso:

$$P_0 = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \text{ Ecu. 9}$$

- Número estimado de clientes que esperan ser atendidos:

$$L_q = \frac{(\lambda)^2}{\mu(\mu - \lambda)} \text{ Ecu. 10}$$

- Número estimado de clientes en el sistema, ya sea esperado en la cola y/o siendo atendidos:

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \text{ Ecu. 11}$$

- Tiempo estimado que emplea un cliente esperando en la cola:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \text{ Ecu. 12}$$

- Tiempo estimado que emplea un cliente en el sistema:

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \text{ Ecu. 13}$$

- Probabilidad de que el tiempo empleado (T) exceda a un valor particular t :

a) Incluyendo el tiempo de servicio.

$$P(T_s > t) = e^{-(\mu-\lambda)t}, t \geq 0 \text{ Ecu. 14}$$

b) Excluyendo el tiempo de servicio.

$$P(T_q > t) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) e^{-(\mu-\lambda)t}, t \geq 0 \text{ Ecu. 15}$$

6.8.3. Sistema M/M/S o servicio en paralelo

Este sistema de servidor en paralelo, se caracteriza porque hay más de un servidor que ejecuta una misma función con la misma eficiencia. Para este caso se modela las llegadas de las volquetas a la trituradora. Siendo por tanto:

La tasa de llegada $a(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

La tasa de servicio $b(t) = \mu_n e^{-\mu_n t}$

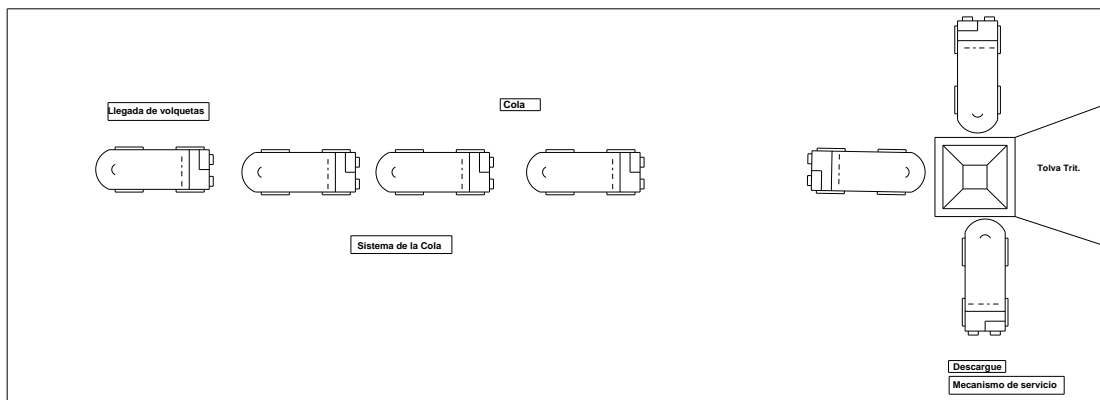


Figura 45. Sistema de cola M/M/S. Fuente: Datos de estudio.

Para este modelo de considera lo siguiente:

- Las llegadas son aleatorias y provienen de una distribución de probabilidad de Poisson o de Markov.
- Se supone que el tiempo de servicio es también una variable aleatoria que sigue una distribución exponencial o de Markov. Se supone además que los tiempos de servicios son independientes entre sí e independiente del proceso de llegada.
- Hay varias unidades de servicio.
- La disciplina de cola se basa en el principio FIFO (primero en llegar primero en salir) y no hay un límite para el tamaño de la cola.

- Las tasas de llegadas y de servicio no cambian con el tiempo. El proceso ha estado en operación el tiempo suficiente para eliminar los efectos de las condiciones iniciales.

$$\lambda_n: \lambda \quad \lambda < S\mu$$

Para $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu & \text{Para } n = 1, 2, 3, \dots, S \\ S\mu & \text{Para } n = S, S + 1, \dots \end{cases}$$

S: número de unidades de servicio.

- Probabilidad de encontrar exactamente n clientes en el sistema:

$$P_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} (\lambda/\mu)^n P_0, & 0 \leq n \leq S \\ \frac{1}{(S! S^{n-S})} (\lambda/\mu)^n P_0, & n \geq S \end{cases} \quad \text{Ecu.16}$$

- Probabilidad de encontrar el sistema vacío:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{S-1} \left[\frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} \right] + \frac{(\lambda/\mu)^S}{S!} \left[\frac{1}{1 - \lambda/S\mu} \right]} \quad \text{Ecu. 17}$$

- Factor de utilización:

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} \quad \text{Ecu. 18}$$

- Número estimado de clientes que esperan ser atendidos:

$$L_q = P_0 \left[\frac{(\lambda/\mu)^{S+1}}{(S-1)!(S - \frac{\lambda}{\mu})^2} \right] \quad \text{Ecu. 19}$$

- Número estimado de clientes en el sistema, ya sea esperado en la cola y/o siendo atendidos:

$$L_s = \left[\frac{\lambda \mu (\lambda/\mu)^s}{(s-1)! (S\mu - \lambda)^2} P_0 \right] + \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \quad \text{Ecu. 20} \quad L_s = L_q + (\lambda/\mu) \quad \text{Ecu. 21}$$

- Tiempo estimado que emplea un cliente esperando en la cola:

$$W_q = \left[\frac{\mu (\lambda/\mu)^s}{(s-1)! (S\mu - \lambda)^2} P_0 \right] \quad \text{Ecu. 22} \quad W_q = L_q/\lambda \quad \text{Ecu. 23}$$

- Tiempo estimado que emplea un cliente en el sistema:

$$W_s = \left[\frac{\mu (\lambda/\mu)^s}{(s-1)! (S\mu - \lambda)^2} P_0 \right] + \left(\frac{1}{\mu} \right) \quad \text{Ecu. 24} \quad W_s = W_q/(1/\mu) \quad \text{Ecu. 25}$$

- Probabilidad de que el tiempo empleado (T) exceda a un valor particular t:

Incluyendo el tiempo de servicio.

$$P(T > t) = e^{-\mu t} \left[1 + \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s}{s!(1-\rho)} \frac{1 - e^{-\mu t (s-1 - (\lambda/\mu))}}{s-1 (\lambda/\mu)} \right] \quad \text{Ecu. 26}$$

Cuando $s - 1 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) = 0$, $\left[\frac{1 - e^{-\mu t (s-1 - (\lambda/\mu))}}{s-1 (\lambda/\mu)} \right]$ Debe sustituirse μt Ecu. 27

$$P(T > t) = [1 - P(T = 0)] e^{-s\mu(1-\rho)t}$$

$$P(T = 0) = \sum_{n=0}^{s-1} P_n$$

6.9. FUNDAMENTO DEL ANÁLISIS

Este modelamiento trata de cuantificar el fenómeno de la espera dentro de la actividad de acarreo de la mina Santa Ana, mediante medidas representativas de eficiencia, como la longitud promedio de la cola, el tiempo promedio de espera en la cola y la utilización promedio de las instalaciones.

A continuación se realiza el modelamiento teniendo en cuenta los datos de tomados durante el estudio, adicionalmente se tienen en cuenta de forma restrictiva patrones de los análisis anteriores.

6.9.1. Análisis por sistema M/M/1

El modelamiento de en éste sistema se realiza para el sistema de cargue en cada uno de los frentes por motivo de las perdidas desmesuradas de tiempo de las volquetas al momento del cargue, a continuación se modelan condiciones suponiendo una rata de servicio más rápida a la rata de llegada de los volquetas dada que unas de las condiciones especiales para la aplicación de la teoría.

De acuerdo al modelo a emplear se especificarán las siguientes condiciones con un factor de acoplamiento muchos mejor para evitar congestiones en el cargue la excavadora le toma **3,5 min** promedio el cargue de cada volqueta, incluyendo el tiempo de posicionamiento; y el tiempo de llegada de cada volqueta durante la observación fue de **4,5 min** en promedio.

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, se toma la distribución de las llegadas como Markovina tipo Poisson, porque no tienen un patrón constante de llegadas de las volquetas, adicionalmente para la distribución del tiempo de servicio se toma como Markoviana tipo exponencial, la selección de las condiciones se establecen de ese sentido, por el componente de los factores humanos, ya claras las condiciones se procede a determinar:

- a). Número estimado de volquetas en el sistema, ya sea esperado en la cola y/o siendo atendidos.
- b). Tiempo estimado que emplea una volqueta esperando en la cola.
- c). Número estimado de volquetas que esperan ser cargadas.
- d). Probabilidad de encontrar el sistema vacío u ocioso.
- e). Probabilidad de encontrar exactamente 5 volquetas en el sistema.

f). Factor de utilización de la excavadora.

g). Tiempo estimado que emplea una volqueta en el sistema.

Datos:

Siendo λ = velocidad de llegada μ = velocidad de servicio

$$\lambda = \frac{1 \text{ Volq}}{4,5 \text{ min}} \dots \lambda = 0,22 \frac{\text{Volq}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \dots \lambda = 13 \text{ volq/h}$$

$$\mu = \frac{1 \text{ Volq}}{3,5 \text{ min}} \dots \mu = 0,28 \frac{\text{Volq}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \dots \mu = 17 \text{ volq/h}$$

a). Número estimado de volquetas en el sistema, ya sea esperado en la cola y/o siendo atendidos.

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \dots L_s = \frac{13}{17 - 13}$$

$$L_s = 3,25 \text{ volq}$$

b). Tiempo estimado que emplea una volqueta esperando en la cola.

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \dots W_q = \frac{13}{17(17 - 13)}$$

$$W_q = 0,19 \text{ h}$$

c). Número promedio de volquetas que esperan ser cargadas.

$$L_q = \frac{(\lambda)^2}{\mu(\mu - \lambda)} \dots L_q = \frac{(13)^2}{17(17 - 13)}$$

$$L_q = 2,48 \text{ volq}$$

d). Probabilidad de encontrar el sistema vacío u ocioso.

$$P_0 = 1 - (\lambda/\mu) \dots P_0 = 1 - (13/17)$$

$$P_0 = 1 - 0,76 \dots P_0 = 24\%$$

e). Probabilidad de encontrar exactamente 5 volquetas en el sistema.

$$P_5 = (\lambda/\mu)^5 P_0 \dots P_5 = (13/17)^5 0,24 \dots P_5 = 6,27\%$$

f). Factor de utilización de la excavadora.

$$\rho = 13/17 \dots \rho = 76\%$$

g). Tiempo estimado que emplea una volqueta en el sistema.

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \dots W_s = \frac{1}{17 - 13} \dots W_s = 0,25 \text{ h}$$

Para definir los resultados del análisis y tener una mejor lectura, se tienen cuenta las condiciones importantes de la operación y sus costos

Costo por mantener la excavadora en servicio (Cep), en espera para producción:

-Capacidad de producción por hora (Cp), Cc= 3,5 min

$$Cp = 17 \text{ vol/h} * 50 \frac{\text{Ton}}{\text{vol}} = 850 \text{ Ton/h}$$

$$Cp = 850 \text{ Ton/h} * 109337 \text{ \$/Ton} \dots Cp = 92'936.450 \text{ \$/h}$$

-Costo por operación hora (Co), salario operador 2'070,000 \$/mes

$$Co = 10.000 \text{ \$/h}$$

-Costo consumo de combustible por hora (Cb),

$$Cb = Ch * Pg$$

$$Cb = 11,6 \text{ gal/h} * 9200 \text{ \$/gal} \dots Cb = 106.720 \text{ \$/h}$$

-Costo por lubricación hora (Cl),

$$Cl = \frac{cld}{19,5h} \dots Cl = \frac{52.045 \text{ \$/dia}}{19,5 \text{ h/dia}} \dots Cl = 2.668 \text{ \$/h}$$

-Costo por mantenimiento (Cm), éste costo sólo incluyen aquellos mantenimiento realizado por medio de las gamas y no averías por eventos fortuitos (250-500-1000).

$$Cm = 12.798 \text{ \$/h}$$

Costo total de la excavadora por hora (Cep), encendida a espera de producción

$$Cep = Cp + Co + Cb + Cl + Cm$$

$$Cep = 92'936.450 \$/h + 10.000 \$/h + 106.720 \$/h + 2.668 \$/h + 12.798 \$/h$$

$$Cep = 93'068.636 \$/h$$

Para simplificar, mantener una excavadora en servicio sin producción o en espera cada hora, tiene un costo de **93'068.636 \$/h** y el costo por mantener la excavadora en servicio y produciendo cada hora es de **132.186 \$/h** y en condiciones ideales de eficiencia, genera activos aproximados de **92'804.264 \$/h**

Costo por mantener las volquetas en el sistema (Cvp), en espera para producción

-Capacidad de producción por hora (Cp), Ca = 13 min

$$Cp = 4 \text{ vol/h} * 50 \frac{\text{Ton}}{\text{vol}} = 200 \text{ Ton/h}$$

$$Cp = 200 \text{ Ton/h} * 109337 \$/\text{Ton} \dots Cp = 21'867.400 \$/h$$

-Costo por operación hora (Co), salario operador 2'070,000 \$/mes

$$Co = 10.000 \$/h$$

-Costo consumo de combustible por hora (Cb),

$$Cb = Ch * Pg$$

$$Cb = 4,6 \text{ gal/h} * 9200 \$/\text{gal} \dots Cb = 42.320 \$/h$$

-Costo lubricación por hora (Cl),

$$Cl = \frac{Cl_d}{19,5h} \dots Cl = \frac{52.045 \$/\text{día}}{19,5 \text{ h/día}} \dots Cl = 2.668 \$/h$$

-Costo por mantenimiento (Cm), éste costo sólo incluye aquellos mantenimiento realizado por medio de las gamas y no averías por eventos fortuitos (250-500-1000-2000-3000-4000-5000).

$$Cm = 4.069 \$/h$$

Costo total de la volqueta por hora (Cep), encendida a espera de producción

$$Cep = Cp + Co + Cb + Cl + Cm$$

$$Cep = 21'867.400 \$/h + 10.000 \$/h + 42.320 \$/h + 2.668 \$/h + 4.069 \$/h$$

$$C_{ep} = 21'926.457 \$/h$$

Para simplificar, mantener una volqueta dentro del sistema en espera durante una hora tiene un costo de **21'926.457 \$/h** y el costo aproximado de por mantener una volqueta en producción durante una hora es de **59.057 \$/h**, generando en condiciones ideales de eficiencia activos de **21'808.343 \$/h**.

Nota: 109.337 \$/Ton corresponde al precio por tonelada de caliza triturada puesta en LS al 22 de junio 2014.

Éstos precios pueden presentar alguna variabilidad si se tiene en cuenta el costo horario por tonelada en la trituradora y sus respectivos índices, es decir: costo por operadores, costo por mantenimiento, costo por consumo energético, costos por lubricación, costos por limpiezas, costos por inspecciones, etc.

Costo de la excavadora en servicio y producción *(Csp)	Costo de la excavadora en servicio y espera para producción *(Cep)	Costo de la volqueta en servicio y producción *(Vsp)	Costo de la volqueta en servicio y en espera *(Vep)
132.186 \$/h	93'068.636 \$/h	59.057 \$/h	21'926.457 \$/h

Cuadro 38. Resumen costos del sistema. Fuente: Datos de estudio. *Nota: Sólo se hace referencia al sistema especificado en el problema

12/04/2014	Performance Measure	Resultados
1	Sistema: M/M/1	Desde Formúla
2	Velocidad de llegada de las volquetas por hora (λ)	13
3	Tasa de servicio de excavadora por hora (μ)	17
4	Tasa efectiva general de llegada de volqueta por hora	13
5	Sistema global efectivo de servicio por hora	13
6	Utilización general del sistema (ρ)	76,47%
7	Número promedio de volquetas en el sistema (Ls)	3,25
8	Número promedio de volquetas haciendo cola (Lq)	2,49
9	Número promedio de volquetas en la cola para un sistema ocupado (Lb)	3,25
10	Tiempo promedio que gasta una volqueta en el sistema (Ws)	0,25 hours
11	Tiempo promedio que espera una volqueta en la cola (Wq)	0,19 hours
12	Tiempo promedio que gasta una volqueta en la cola para un sistema ocupado (Wb)	0,25 hours
13	Probabilidad de que el sistema esté desocupado u ocioso (Po)	23,53%
14	Probabilidad de que una volqueta que llegue espere (Pw) o que el sistema esté ocupado (Pb)	76,47%
15	Número promedio de volquetas que abandonaron el sistema	0
16	Costo total por excavadora ocupada por hora	\$ 1.011.083,40
17	Costo total de excavadora desocupada por hora	\$ 21.898.500,00
18	Costo total de espera de volqueta por hora	\$ 54.493.700,00
19	Costo total de volqueta en producción por hora	\$ 45.161,23
20	Costo total por hora por volquetas que abandonaron el sistema	\$ 0
21	Costo total por espacio de colas por hora	\$ 0
22	Costo total del sistema por hora	\$ 76.538.450,00

Cuadro 39. Queuing Analysis with WinQSB. Fuente: Datos de estudio

De acuerdo al análisis del sistema anterior, puede decirse, que que aunque simulando condiciones de servicio y de llegada de volquetas al sistema, en condiciones de utilización cercanas al 80%, presenta costos por mantener en espera a las volquetas de **54'493.700 \$/h**. Relacionando el presente caso donde la tasa de utilización del sistema está por encima del 100% los costos por mantener esperando a la flota de volquetas en el sistema aumenta de igual manera, es ahí donde radica la importancia de éste estudio para demostrar que una buena distribución de la flota puede estar marcando de forma positiva las ganancias de la compañía.

6.9.2. Análisis por sistema M/M/S

El modelamiento de éste sistema se realiza teniendo en cuenta, condiciones reales encontradas en el punto de servicio la trituradora Abon, con el objetivo de conocer las condiciones, verificar las pérdidas en el sistema y mejorarlo.

Partiendo de las condiciones encontradas, se constató que el tiempo promedio de servicio de la trituradora o de descargue en tolva por cada uno de los tres servidores es de **2,03 min**, incluyendo el tiempo de posicionamiento y tiempo medio en triturar el material vaciado, y el tiempo promedio de llegada de cada volqueta al sistema es de **12,6 min**.

Los datos anteriores corresponden al registro tomado en campo y consignado en los ciclos y el Pareto.

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, se toma la distribución de las llegadas como Markovina tipo Poisson, porque no tienen un patrón constante de llegadas de las volquetas, adicionalmente para la distribución del tiempo de servicio se toma como Markoviana tipo exponencial y 3 canales de servicio, la selección de las condiciones se establecen de ese sentido, por el componente de los factores humanos, ya claras las condiciones se procede a determinar:

- a) λ = velocidad de llegada
- b) μ = velocidad de servicio
- c) Factor de utilización
- d) Probabilidad de encontrar el sistema vacío

e) Número estimado de clientes en el sistema, ya sea esperado en la cola y/o siendo atendidos

f) Tiempo estimado que emplea un cliente en el sistema

g) Número estimado de clientes que esperan ser atendidos

h) Tiempo estimado que emplea un cliente esperando en la cola

Datos:

a) Velocidad de llegada

$$\lambda = \frac{1 \text{ Volq}}{12,6 \text{ min}} \dots \lambda = 0,07936 \frac{\text{Volq}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \dots \lambda = 5 \text{ vol/h}$$

b) Velocidad de servicio

$$\mu = \frac{1 \text{ Volq}}{2,03 \text{ min}} \dots \mu = 0,4926 \frac{\text{Volq}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \dots \mu = 30 \text{ volq/h}$$

c) Factor de utilización

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \dots \rho = \frac{5}{3*30} \dots \rho = 5,55\%$$

d) Probabilidad de encontrar el sistema vacío u ocioso

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \left[\frac{[\lambda/\mu]^n}{n!} \right] + \frac{[\lambda/\mu]^s}{s!} \left[\frac{1}{1 - \lambda/s\mu} \right]}$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^2 \left[\frac{[5/30]^n}{n!} \right] + \frac{[5/30]^3}{3!} \left[\frac{1}{1 - 5/3 * 30} \right]}$$

$$P_0 = 0,846 \dots P_0 = 84,6\%$$

e) Número estimado de clientes en el sistema, ya sea esperado en la cola y/o siendo atendidos

$$L_s = \left[\frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^s}{(s-1)!(S\mu - \lambda)^2} P_0 \right] + \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)$$

$$L_s = \left[\frac{5 * 30(5/30)^3}{(3-1)!(3*30-5)^2} (0.846) \right] + \left(\frac{5}{30} \right)$$

$$L_s = 0,166640$$

f) Tiempo estimado que emplea un cliente en el sistema

$$W_q = L_q/\lambda \dots W_q = 0/5 \dots W_q = 0$$

g) Número estimado de clientes que esperan ser atendidos

$$L_q = P_0 \left[\frac{(\lambda/\mu)^{s+1}}{(s-1)!(s-\frac{\lambda}{\mu})^2} \right] \dots L_q = 0,846 \left[\frac{(5/30)^4}{2!(3-\frac{5}{30})^2} \right] \dots L_q = 0$$

h) Tiempo estimado que emplea un cliente esperando en la cola

$$L_s = L_q + (\lambda/\mu) \dots L_s = 0$$

Para definir los resultados del análisis y tener una mejor lectura, se tienen cuenta las condiciones importantes de la operación y sus costos.

Capacidad de producción de servidor por hora.

$$C_p = 30 \text{ vol/h} * 50 \frac{\text{Ton}}{\text{vol}} = 1500 \text{ Ton/h} \text{ Limitante máximo productivo } 2500 \text{ ton/h}$$

$$C_p(\$) = 1500 \text{ Ton/h} * 109337 \text{ \$/Ton} \dots C_p = 164'005.500 \text{ \$/h}$$

Llegando al límite máximo productivo se tiene:

$$C_p \text{ máx}(\$) = 2500 \text{ Ton/h} * 109337 \text{ \$/Ton} \dots C_p = 273'342.500 \text{ \$/h}$$

-Costo por operación hora (Co), salario operador 2'070,000 \$/mes, cuenta con 3 operadores. Uno de cabina y dos de limpieza en el equipo

$$C_o = 30.000 \text{ \$/h} \text{ por los tres operarios}$$

-Costo consumo de energía por hora (Ce),

$$C_e = (12600 \frac{\text{Kw}}{\text{h}} * 500 \text{ \$})/19,5 \dots C_e = 323.076 \text{ \$/h}$$

-Costo mantenimiento por hora (Cm),

$$Cm = \frac{Cmd}{19,5h} \dots Cm = \frac{1'703.703 \$/dia}{19,5 h/dia} \dots Cm = 87.369 \$/h$$

-Costo por lubricación (Cl),

$$Cl = \frac{Cld}{19,5h} \dots Cl = \frac{248.148}{19,5h} \dots Cl = 12.725 \$/h$$

Costo total de este sistema (Cept), trituradora encendida a espera de producción

$$Cept = Cp \text{ máx} + Co + Ce + Cm + Cl$$

$$Cept = 273'342.500 \$/h + 30.000 \$/h + 323.076 \$/h + 87.369 \$/h + 12.725 \$/h$$

$$Cept = 273'795.670 \$/h$$

Para generar una idea de los costos equivalentes al dejar éste sistema en espera para ser alimentado de material, se tiene claro como servidor la trituradora Abon y como servidos las volquetas que arriban al descargue del material.

Para simplificar, mantener en espera la trituradora se deja de producir **273'795.670 \$/h** y además se generan costos por conceptos de operación, consumo de energía, lubricación y mantenimiento de **453.170 \$/h** y demás teniendo en cuenta las perdidas por espera de cada volqueta en los frentes para ser cargado de **21'926.457 \$/h**.

Si bien, el costo por espera de cada volqueta en el frente tiene el valor adicional por tonelada triturada, este puede tenerse en cuenta puesto que las condiciones iniciales de la trituradora se toman apenas en un 60%, es decir que la capacidad de producción puede ser mayor a la indicada, o de otra forma sólo se toma el costo por producción en cada volqueta de **59.057 \$/h** y se deja la claridad de las condiciones de producción tomada.

Nota: 109.337 \$/Ton corresponde al precio por tonelada de caliza triturada puesta en LS al 22 de junio 2014. (*Este valor se estima a partir de cualquier otra actividad que pueda estar realizando la volqueta si no estuviese parada en éste sistema).

Costo de la trituradora en espera de alimentación (Ctp)	Costo de la trituradora en servicio y producción (Cts)	Costo de la volqueta en servicio y producción (Vsp)	Costo de la volqueta en servicio y en espera *(Vep)
273'795.670 \$/h	453.170 \$/h	59.057 \$/h	21'926.457 \$/h

Cuadro 40. Resumen costos del sistema. Fuente: Datos de estudio

Para resumir las condiciones presentes en el sistema se muestra en el cuadro 40.

12/04/2014	Performance Measure	Resultados
1	Sistema: M/M/3	Desde Formúla
2	Velocidad de llegada de las volquetas por hora (λ)	5
3	Tasa de servicio de cada cara trituradora por hora (μ)	30
4	Tasa efectiva general de llegada por hora	5
5	Sistema global efectivo de servicio por hora	5
6	Utilización general del sistema de trituración	5,56%
7	Número promedio de volquetas en el sistema (L_s)	0,17
8	Número promedio de volquetas haciendo cola (L_q)	0
9	Número promedio de volquetas en la cola para un sistema ocupado (L_b)	0,06
10	Tiempo promedio que gasta una volqueta en el sistema (W_s)	0,03 hours
11	Tiempo promedio que espera una volqueta en la cola (W_q)	0 hours
12	Tiempo promedio que gasta una volqueta en la cola para un sistema ocupado (W_b)	0,01 hours
13	Probabilidad de que el sistema esté desocupado u ocioso (P_o)	84,65%
14	Probabilidad de que una volqueta que llegue espere (P_w) o que el sistema esté ocupado (P_b)	0,07%
15	Número promedio de volquetas que abandonaron el sistema	0
16	Costo total por trituradora ocupada por hora	\$ 75.528,34
17	Costo total de trituradora desocupada por hora	\$ 775.754.400,00
18	Costo total de espera de volqueta por hora	\$ 891,97
19	Costo total de volqueta en producción por hora	\$ 9.842,83
20	Costo total por hora por volquetas que abandonaron el sistema	\$ 0
21	Costo total por espacio de colas por hora	\$ 0
22	Costo total del sistema por hora	\$ 775.840.700,00

Cuadro 41. Queuing Analysis with WinQSB. Fuente: Datos de estudio

De acuerdo a los datos obtenidos se evidencia la importancia de mantener controlado la actividad productiva y el aprovechamiento de cada uno de los recursos del sistema.

6.9.3. Diagnóstico económico

Luego del análisis previo, es necesario realizar el diagnóstico económico para saber el impacto económico que generan éstas condiciones del sistema y hacer una nueva distribución de la flota de volquetas.

De acuerdo al análisis anterior, las condiciones presentes en el sistema significan para la compañía en conceptos de pérdidas y no productividad \$ **775'840.700,00 COP** y se resume de manera detallada mes a mes en el cuadro que sigue.

Cabe resaltar que éstos valores se presentan de acuerdo a las condiciones encontradas en campo y según las condiciones presentes en el sistema, también que los costos anteriormente mencionado no incluye:

- Factores físicos como: Accidentes diversos, desastres o eventos fortuitos de la naturaleza, elementos de seguridad
- Impuestos: Regalías.

Meses del año	Número de horas perdidas en el sistema (h)	Costo de horas en el sistema (\$) COP	Costo de horas en el sistema USD*
Enero	1,42	\$ 1.101.693.794,00	\$ 462.137,33
Febrero	4,03	\$ 3.126.638.021,00	\$ 1.311.558,75
Marzo	7,62	\$ 5.911.906.134,00	\$ 2.479.920,02
Abril	8,1	\$ 6.284.309.670,00	\$ 2.636.135,45
Mayo	9,77	\$ 7.579.963.639,00	\$ 3.179.634,99
Junio	6,85	\$ 5.314.508.795,00	\$ 2.229.324,43
Julio	5,88	\$ 4.561.943.316,00	\$ 1.913.639,07
Agosto	1,6	\$ 1.241.345.120,00	\$ 520.718,11
		\$ 35.122.308.489,00	\$ 14.733.068,15

Cuadro 42. Diagnóstico económico. Fuente: Datos de estudio. *TRM Dólar = 2383,91

De acuerdo a la información en el cuadro anterior, la compañía ha dejado de percibir **14'733.068 USD** hasta el mes de Agosto en lo corrido del año 2014.

En conocimiento de la situación presente, se procede a verificar las condiciones y hacer un mejoramiento en el sistema para optimizar el proceso productivo.

7. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN: MEJORA DE LA EFICIENCIA DE LAS ACTIVIDADES OPERACIONALES DE CANTERA.

El propósito en éste apartado es definir la metodología para optimizar las actividades operacionales, establecer un orden productivo y garantizar el adecuado uso de la maquinaria.

- Productividad: Es la relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, maquinaria, entre otros.
- Eficacia o efectividad: Es el hecho de lograr los resultados esperados utilizando todos los medios para la consecución del objetivo.
- Eficiencia: Es lograr los resultados deseados, en el menos tiempo posible y con la menor cantidad de recursos posibles para llevarlo a cabo.

$$\frac{\$}{\text{Ton}} = \frac{\$/h}{\text{Ton/h}} = \frac{\text{Costo horario}}{\text{Productividad}} = \frac{\frac{\text{Operador}}{\text{Componentes de equipo (Mangueras, ejes, Motor, etc.)}}}{\frac{\text{Espera de Volquetas (Combustible),}}{\frac{\text{Espera de Volqueta (Rendimiento)}}{\frac{\text{Señalización de vías}}{\frac{\text{Diseño de Bancos (tiempo de maniobra)}}{\text{Paradas prolongadas (Alimentación, refrigerios)}}}}}}$$

7.1. PROGRAMACIÓN JORNADA PRODUCTIVA Y CAMBIO A TURNO DE 12 HORAS.

Se encontró una falencia en el desarrollo productivo del turno, puesto que no se ve una clara organización para dar cumplimiento del tiempo base operativo de los equipos de cantera.

Como se evidenció anteriormente el tiempo destinado como paros programado (Inicio de turno, cambio de turno, revisión de equipo, alimentación, etc.) que dentro del turno corresponde 1,5 horas y actualmente se tiene un tiempo promedio de 3,41 horas.

En 1995 se desarrolló un estudio de optimización de operaciones mineras a través de la firma *London Consulting*, en el cual se estableció además de muchos

procedimientos, la discriminación del tiempo total de cada turno en las siguientes actividades.

En el siguiente cuadro se toma como referencia los tres turnos de 8 horas mencionados en numerales anteriores de la siguiente manera.

Turno A 07:00 →15:00

Turno B 15:00 →23:00

Turno C 23:00→07:00

Se hace relación al turno A y las diferentes actividades con su respectivo tiempo,

ACTIVIDAD	INICIO	FIN	TIEMPO
LLEGADA BUS		06:45	
CAMBIO DE ROPA Y MARCA	06:45	07:00	00:15
CHARLA DE SEGURIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL	07:00	07:05	00:05
REVISION DE EQUIPO	07:05	07:15	00:10
TRANSPORTE FRENTE DE EXPLOTACIÓN	07:15	07:20	00:05
TRABAJO	07:20	10:45	03:25
ENFRIAMIENTO DE EQUIPOS	10:45	10:50	00:05
TRANSPORTE A CASINO	10:50	11:00	00:10
ALMUERZO	11:00	11:20	00:20
TRANSPORTE FRENTE DE EXPLOTACIÓN	11:20	11:30	00:10
TRABAJO	11:30	14:40	03:10
ENFRIAMIENTO DE EQUIPOS	14:40	14:45	00:05
LLEGADA DE RUTAS	14:45	14:55	00:10
MARCA Y CAMBIO DE ROPA	14:55	15:00	00:05
SALIDA BUS		15:00	08:15

Cuadro 43. Tiempos establecidos en el estudio London Consulting. Fuente: Datos de estudio.

En el cuadro 43, se observa, los tiempos estipulados para cada actividad y se hace especial énfasis en el tiempo destinado para la revisión de equipo, donde según el estudio de la firma *London Consulting* se toman 5 minutos y lo aconsejado por Caterpillar para una buena revisión son 10 minutos, como el tiempo total de trabajo es de 06:35 (hh:mm), se procede a tomar 5 minutos adicionales para completar los 10 minutos de la revisión y dejar como tiempo efectivo de trabajo 06:30 (hh:mm).

ACTIVIDAD LONDON	Tiempo London (hh:mm)	Tiempo Actual (hh:mm)	ACTIVIDAD ACTUAL	Tiempo de Exceso (hh:mm)
CHARLA DE SEGURIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL	00:05	00:30	RECEPCION DE TURNO, CHARLA, TANQUEO, DISTRIBUCION PERSONAL	00:25
REVISIÓN DE EQUIPOS	00:10	00:10	REVISION DE EQUIPO	00:00
TRANSPORTE FRENTE DE EXPLOTACIÓN	00:10	00:15	TRANSPORTE FRENTE DE EXPLOTACIÓN	00:05
ENFRIAMIENTO DE EQUIPOS	00:05	00:07	ENFRIAMIENTO DE EQUIPOS	00:02
TRANSPORTE A CASINO	00:10	00:13	TRANSPORTE A CASINO	00:03
ALIMENTACIÓN	00:20	00:48	ALIMENTACIÓN	00:28
TRANSPORTE FRENTE DE EXPLOTACIÓN	00:10	00:15	TRANSPORTE FRENTE DE EXPLOTACIÓN	00:05
TRABAJO EFECTIVO	06:30	04:35	TRABAJO EFECTIVO	
ENFRIAMIENTO DE EQUIPOS	00:05	00:07	ENFRIAMIENTO DE EQUIPOS	00:02
CAMBIO DE TURNO	00:15	01:00	CAMBIO DE TURNO	00:45
TOTAL	08:00	08:00	TOTAL	01:55

Cuadro 44. Comparación datos London con datos tomados en campo. Fuente: Datos de estudio.

Con base a los datos tomados en campo, se revisaron los tiempos promedios destinados para cada actividad y se compararon con los propuestos en el estudio de *London Consulting*, el resultado se muestra a continuación. (Ver cuadro 45).

De acuerdo a los datos tomados y promediados, se pudo evidenciar que la mayor pérdida de tiempo se está registrando a la hora de la recepción del turno, alimentación y transporte hasta los frentes de explotación. Con el fin de obtener resultados más objetivos se centrará la atención en esas actividades que mayor tiempo acaparan y verificas las distancias hasta los frentes, analizando las distancias variables y el tiempo real meritorio.

Cabe mencionar que los datos en su totalidad fueron registrados en el turno A y una minoría en el turno B, pero se pudo evidenciar que la tendencia en otros turnos era a incrementar, por ende se decidió hacer un estudio más mesurado.

Dando credibilidad al estudio, se tendría por lo tanto en concepto de tiempos perdidos en los tres turnos de 05:45 (hh:mm), equivalente al **29,5%** del tiempo destinado por día en actividad productiva.

Dicho en otras palabras, el margen productivo rondaría una efectividad aproximada del **70,5%** sin contar paros por otras causas.

Haciendo una modificación del cuadro propuesto en el estudio de *London Consulting*, a turnos de 12 horas se tendría (ver cuadro 45).

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>INICIO</u>	<u>FIN</u>	<u>TIEMPO</u>
LLEGADA DEL BUS		06:50	
CAMBIO DE ROPA Y MARCA	06:50	07:00	00:10
CHARLA DE SEGURIDAD, ENTREGA DE TURNO Y DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL	07:00	07:10	00:10
REVISIÓN DE EQUIPOS Y TANQUEO	07:10	07:20	00:10
TRANSPORTE PERSONAL FRENTES DE EXPLOTACIÓN	07:20	07:26	00:06
TRABAJO	07:26	11:20	03:54
TRANSPORTE A CASINO	11:20	11:26	00:06
ALIMENTACIÓN	11:26	11:46	00:20
TRANSPORTE PERSONAL FRENTES DE EXPLOTACIÓN	11:46	11:52	00:06
TRABAJO	11:52	16:00	04:08
PAUSA ACTIVA	16:00	16:10	00:10
TRABAJO	16:10	18:20	02:10
TRANSPORTE A CASINO	18:20	18:28	00:08
ALIMENTACIÓN Y CAMBIO DE TURNO	18:28	19:00	00:32
SALIDA DEL BUS		19:05	

Cuadro 45. Propuesta tiempo de trabajo. Fuente: Datos de estudio.

Cumpliendo los horarios ahí programados tendrá un tiempo efectivo de trabajo de 10:12 (hh:mm), equivalente al **85%** del tiempo total del turno.

Teniendo en cuenta los horarios mencionados anteriormente y la distribución del personal para tres grupos, se propone la siguiente rotación modelo prueba para 3 meses. (ver cuadro 46)

En la propuesta de distribución de tiempo anterior, a diferencia de la indicada en el estudio de *London Consulting*, no se tiene en cuenta el tiempo de enfriamiento de equipos, tiempo que en éste caso se toma como referencia al tiempo de transporte de los trabajadores hasta el casino y el tiempo de pausa activa.

La implementación del turno de 12 horas dando cumplimiento a los horarios planteados, además de mantener horarios continuos de productividad, se mejorara la eficiencia y prolonga la vida de la maquinaria.

En concenso con el grupo de ingenieros de producción, operarios e iniciativa del ingeniero Ferney Cano, la propuesta fue puesta en marcha desde el 4 de Agosto de 2014, los resultados se presentan a continuación (ver cuadros 47 y 48):

DESCRIPCIÓN TURNOS 8 HORAS	INICIO	FIN	TURNOS	PROD. PROMEDIO TURNOS (Ton)	TOTAL PILA (Ton)
PILA 5	01-jul-14	02-jul-14	5	3342	16710
PILA 6	04-jul-14	05-jul-14	5	3788	18972
PILA 5	12-jul-14	14-jul-14	5	4018	16288
PILA 6	15-jul-14	16-jul-14	5	4190	20950
PILA 5	18-jul-14	19-jul-14	4	4707	18830
PILA 6	21-jul-14	22-jul-14	4	4613	18454
PILA 5	23-jul-14	24-jul-14	5	3790	18951
PILA 6	26-jul-14	27-jul-14	4	4995	19982
PILA 5	28-jul-14	29-jul-14	4	4414	17657
PILA 6	31-jul-14	01-ago-14	5	3972	19727

Cuadro 47. Relación turnos requeridos y producción promedio turno, Turno de 8 horas. Fuente: Datos de estudio.

DESCRIPCIÓN	INICIO	FIN	TORNOS	PROD. PROMEDIO TURNOS (Ton)	TOTAL PILA (Ton)
PILA 6	05-ago-14	07-ago-14	3	5025	15075
PILA 5	06-ago-14	09-ago-14	3	4982	17730
PILA 6	09-ago-14	11-ago-14	3	6040	18121
PILA 5	11-ago-14	14-ene-14	3	4814	18757
PILA 6	14-ago-14	16-ago-14	3	6104	18841
PILA 5	16-ago-14	18-ago-14	3	5837	17512
PILA 6	18-ago-14	20-ago-14	3	6806	20419
PILA 5	20-ago-14	22-ago-14	3	6344	19032
PILA 6	22-ago-14	24-ago-14	3	6118	20622
PILA 5	24-ago-14	26-ago-14	3	5996	18028

Cuadro 48. Relación turnos requeridos y producción promedio turno, Turno de 12 horas. Fuente: Datos de estudio.

Revisando los datos se evidencia que para la jornada de 8 horas, los turnos requeridos para completar pila presentan una variabilidad en comparación a las jornadas de 12 horas. Además, se analizan los promedios productivos y el resultado muestra mucho mejores ciclos productivos que en la jornada de 8 horas.

El mayor aprovechamiento del tiempo refleja una mejoría y condiciones en las cuales el sistema productivo presenta menos interrupciones por paros programados en horarios picos de producción.

El promedio de turnos requeridos para jornadas de 8 horas es de 4,6 turnos y en jornadas de 12 horas tiende a ser constante a 3 turnos.

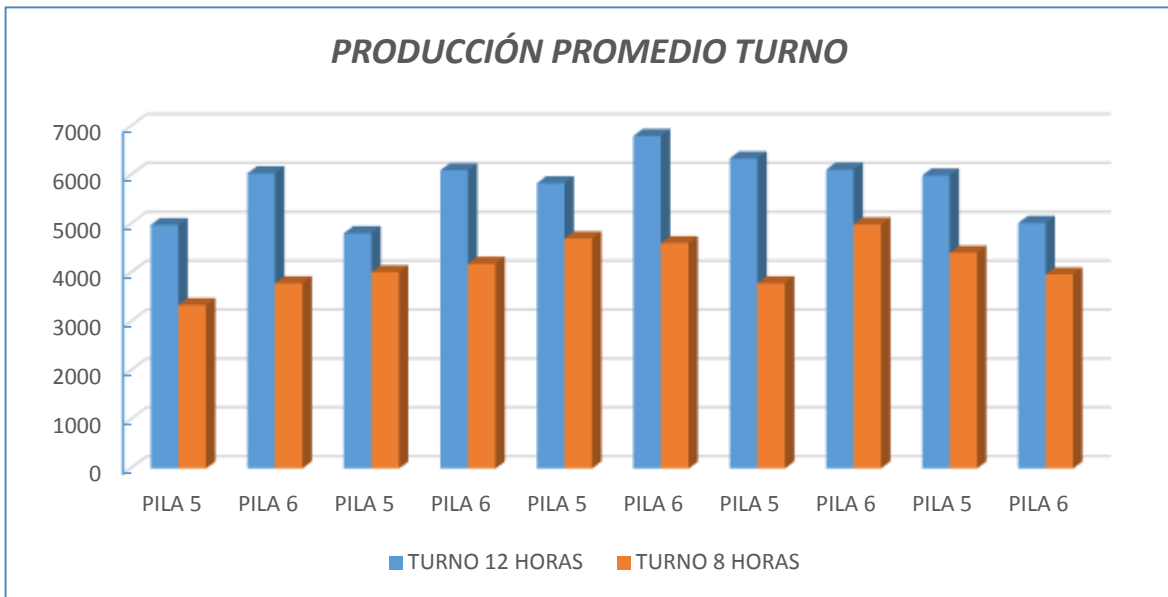


Figura 46. Producción promedio turnos 12 horas vs turnos 8 horas. Fuente: Datos de estudio.

En la figura 45, se muestra la clara tendencia de mejoría en los promedios productivos en turnos de 12 horas que en términos de eficiencia se traduciría en una mejora del **42%**.

Además de mejoras en la eficiencia, la implementación de los turnos de 12 horas incrementa los espacios de capacitaciones y tiempos de descanso de la siguiente manera.

- Tiempos de capacitaciones mejora de 2 a 8 horas semanales equivalente a un aumento del 300%.
- Descanso trabajador mejora de 12 a 39 días trimestral equivalente a una mejora del 225%.

Para formalizar la nueva joranda de 12 horas es importante incluir ciertas actividades que de alguna manera optimizaran el proceso productivo y mantendrán orden en la eficiencia de las operaciones, éstas aunque parezcan sencillas generan en algunos momentos pérdidas desmesuradas de tiempo.

Recomendaciones guías de aplicación del horario laboral y turno de 12 horas

- ❖ La llegada de la ruta debe ser 10 minutos antes del inicio del turno
- ❖ Los planes diarios de producción deben estar correctamente actualizados, para que el ingeniero de turno disponga del movimiento de los equipos a los frentes o dado el caso el turno esté terminando y el plan de producción sea cambiado el ingeniero saliente debe dejar los equipos ubicados en los frentes señalados.
- ❖ Mantener una comunicación efectiva con el equipo de planeamiento y mantenimiento, generando así un ambiente de confianza y un equipo operativo eficiente.
- ❖ Mantener la camioneta para la movilización del ingeniero de turno a total disposición del proceso productivo.
- ❖ Mantener informes de producción al día y así verificar el correcto funcionamiento de las actividades y promover por la optimización de las operaciones cuando lo requieran.
- ❖ Mejorar la demarcación de los frentes de explotación, para que queden fácilmente identificables por los operarios y el ingeniero de turno.
- ❖ Mejorar el cambio de turno, el ingeniero saliente debe mantener un registro de los frentes trabajados con las calidades, así como dejar sugerencias de producción al ingeniero entrante.

7.2. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS DE CARGUE Y TRANSPORTE.

Un factor determinante de la eficiencia en la operación es la correcta distribución de los equipos de transporte a cada unidad de carga. Dicho de ésta manera se debe mantener un correcto orden e importante atención a éste apartado.

7.2.1. Objetivo y procedimiento

El diseño de la distribución de los equipos persigue dos objetivos primordiales que son:

- Minimizar el costo por unidad de peso.
- Maximizar la producción por unidad de tiempo.

Generalmente estos dos objetivos no son coincidentes y pueden ir en relación al *Factor de Acoplamiento o Match Factor*.

Factor de acoplamiento: Es la cantidad de volquetas necesarias que deben ser asignados por cada unidad de carga¹⁰.

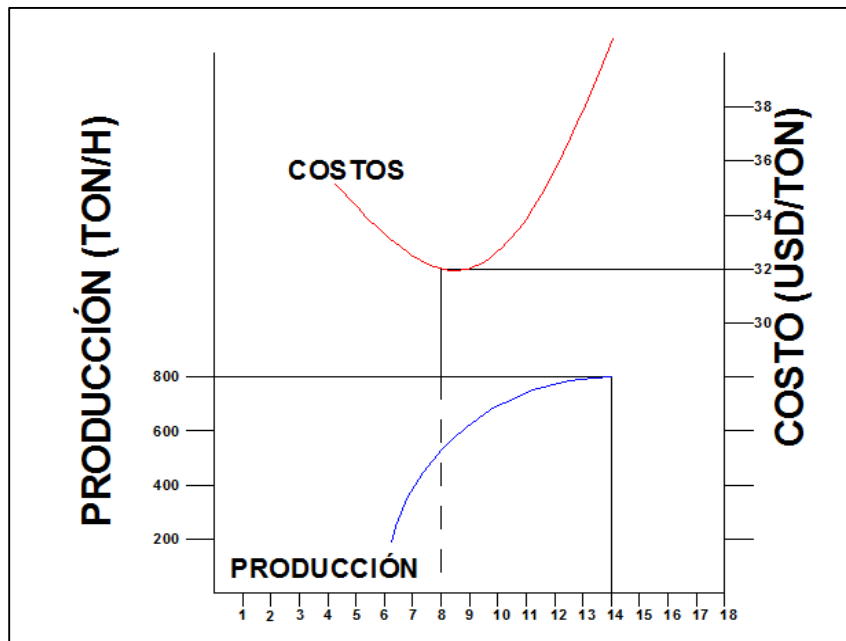


Figura 47. Máxima producción y mínimo coste no coincidente. Fuente: Datos de estudio.

¹⁰ Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. Pág. 525-529.

A continuación se muestra la variación de la eficiencia de unidades de carga y transporte, en función del grado de acoplamiento.

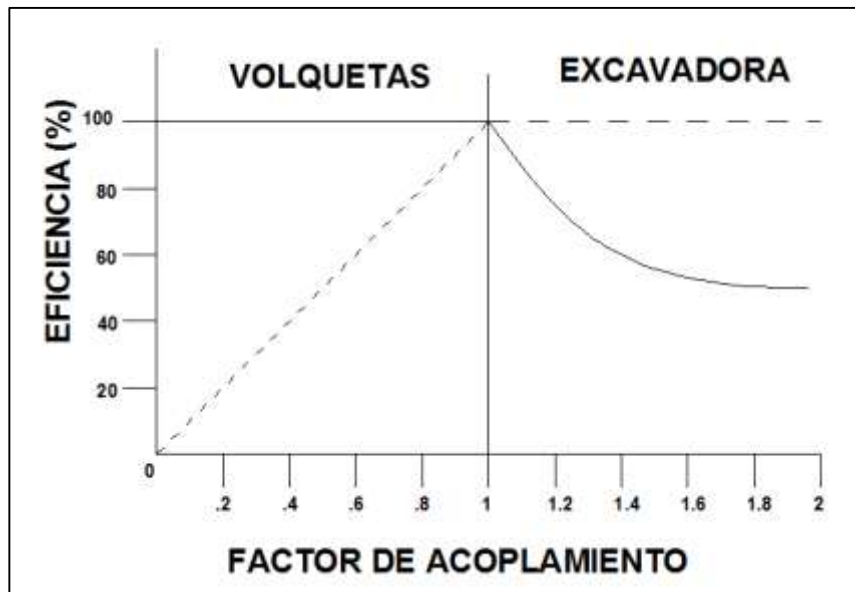


Figura 48. Variación de la eficiencia con respecto al factor de acoplamiento. Fuente: Datos de estudio.

Para entendimiento del gráfico se tiene:

- Si $FA < 1$, hay exceso en la capacidad de carga y, por lo tanto la eficiencia del transporte es del 100% mientras que la de los equipos de cargue es menor.
- Si $FA = 1$, el acoplamiento es perfecto, hay equilibrio.
- Si $FA > 1$, la eficiencia es de los equipos de cargue es del 100% y la eficiencia de los equipos de transporte será menor.

Para el cálculo del factor de acoplamiento se tienen los siguientes datos:

N = Número total de volquetas.

n = Número total de unidades de carga.

T = Tiempo de ciclo de cada volqueta.

t = Tiempo del ciclo de cada palada.

x = Número de volquetas por unidad de carga.

p = Número de cazos o paladas necesarios para llenar una volqueta. (Mínimo 4 máximo 6)

El cociente entre el tiempo total del ciclo de la volqueta, "T", y el tiempo de carga de éste, "p.t", da el número de volquetas necesarias, "x". Por cada unidad de carga.

$$x = \frac{T}{p \cdot t}$$

Al multiplicar ésta expresión por el número de equipos de carga, “n”, se tiene:

$$x \cdot n = \frac{T \cdot n}{p \cdot t}$$

Como “x.n” es el número total de volquetas, resulta:

$$N \cdot p \cdot t = n \cdot T$$

$$\frac{N \cdot p \cdot t}{n \cdot T} = 1 \text{ Ecu. 28}$$

Al primer miembro de la expresión se le denomina “Factor de Acoplamiento”:

$$FA^{11} = \frac{N \cdot p \cdot t}{n \cdot T} = \frac{\# \text{ total de volquetas} \cdot \text{Ciclo de carga de volquetas}}{\# \text{ total de cargadores} \cdot \text{ciclo de volqueta}} \text{ Ecu. 28}$$

Se puede considerar que “t” y “T” son valores constantes, en cuanto a valores medio, porque se sabe bien que dependen de las condiciones de trabajo, las características de cada máquina y la eficiencia del operador.

El número de paladas por volqueta “p”, es un número medio constante, que se debe determinar y mantener en función del trabajo concreto que se realiza. Para ésta actividad en concreto se ha determinado en 4 mínimo y máximo 6.

En lo referente al número de unidades de carga “n”, la producción requerida obliga inmediatamente al número adecuado de ellas para obtenerla, partiendo de eso se tiene decidido el modelo previsto y su producción máxima aproximada.

En cuanto al número total de volquetas, “N”, se determina asignando al Factor de Acoplamiento su valor óptimo, es decir 1, despejando dicho valor como se muestra a continuación:

$$\frac{N \cdot p \cdot t}{n \cdot T} = 1 \text{ Ecu. 28}$$

¹¹ Manual de arranque, cargue y transporte en minería a cielo abierto. Pág. 525-529.

Luego:

$$N = \frac{n.T}{p.t} \text{ Ecu. 29}$$

Este número de volquetas, en teoría, absorberá la producción estimada por el o los equipos de carga. La representación gráfica de éste resultado sería:

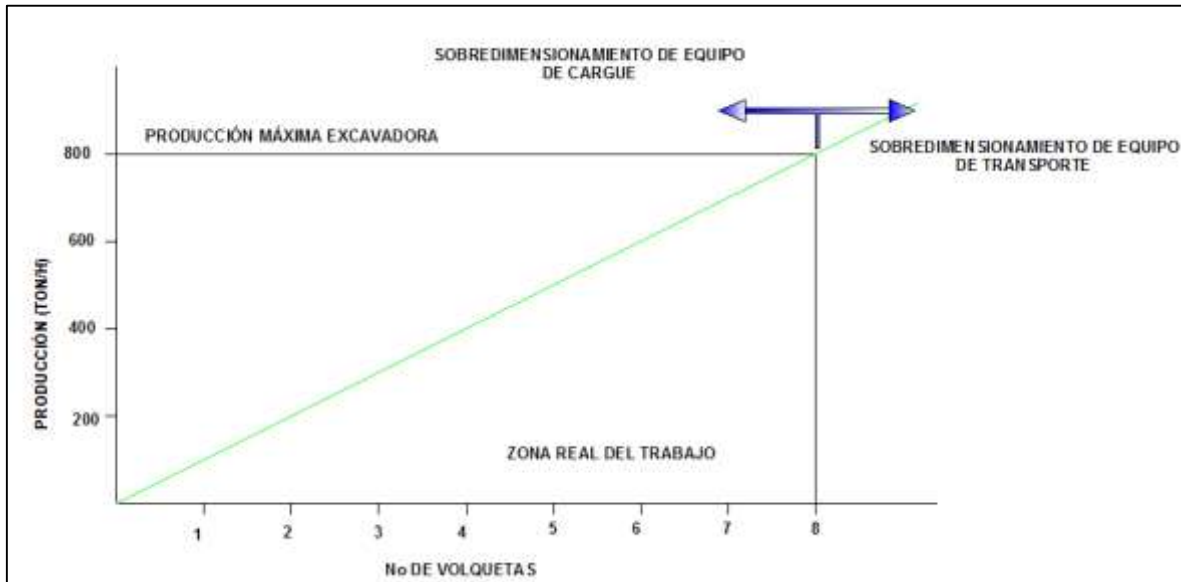


Figura 49. Curva producción teórica. Fuente: Datos de estudio.

Pero la curva de producción real, va siempre por debajo de la teórica, y se requieren más volquetas si se quiere llegar a obtener la producción máxima de las unidades de carga, lo que puede ser por las siguientes causas:

- Volquetas de diferentes capacidades o en distinto estado de conservación.
- Estrechamiento en zonas de carga, descarga y pistas de transporte.
- Espaciamiento diferente entre volquetas.

Por ello, es preciso marcar un objetivo, ya que son dos las posibilidades existentes:

- Máxima producción (condicionada por el tiempo limitado de la operación minera).
- Mínimo costo (limitación de tipo económico).

Teniendo en cuenta los objetivos deseados es importante revisar el rendimiento de la flota, que se calculará a partir de la siguiente expresión, en relación a una hora de trabajo:

$$RF = \frac{N \cdot Cv}{T} \text{ Ecu. 30}$$

Donde:

N = Número de volquetas

Cv = Capacidad de volqueta

T = Ciclo medio de volqueta

A continuación se hallará el Factor de acoplamiento y el rendimiento de la flota para cada sector en explotación, esto se hará en relación a las distancias tomadas inicialmente en el estudio de la duración de los ciclos.

Vale mencionar que, de acuerdo al avance de las labores de explotación, la planeación y el requerimiento de materias primas, estas distancias pueden variar.

Éste cálculo y análisis se realiza teniendo en cuenta las distancias y ciclos a los frentes de explotación analizados a lo largo del presente proyecto, factores indispensables para el cálculo del Factor de Acoplamiento y número óptimo de volquetas. Algunas novedades dentro del estudio, se tiene que se incrementó en 30 s del ciclo total, adicionándole éste tiempo al ciclo de carga para estandarizar un ciclo que variaba a tendencia muy cercana.

Para ilustrar el procedimiento se mostrará para dos de los frentes, ya que el método es el mismo para cada uno de los frentes, si se desea revisar el procedimiento completo se invita a revisar el (**Anexo B**).

Como se observa en el estudio anterior, el Factor óptimo de Acoplamiento rara vez llega al 100% exactamente, esto se presenta porque los equipos son tomados como unidades enteras y no como unidades decimales. Entonces se procede a tomar la cantidad más cercana al 100%. (Ver cuadro 49).

Distancia B_3 - P_18 (3,7 km)				
# Volquetas	F.A	R.F (Ton/h)		
			Ciclo cargue volqueta (H)	0,05
3	42%	833	Ciclo volqueta (H)	0,18
4	56%	1111	# Cargadores	2
5	69%	1389	Capacidad Volqueta (Ton)	50
6	83%	1667		
7	97%	1944	Rendimiento óptimo de la operación 1944 Ton/h	
8	111%	2222	Factor óptimo de Acoplamiento 97%	
9	125%	2500	Distribución óptima de la flota 7 Volquetas	
10	139%	2778		

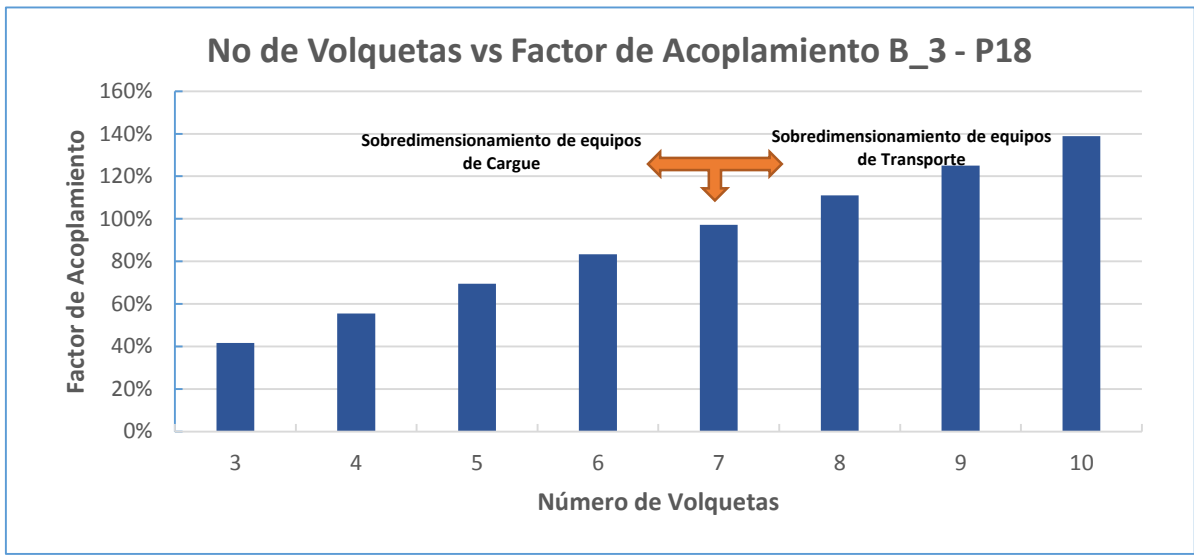


Figura 50. Estudio Bloque 3 panel 18. Fuente: Datos de estudio.

Distancia B_3 - P_11 (3,5 km)				
# Volquetas	F.A	R.F (Ton/h)	Ciclo cargue volqueta (H)	0,05
3	44%	882	Ciclo volqueta (H)	0,17
4	59%	1176	# Cargadores	2
5	74%	1471	Capacidad Volqueta (Ton)	50
6	88%	1765		
7	103%	2059	Rendimiento óptimo de la operación 2059 Ton/h	
8	118%	2353	Factor óptimo de Acoplamiento 103%	
9	132%	2647	Distribución óptima de la flota 7 Volq.	
10	147%	2941		

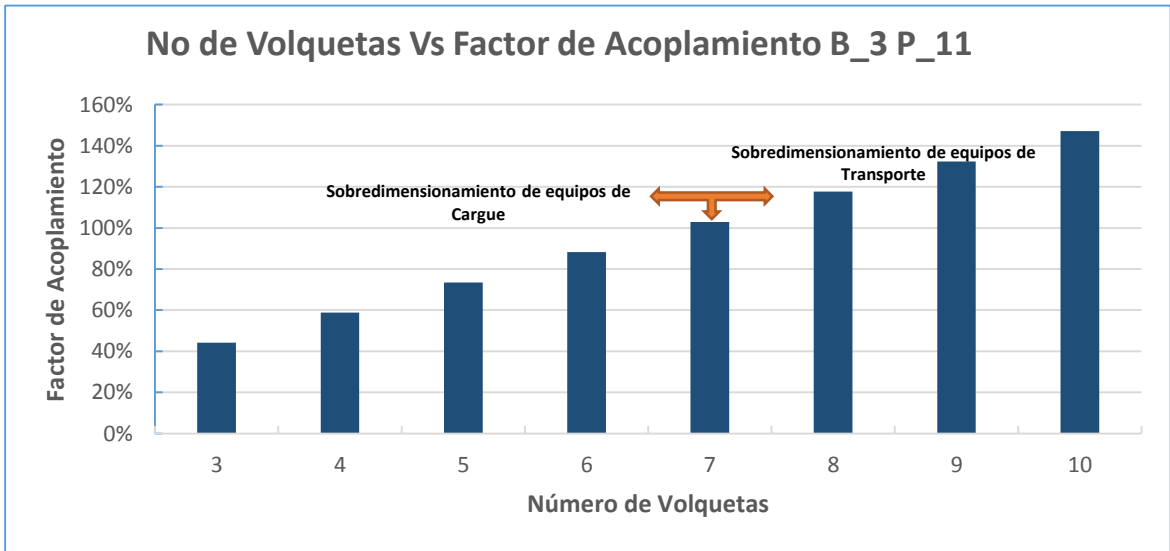


Figura 51. Estudio Bloque 3 panel 11. Fuente: Datos de estudio.

DESCRIPCIÓN DE LA PLAZA	DISTANCIA TOTAL CICLO (Km)	No ÓPTIMO DE VOLQUETAS	CICLO DE CARGUE (mm:ss)	CICLO DE TRANSPORTE (mm:ss)	F.A ÓPTIMO (%)	RENDIMIENTO ÓPTIMO DE LA FLOTA (TON/H)	OBSERVACIÓN
BLOQUE# 3 PANEL # 18	3,7	7	03:00	10:30	97%	1944	0.k
BLOQUE# 3 PANEL # 11	3,5	7	03:00	10:14	103%	2059	0.k
BLOQUE# 2 PANEL # 23	3,3	6	03:00	09:53	94%	1875	0.k
BLOQUE# 3 PANEL # 11	3,5	7	03:00	10:14	103%	2059	0.k
BLOQUE# 2 PANEL # 9	3,53	7	03:00	10:16	103%	2059	0.k
BLOQUE# 1A PANEL # 43	2,55	6	03:00	08:39	107%	2143	0.k
BLOQUE# 1A PANEL # 44	2,65	6	03:00	08:49	100%	2000	0.k
BLOQUE# 3 PANEL # 28	3,68	7	03:00	10:32	97%	1944	0.k
BLOQUE# 1 PANEL # 5	5	8	03:00	12:41	95%	1905	0.k

Cuadro 49. Resumen distribución de flota. Fuente: Datos de estudio.

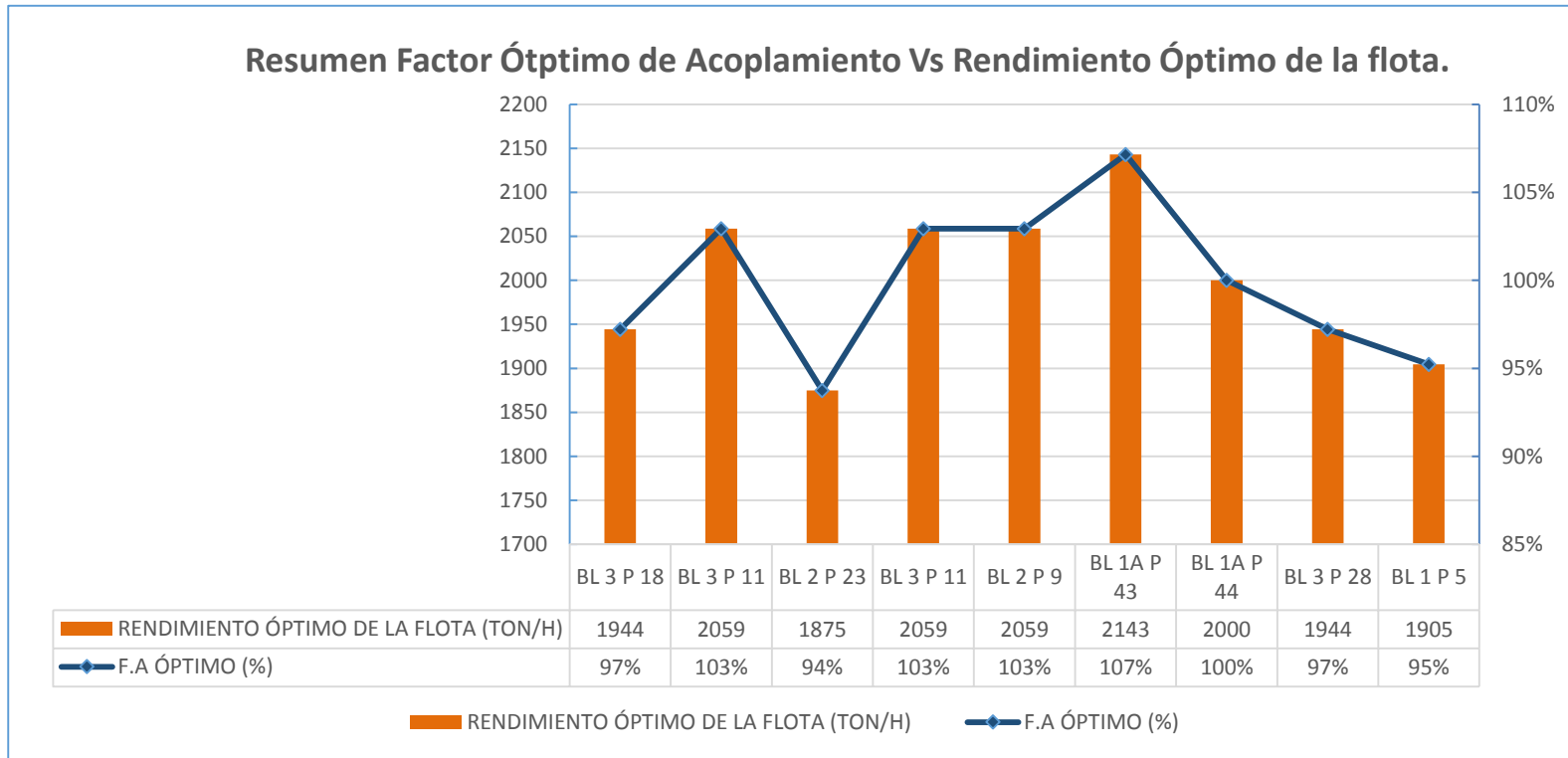


Figura 52. Resumen general datos factor de acoplamiento y rendimiento de la flota. Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo la figura 52, se observa claramente la tendencia óptima de los rendimientos y los factores óptimos de acoplamiento, que serán visibles en campo mediante una mejor planeación de las actividades, ahorros en tiempos de acarreo de material, ahorro de combustible y vida útil de los equipos. En términos generales mejora en la eficiencia de la operación.

Guía de aplicación distribución de flota de transporte

- ❖ Es importante realizar un correcto seguimiento y medición periódica de los ciclos, puesto que la variación de éstos determina la correcta distribución de la flota.
- ❖ Mantener una comunicación constante con el grupo de mantenimiento para saber con claridad la disponibilidad de equipos.
- ❖ Hacer una correcta demarcación de los frentes, para evitar pérdidas injustificadas de tiempo.
- ❖ Mantener un correcto orden y cumplimiento de los horarios estipulados en la jornada productiva.
- ❖ Capacitar constantemente los operarios, de tal forma que sean mucho más diestros en sus actividades.

7.3 DISEÑO DE VIA

La vía es una franja de terreno con un plano de rodadura especialmente dispuesto para el tránsito adecuados de vehículos y está destinada, a comunicar entre sí los frentes de explotación, botaderos y frentes, frentes y centros de acopio y viceversa¹².

7.3.1. Objetivos y aplicaciones

El diseño de la vía tiene como objetivos principales los siguientes:

- Disminución de las distancias de acarreo, mejorando de forma significativa los ciclos de transporte
- Aumento de la producción.
- Mejora en el planeamiento de la explotación de los bancos

7.3.2. Características de la vía

La creación de una vía involucra un grupo interdisciplinario de estudios, que condicionan el trazado y el diseño geométrico de la misma. Además se deben tener en cuenta estudios básicos que demuestren la viabilidad de la vía.

7.3.2.1. Longitud: La vía se diseña teniendo en cuenta puntos obligatorios, como es el inicio de los frentes de explotación y un destino final que es la vía que conduce al descargue en tolva de trituración, siguiendo éstos puntos de referencia se diseña la vía como se puede observar en el **Anexo C**. La nueva vía consta de una longitud de 800 m contados desde el nivel de ingreso a los frentes cota 199 msnm hasta la intersección con la vía que conduce a tolva de trituración cota 198 msnm.

7.3.2.2. Ancho: La vía debe conservar un ancho mínimo de 3 1/2 veces el ancho del vehículo de mayor capacidad que transite en la mina. El ancho de las vías recomendado puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$A = a(0,5 + 1,5n)$$

Donde:

A = Anchura total de la vía (m)

a = Anchura del Vehículo en orden de trabajo (m).

5,7m Tomado de la ficha técnica

n = Número de Carriles deseados. 1 y 2 Carriles.

¹² Manual de diseño geométrico de vías -Escuela Colombiana de Ingeniería, Edición abril de 2004.

Diseño para un carril

$$A = 5,7(0,5 + 1,5(1))$$

$$A = 11,4 \text{ m}$$

Teniendo en cuentas las características que toman las vías cuando hay condiciones húmedas, puede tomarse un ancho de 14 m.

❖ Diseño para dos carriles

$$A = 5,7(0,5 + 1,5(2))$$

$$A = 20 \text{ m}$$

De acuerdo al factor de seguridad deseado se tomará un ancho de vía de 25 m.

7.3.2.3. Pendiente: Es la inclinación del terreno respecto al plano horizontal. La pendiente recomendada para la construcción de rampas es del 8% como máximo. Éste valor debe ser tomado para el diseño y construcción de la vía. Cabe anotar que mantener pendientes constantes y poco pronunciadas, disminuyen el consumo de combustible, evitan la caída de material en la vía y conservan la vida de los equipos.

7.3.2.4. Radio de curvatura: Son aquellas condiciones de una transición o cambio gradual de la curvatura de la vía, desde un tramo recto hasta una curvatura de grado determinado, o viceversa. En la presente propuesta no se estimarán condiciones de curvatura, puesto que el trazado se diseñará en línea recta.

7.3.2.5. Peralte: Es la sobreelevación del lado exterior de la curva que se utiliza para contrarrestar la fuerza centrífuga que se presenta en las curvas, originando deslizamientos transversales e incluso vuelcos. Como se mencionó en el apartado anterior, el diseño actual dicha condición no será tenida en cuenta.

7.3.2.6. Compactación: Debido al peso que deben soportar las vías, las condiciones de afirmado con materiales deben soportar los pesos de los vehículos sin que se deterioren rápidamente. El presente diseño se presenta en cruce de los bloques 1A, bloque 1 y bloque 2, caliza niveles intermedios.

7.3.2.7. Bermas: Son las fajas comprendidas entre los bordes de la calzada y las cunetas. Sirven como confinamiento lateral de la superficie de rodadura, controlan la humedad, las posibles erosiones de la vía y en casos el deslizamiento de los equipos.

7.3.2.8. Elementos de drenaje: Son aquellos elementos encargados de disminuir las concentraciones de agua en la vía, estos elementos no deben obstaculizar ni generar afecciones en la condiciones de operación vehicular

7.3.2.9. Bombeo y convexidad: La sección transversal de la vía debe estar diseñada con un determinado bombeo dicho de otra manera a dos aguas, con el fin de conseguir una evacuación efectiva de las aguas escorrentías hacia las cunetas o bordes laterales. Los valores más usuales de dicha pendiente transversal varían entre 2% y un 4%.

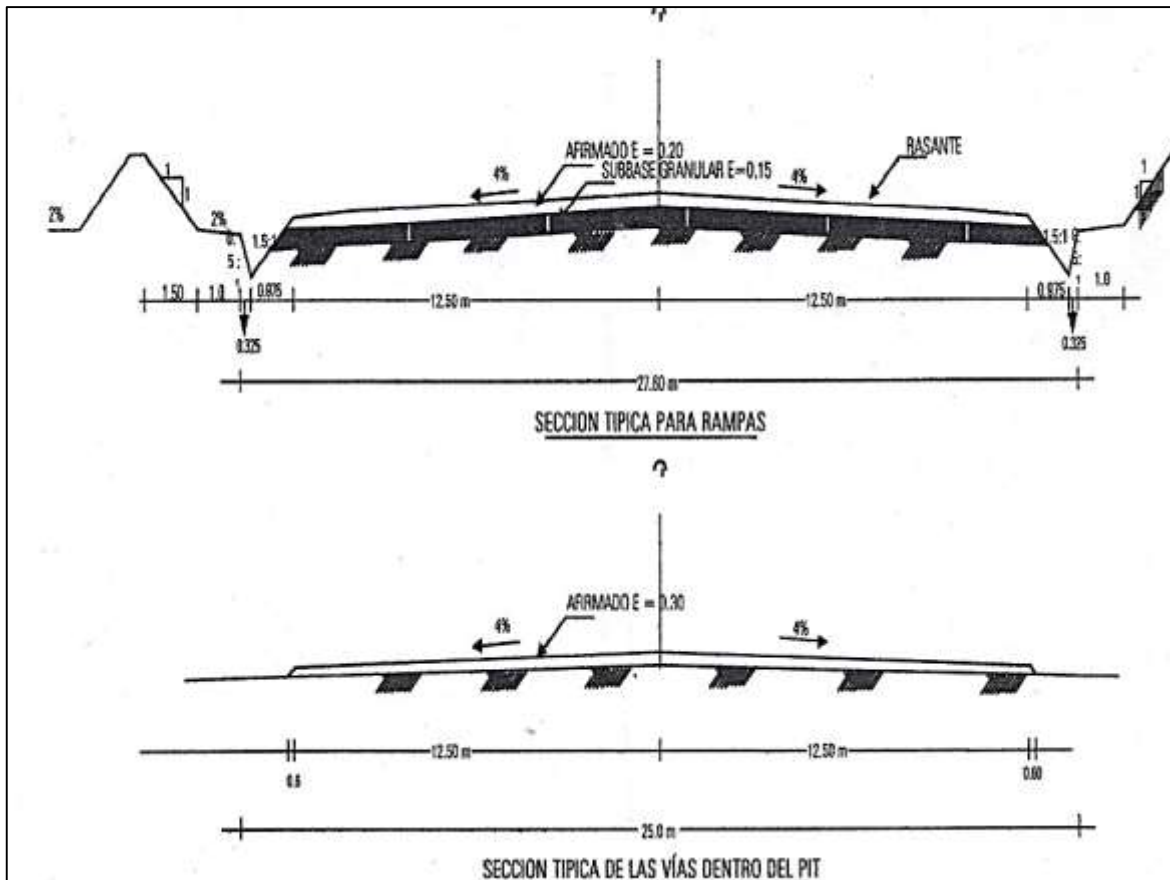


Figura 53. Sección para vías y representación del bombeo. Fuente: Datos de estudio.

La forma de la sección transversal tiene como fin principal, el drenaje lateral del agua que cae en la vía.

7.3.2.10. Cunetas: Son zanjas que se hacen a ambos lados de la vía con el propósito de recibir y conducir el agua proveniente del bombeo, puede ir de (0,7-1m).

De acuerdo a las condiciones analizadas anteriormente, se procede a establecer las condiciones de diseño como se ilustra a continuación en el cuadro 50.

Longitud de la vía	800 m
Ancho de la vía	25 m
Pendiente	0,12 % - Casi nula, diseño en cota constante.
Radio de curvatura	No presenta
Peralte	No presenta
Compactación	0,15 m caliza o grava fina, 0,30 m Base de grava gruesa, 0,25 m subbase de arena limpia.
Bermas	1,5 m cada berma
Drenaje	Condiciones de materiales de compactación y por pendiente de las cunetas.
Convexidad	2%
Cunetas	1 m cada cuneta

Cuadro 50. Criterios de diseño. Fuente: Datos de estudio.

A continuación se muestra un bosquejo del trazado de la nueva vía, en comparación a la antigua vía. Se refleja claramente la disminución en el trayecto, factor que influiría de forma positiva en el aumento de la productividad de las operaciones. (Ver figura 54)

La figura 55 muestra el diseño de compactación de la vía con los respectivos materiales, los cuales pueden tener algunas variaciones de acuerdo a las preferencias de diseño, en comparación a la grava puede usarse la caliza como capa superficial.

Para visualizar el corte en perfil de la vía remítase al (Anexo D).

En la figura 56 y 57 se observa el corte transversal y las medidas de la vía con flota en operación respectivamente.

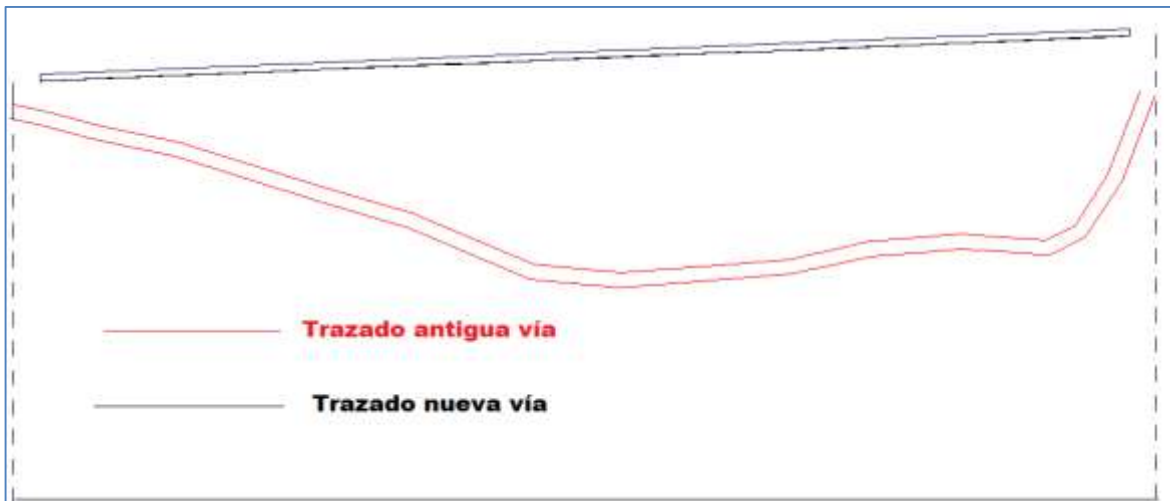


Figura 54. Trazado en planta vía actual y nueva vía. Fuente: Datos de estudio.

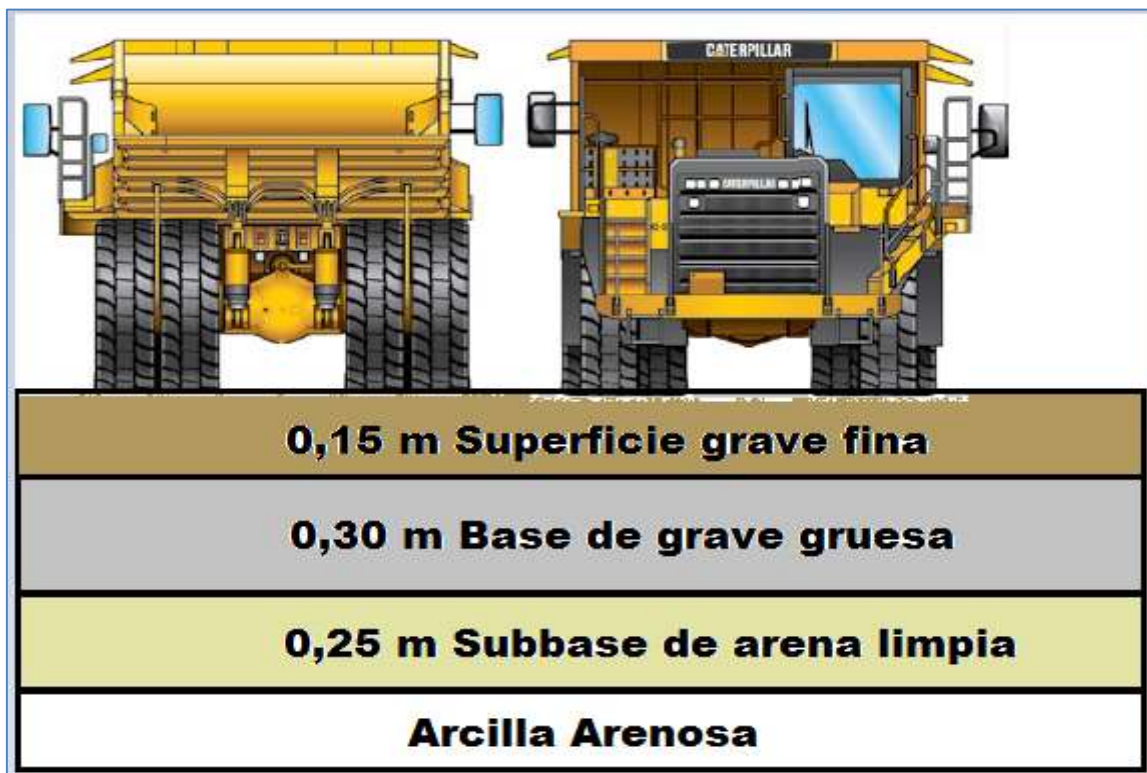


Figura 545. Representación de compactación de vía. Fuente: Datos de estudio.

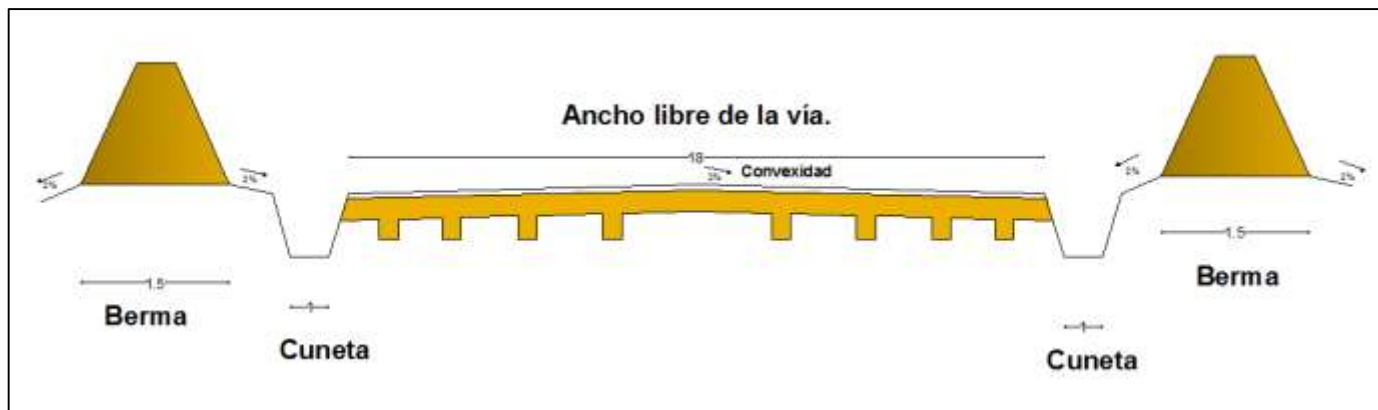


Figura 55. Corte transversal de la vía. Fuente: Datos de estudio.

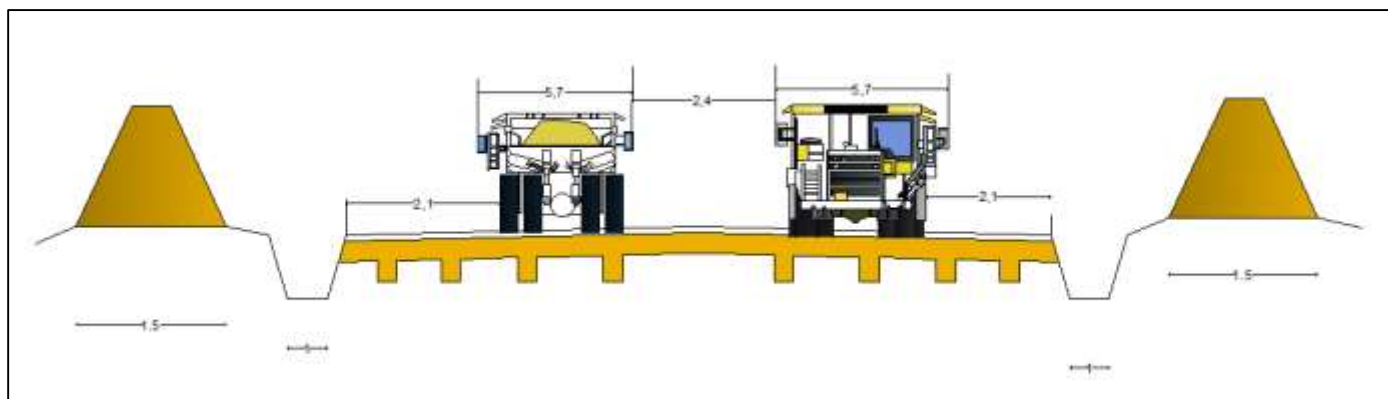


Figura 56. Diseño de la vía con la flota en operación. Fuente: Datos de estudio

El diseño pese a ser abordado de forma separada en planta, compactación, perfil y en sección transversal, tiene como objetivo final la franja tridimensional que determinará las condiciones reales de operación.

Cabe mencionar que aunque, ésta vía en la actualidad presta servicio en un solo sentido, el diseño de dos carriles se realiza por la proyección en el crecimiento de las operaciones hacía ese sector y la proyección a futuro de las operaciones generales.

Fundamentalmente, el diseño de la vía permitiría una mejor movilidad hacía los sectores, bloque 1A, bloque 1 y bloque 2, haciendo tiempos estimativos de ciclo de la siguiente manera. (Ver cuadro 51).

Descripción frente	Distancia actual ciclo (km)	Distancia ciclo vía nueva (km)	Ciclo actual (mm:ss)	Ciclo esperado con nueva vía (mm:ss)
BLOQUE# 2 PANEL # 23	3,3	3,1	12:12	09:58
BLOQUE# 2 PANEL # 9	3,53	3,21	12:35	10:09
BLOQUE# 1A PANEL # 43	2,55	2,41	10:58	08:50
BLOQUE# 1A PANEL # 44	2,65	2,43	11:08	08:52
BLOQUE# 1 PANEL # 5	5	4,7	15:00	12:36

Cuadro 51. Estimativo de tiempos actual vía vs vía nueva. Fuente: Datos de estudio.

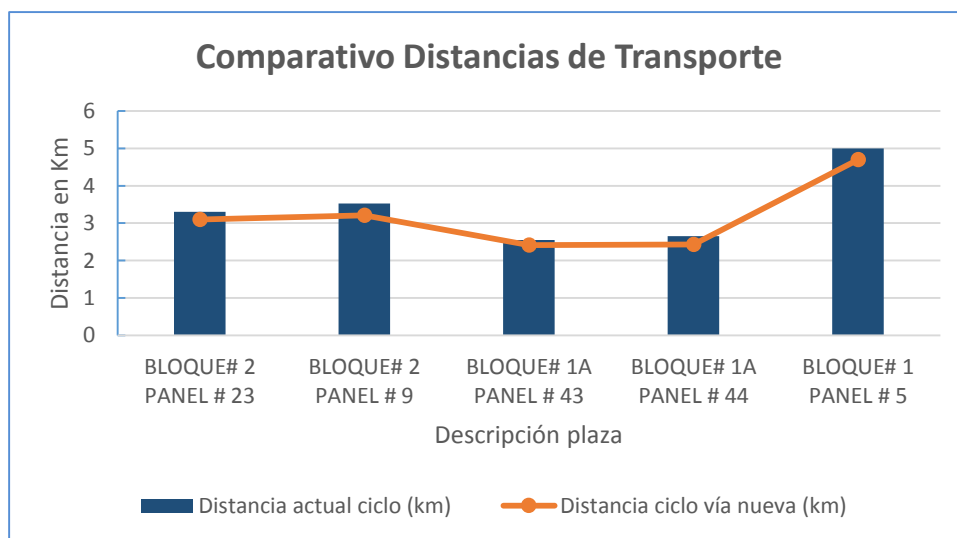


Figura 57. Comparativo de distancias. Fuente: Datos de estudio.

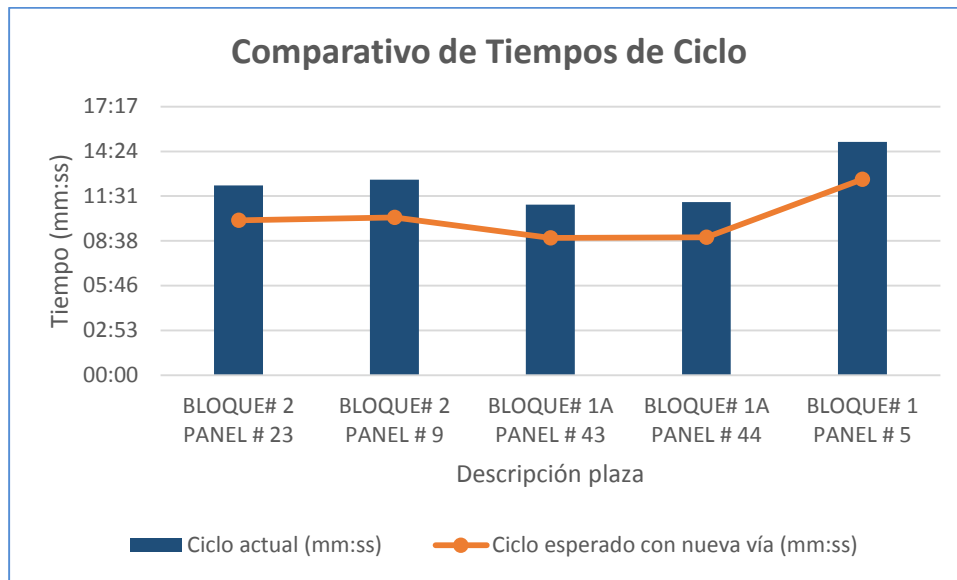


Figura 58. Comparativos de tiempos de ciclo. Fuente: Datos de estudio.

Es de anotar que la disminución del trayecto en la nueva vía es variable para las diferentes plazas de trabajo y en condiciones ideales la eficiencia de la operación alcanzará mejores índices.

También debe garantizarse la seguridad, dicho en tal sentido las volquetas deben satisfacer las condiciones de circulación con seguridad y mínimo impacto ambiental.

El diseño de la vía, puede realizarse con la maquinaria propia de la compañía y la duración depende de la dedicación a ésta, se sugiere trabajarla en tiempos de silos llenos y en temporada de sequía para evitar contratiempos.

7.3.3. Manejo y cuidado de la vía

Dentro de todas las actividades que involucren ésta y todas las vías, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

➤ Seguridad

Aquí deben comprenderse todos aquellos elementos que garanticen el tránsito seguro en la vía, para evitar cualquier incidente o accidente dentro de las labores

diarias de operación, la vía debe estar libre de grietas, piedras, obstáculos o cualquier otro objeto que signifique un peligro, también debe contar con sistema de desagüe, la señalización de la vía y límites permitidos de velocidad. La seguridad es garantía de producción.

➤ **Cuidado ambiental**

Todo proyecto minero genera un impacto directo o indirecto, a los cuales deben desarrollarse medidas mitigadoras, para mantener una sostenibilidad general de las operaciones. En éste caso se controlará el material particulado producto del tránsito constante de la flota con el riego.

➤ **Cuidado de la maquinaria**

Las pendientes muy pronunciadas, las grietas y rocas en la vía, llevan al deterioro de la maquinaria, las llantas y equipos en general. Por lo que es importante planes de mantenimiento de las vías.

7.3.4. Programa de mantenimiento de las vías

Enfocado en optimizar las operaciones generales de cargue y transporte, se procede día a día al cuidado y mantenimiento de éstas de la siguiente manera:

Mezclas de Calizas, Limo y Acopio de Chert: De acuerdo a los frentes de cargue que se estén trabajando, se toman en cuenta la vías que comunican los sectores, bloques, plazas de cargue y pilas, el mantenimiento en orden de mejoramiento productivo es el siguiente:

- **Limpieza zona de cargue:** Consiste en eliminar los residuos esparcidos en la plaza de cargue por acción de la actividad de cargue y transporte. Esta limpieza puede realizarse con la motoniveladora, el cargador y en un caso menos recomendado con el tractor.
- **Nivelación de vías:** Este trabajo consiste en quitar obstáculos, ondulaciones y material esparcido por la vía, producto de la actividad. Éste trabajo es exclusivo para la motoniveladora.
- **Arreglo de cunetas:** Éste trabajo consiste en quitar el material sedimentado o residual a lo largo de la cuneta, mantener las dimensiones de ésta para un óptimo drenaje.
- **Adecuación área de pilas:** Es el mismo trabajo realizado en limpieza de zona de cargue.

7.3.5. Cuidados y seguridad de la operación.

Es importante anotar que parte de la maquinaria como la motoniveladora, cargadores y tractores, también deben estar destinados para garantizar el correcto funcionamiento de la actividad productiva, ayudando de forma efectiva en el mantenimiento de las vías y plazas de cargue. Con un mayor aporte en éstas actividades de mantenimiento, la motoniveladora. A continuación se hace una pequeña anotación sobre actividades durante la etapa productiva.

- ❖ Durante la operación la motoniveladora tiene prioridad sobre las demás maquinaria, excepto sobre los equipos de emergencia y vehículos livianos.
- ❖ Ningún equipo debe invadir el área de trabajo de la motoniveladora, se debe ceder el paso.
- ❖ La motoniveladora gira al final de los tramos de la vía en reparación con el objeto de retomar el desplazamiento dentro de su área de trabajo. Se debe mantener una distancia prudente al equipo.
- ❖ Para adelantar la motoniveladora se debe poner en contacto con el operador de ésta.
- ❖ Se deben colocar avisos cuando hayan equipos trabajando o detenidos en la vía.

7.3.6. Riego de las vías.

Los carros riego, se encargaran de ésta actividad para controlar el polvo generado por el tránsito de vehículos y maquinaria, mejorando así la visibilidad y éxito de la circulación de la maquinaria. Ésta actividad debe programarse diariamente, pero vale la pena mencionar que en días lluviosos debe hacerse una excepción. Puntos a tener en cuenta:

- ❖ Los carros riego, giran en la vía constantemente, se recomienda guardar una distancia prudente.
- ❖ Si se va a adelantar el carro riego, se recomienda ponerse en comunicación con el operador.

7.3.7. Estándares de velocidad

Los límites de velocidad señalados son estandarizados y es deber del personal cumplir lo estipulado, de no ser así reducen las condiciones seguras de operación y ponen en riesgo, la vida de personas y la operación misma. Cuando se presentan condiciones adversas en el ambiente como por ejemplo: lluvias, humedad excesiva en las vías, neblina, polvo, conducción nocturna,

parqueaderos, áreas de cargue, etc. éstos estándares de velocidad deben reducirse a lo mínimo posible para avalar la seguridad.

- **Velocidad cargado:** El equipo cargado, por la dimensión y su peso es más complejo maniobrarlo, aumentado del riesgo de accidente. Por esa razón una buena coordinación y manteniendo velocidades prudentes, estipuladas se disminuye éste riesgo.
La velocidad máxima para equipos cargados permitida por la compañía es de 35 km/h.
- **Velocidad descargada o vacía:** Una vez el quipo haya llevado el material al punto estipulado se traslada nuevamente para ser cargado, en el frente o patio de acopio. La velocidad máxima alcanzada por los equipos es de 67,5 km/h según ficha técnica, pero para la compañía prima la seguridad y estipula como velocidad máxima de equipos descargados de 40 Km/h.

7.3.8. Señalización

Los conductores de maquinaria pesada y equipos livianos, deben cumplir estrictamente todas las señales de tránsito colocadas en el área de trabajo, que constituyan la nueva vía y las vías existentes.

- **Pare:** Significa detener completamente el vehículo, mirar hacia ambos lados por un lapso de tiempo prudente para verificar que el área esté despejada y luego seguir la marcha. Recuerde, la existencia de un PARE en una intersección, indica el alto potencial de riesgo, y se debe detener por completo el vehículo aunque no se acerque otro vehículo a la intersección.
- **Ceda el paso:** Significa disminuir la velocidad al aproximarse a la intersección, mirar hacia ambos lados para verificar que el área esté despejada, y luego seguir la marcha si no hay vehículos transitando en el otro sentido. Detener el vehículo si otro se aproxima a la intersección.
- **Intersección:** Indica que se encontrará una intersección en la vía, que se podrá identificar visualmente.
- **No adelantar:** Indica que en ese tramo de vía no se debe pasar ningún vehículo, ésta señal debe estar ubicada en ambos tramos de la vía.
- **Velocidad:** Indica la máxima velocidad a que se puede desplazar un vehículo en un trayecto dado.

- **Balizas reflectoras:** Indicarán los límites de la vía, y serán ubicadas en las vías de mayor afluencia y de trabajo nocturno.

Guías de diseño de la vía.

- ❖ La construcción de la vía está condicionada por un grupo interdisciplinario de estudios indispensables para la realización y la seguridad de ésta, que deben tenerse en cuenta.
- ❖ La seguridad de las operaciones debe estimarse como un factor primordial dentro del trazado de la vía y mantenimiento de ésta.
- ❖ Revisar el funcionamiento del sistema de desagüe minutos después de las lluvias, para dados casos de mal funcionamiento, corregirlo.
- ❖ Revisar el comportamiento de las aguas esorrentías a lo largo del trayecto de las vías, para implementar mejoras en éstas.
- ❖ Evitar en lo posible agua empozada en las cunetas de desagüe o tramos de las vías, puesto que ésta puede disminuir la estabilidad de las vías.

7.4. DISEÑO DE STOCK DE CALIZA – ALMACENAMIENTO DE MATERIAL

Considerando ésta como última opción de las propuestas, consiste básicamente en la disposición de la materia prima en un lugar cercano a la trituradora para luego ser triturado. Estimada como última opción, debido a las condiciones de estabilidad del terreno cercano a las trituradoras, de forma más clara, éste sector se encuentra sobre una intercalación de arcilla muy inestable.

7.4.1. Objetivo y funciones

Dentro de los principales objetivos de la construcción del stock se encuentran:

- Almacenar material suficiente para eliminar tiempos improductivos durante la operación.
- Disminuir picos energía, cuando en paros por alimentación se apaga la trituradora.
- Mejorar los índices productivos de la actualidad.

7.4.2. Producción actual

La producción actual se ha venido afectando por una serie de anomalías motivo de tratamiento y mejora, vista en apartados anteriores.

Según el estudio realizado, la anomalía más representativa y objetiva del proyecto es ciclo lento, representando un global del 25,4% del tiempo improductivo de la operación. Actualmente para el turno de 8 horas se produce cerca 4183 ton/turno.

7.4.3. Ubicación y capacidad

El lugar destinado al stock debe ser lo más cercano a la trituradora Abon y su capacidad calculada a partir del máximo rendimiento del cargador dentro de condiciones normales de trabajo. (Ver figura 60)

Rendimiento de la trituradora: La trituradora Abon tiene un rendimiento máximo, en condiciones normales de 2500 ton/h, para el procesamiento de mezcla de calizas, caliza y limo. A éste punto cabe considerar las opciones productivas promedias de los turnos de 8 y 12 horas.



Figura 59. Ubicación de stock de material. Fuente: Datos de estudio

7.4.4. Ciclo del cargador (Stock de caliza Tolva de trituración)

De la misma manera como se analizaron los ciclos de transporte de las volquetas, aquí se tomará en cuenta dos componentes:

Primer componente: Lo constituyen aquellas operaciones que tienen una duración relativamente constante, como girar, cambiar de posición, descargar y cargar. Generalmente estos tiempos, pueden obtenerse de la documentación del fabricante del equipo o de datos tomados de campo.

Segundo Componente: Lo constituyen aquellas actividades que toman tiempos variables, por el desplazamiento a determinadas distancias y por la estructura del equipo.

A continuación se describe el tiempo del ciclo para el cargador 988H, con carga nominal en cada uno de los componentes anteriormente descritos. (Ver cuadro 52)

Velocidad máxima permitida: 20 km/h
Distancia total del ciclo del ciclo: 0,1 km

Descripción de actividad	Tiempo (mm:ss)
Cargue del balde*	00:26
Levantamiento de carga	00:09
Descarga en tolva	00:02
Descenso libre (Vacío)	00:04
Desplazamiento a tolva	00:09
Desplazamiento a stock	00:09
Ciclo Total	01:00

Cuadro 52. Ciclo cargador 988H para stock frente a TT Abon. Fuente: Datos de estudio. *Material seco y suelto.

El tiempo general del ciclo corresponde a 1 minuto, éste tiempo calculado a partir de las distancias de desplazamiento del cargador, dado que es una distancia mínima por la cercanía a la trituradora, si tenemos en cuenta cualquier imprevisto le damos gabela de 30 segundos equivalente al 50% del ciclo, dejando el ciclo entonces en 01:30 (mm:ss).

El cargador tiene una capacidad colmado de 12,5 Ton, para evitar esparcir material por la plaza de descargue de las volquetas se estima que el balde cargue 10,5 toneladas por ciclo.

Producción y rendimiento del cargador: La relación productiva es muy similar a la explicada en el apartado de estudio de los ciclos, relacionado de forma sencilla con la duración del ciclo y capacidad, se hace como sigue:

$$\text{Producción teórica hora (Ton)} = \frac{60 \text{ min} * 10,5 \text{ Ton} * Ee}{1,5 \text{ min}} \text{ Ecu. 1}$$

Para el presente proceso se estimará una eficiencia del 100%.

$$\text{Producción teórica hora} = 420 \text{ Ton}$$

*Rendimiento esperado turno (Ton/Turno) = $Pt * Tet$*

Donde:

Pt = Producción teórica hora

Tet = Tiempo efectivo turno

*Rendimiento esperado turno = 420 Ton/h * 10,2 h*

Tiempo del turno 12 horas

Rendimiento esperado turno = 4284 Ton/turno

7.4.5. Capacidad del stock

Según el rendimiento del equipo de cargue, para éste caso un cargador 988H cuyo rendimiento ha sido calculado anteriormente, se estima que el stock tenga una capacidad mínima de **4284 Ton** y máxima **5000 Ton**, por las condiciones de estabilidad del terreno.

7.4.5.1. Características geométricas y material a almacenar

El stock estará construido para abastecer la máxima capacidad de rendimiento del cargador, se habla en éste caso de 5000 Ton, capacidad que puede suplirse con un total de 100 viajes de 50 Ton.

Las características de la pila serán de la siguiente manera: 4,9 m ancho de la tolva de la volqueta, aquí se incluye un metro adicional por concepto del vaciado del material, 3,5 m movimiento del descargue de la volqueta. El área de influencia del cargador para garantizar la seguridad y óptimo rendimiento debe ser como mínimo 2 veces su longitud, el cargador 988H con varillaje de 3,88 m tiene una longitud de 12 m.

Para comprender mejor lo anteriormte dicho, se ilustra de la siguiente manera (ver figura 61 y 62).

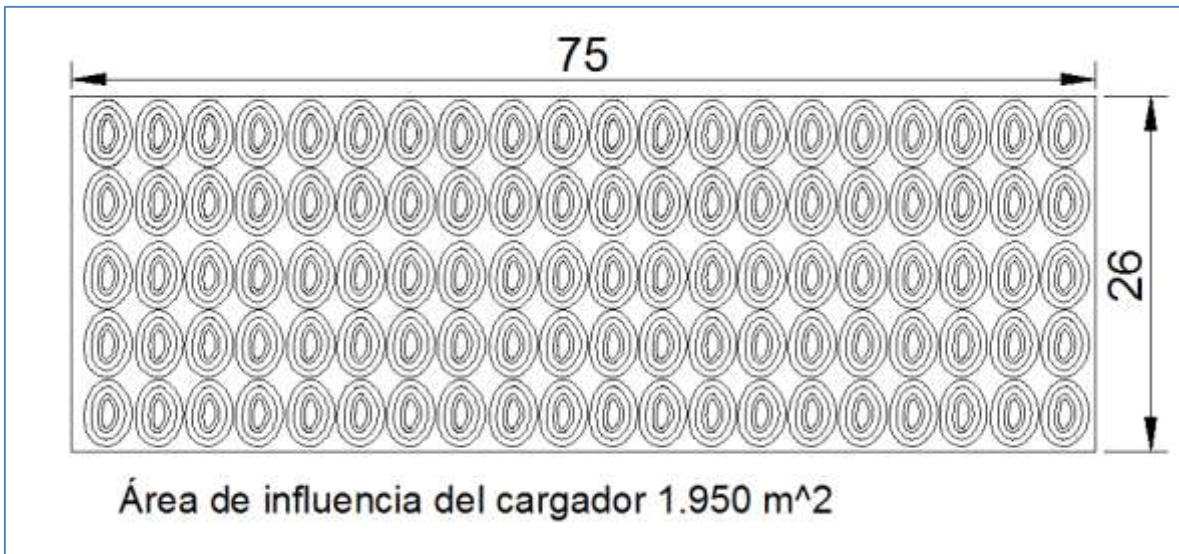


Figura 60. Distribución del material en el stock. Fuente: Datos de estudio.

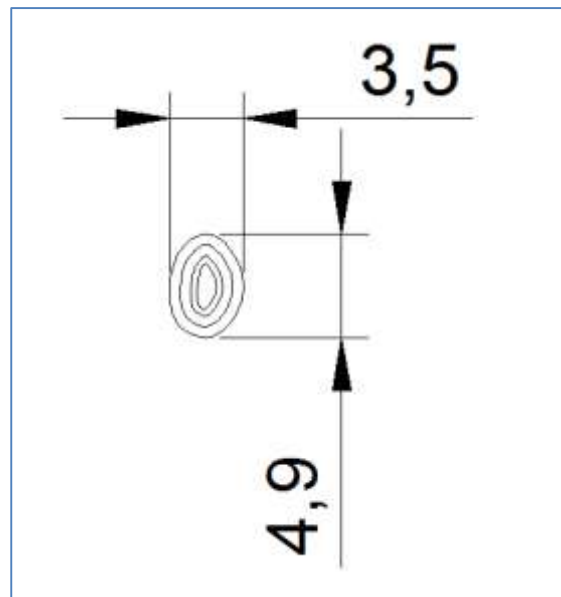


Figura 61. Conformación pilas de material en el stock. Fuente: Datos de estudio.

La distribución del material se procura lo más cónica posible, con el fin de aprovechar en lo máximo posible el espacio destinado para éste y disminuir las distancias a recorrer de las volquetas y del cargador. La conicidad de las pilas en el stock está estrechamente relacionadas con la humedad del material, para el caso de la trituradora Abon, es permisible material con humedad de hasta el 14%.

7.4.6. Modo operacional y consumo del material

Se buscará abastecer diariamente el stock, para aprovecharlo de forma efectiva en los turnos que sea requerido.

Modo operacional

Se abastecerá, cuando:

- Resulten paros concernientes a labores de la trituradora, como es el caso de las actividades analizadas en el diagrama de Pareto, aquí se tienen: Sin espacio para apilar, limpiezas de chutes, fallas en el apilador y bandas fuera de servicio. Éstas paradas ocasionan que la flota de volqueta deba esperar a que se solucione cualquiera de esas condiciones, tiempo que podría ser aprovechado para abastecer el stock.

Consumo de material, cuando:

- Como se estudió en apartados anteriores, el ciclo lento ha representado una importante falla con el 25,4% de tiempo improductivo en la operación, entonces en el momento que se presenten ciclos lentos, elecciones de frentes, cambios en la distribución de la flota, mejoras en la calidad, tanqueo equipos de oruga y arreglos de plazas de cargue, se dispondrá de un cargador para alimentar la trituradora Abon.
- De acuerdo al estudio se ha venido dificultando el cumplimiento del horario al inicio del turno, representando en promedio 48:00 (mm:ss), tiempo que puede aprovecharse para alimentar la trituradora e iniciar producción más temprano.
- Cuando se haga cambios de turno en caliente, transporte del personal a alimentación, revisión de maquinaria y tanqueo de equipos, se alimentará la trituradora desde el stock.
- Cuando llega temporada invernal las condiciones de humedad en los frentes es alta y se deteriora en gran medida las condiciones de las vías, lo que obliga en primera medida al mantenimiento constante de éstas y los frentes, tiempo que puede ser aprovechado para alimentar la trituradora desde el stock, vale mencionar que se debe mantener el material del stock seco para mayor rendimiento.

7.6.7. Puntos importantes del sistema

Revisando las condiciones mencionadas anteriormente, vale la pena resaltar lo favorable y desfavorable a la aplicación de ésta propuesta.

Puntos favorables

- Se garantiza altos niveles productivos, en caso de que los ciclos de transporte estén deficientes, haya condiciones climáticas desfavorables, tiempos improductivos por averías o pilas llenas.
- En la cantera Santa Ana se cuenta con un cargador 980G sin programación, dado el caso que el cargador 988H sufra alguna avería el 980G puede alimentar la trituradora.
- Se aprovecha de forma efectiva los tiempos improductivos en el turno, aumentando de la misma manera los tiempos de descanso para el personal.
- Se disminuyen los costos por conceptos de mano de obra por el destino a actividad productiva.
- Aumenta la vida útil de las volquetas, puesto que en numerosos ocasiones hay paros y la maquinaria demora largos periodos de tiempo con la carga en la tolva.

Puntos desfavorables

- Debido a la inestabilidad del terreno en el sector donde se ubicaría el stock, la capacidad de éste podría disminuir.
- Con motivo de la frecuente alimentación del material a la tolva, se podría dispersar material en la zona, lo que requeriría mantenimiento con la motoniveladora.
- La disposición del material en el stock ocasionaría que la humedad se acumulara en su parte más baja, por lo que se debe tener cuidado.

Guías de diseño de stock

- ❖ Es importante mantener una distancia cercana a la tolva de trituración, puesto que la máxima distancia a recorrer con carga por parte del cargador es de 250 m.
- ❖ Se sugiere mantener la zona de cargue y descarga adecuadamente, es decir sin material en el piso, para mantener buenos rendimientos y evitar daños en las llantas.
- ❖ Se sugiere tapar el stock para temporada húmeda y así evitar material sobresaturado.
- ❖ Se debe evitar el trabajo conjunto con volquetas, cuando el ciclo marcha con normalidad para evitar el riesgo de accidentes.

7.5. RESUMEN ECONÓMICO – POLITICA DE SOSTENIBILIDAD

La compañía buscando la sostenibilidad de su actividad, a través de la generación de rentabilidad, el desarrollo social y disminución del impacto ambiental, debe garantizar el cumplimiento de sus planes de mejoramiento.

Con ese fin se muestra a continuación algunos costos por conceptos de la deficiencia operativa y algunos programas de registro de actividades para tener información más documentada.

7.5.1. Costos operativos directos

Son aquellos que se desarrollan netamente dentro del ámbito administrativo, es decir los costos generales para posibilitar la operación de la compañía como tal, dentro de éstos se tendrán: Costo nómina, costos consumo de energía, costos por combustible, costo por lubricación y costos por gamas y engrases.

7.5.2. Costos por nómina

Actualmente en cantera se cuenta con 3 grupos rotativos de 17 operarios y 1 técnico cada grupo, los cuales laboran todos los días, excepto 1 domingo cada mes. Lo cual se ilustra de la siguiente manera. (Ver cuadro 53)

Costos por nómina					
Descripción	Salario promedio mes (\$)	Salario promedio turno (\$)	Número de empleados (\$)	Valor nómina día (\$)*	Valor nómina mes (\$)
Operarios	\$ 2.020.000,00	\$ 67.333,33	51	\$ 3.434.000,00	\$ 103.020.000,00
Técnicos	\$ 2.150.000,00	\$ 71.666,67	3	\$ 215.000,00	\$ 6.450.000,00
Total			54	\$ 3.649.000,00	\$ 109.470.000,00

Cuadro 53. Resumen costos nómina. Fuente: Datos de estudio.

*El costo día sin tener en cuenta los posibles recargos por trabajo nocturno, festivo o dominical.

Con la implementación de la mejoras se aumentaran los índices productivos, lo que permite descansar los 3 domingos adicionales del mes, correspondiente a un valor aproximado de **\$ 10'947.000,00** ahorrado en el mes.

7.5.3. Costos por consumo de energía

El consumo de energía, se tiene en cuenta por lo que representa la actividad de trituración del material, como se ilustra a continuación. (Ver cuadro 54)

Costo consumo energético		
Costo consumo energético hora (\$)	Consumo energético día (\$)	Consumo energético mes (\$)
\$ 323.076,00	\$ 7.753.824,00	\$ 232.614.720,00

Cuadro 54. Resumen costos consumo energético. Fuente: Datos de estudio.

Para éste caso se tendría un ahorro de **\$ 23'261.472,00**, por concepto de los tres días adicionales de descanso y estimando el 1% de mejoría reduciendo los picos de energía con la aplicación de las presentes propuesta, se tendría un valor adicional de **\$ 1'841.533,20**. En consecuencia el ahorro total para el primer mes sería de **\$ 25'103.005,20**. (Ver cuadro 55)

Ahorro en el proceso	
Concepto	Valor (\$)
Cese operación mes	\$ 23.261.472,00
Aumento eficiencia min 1%	\$ 1.841.533,20
Total	\$ 25.103.005,20

Cuadro 55. Ahorro en energía. Fuente: Datos de estudio.

La operación presenta una importante mejoría, logrando optimizar las actividades operaciones y cumpliendo con la política de sostenibilidad de la compañía.

7.5.4. Costos por combustible

Son los costos generados directamente por la maquinaria encargada de la labor productiva, en ésta se excluye la el combustible para la camioneta del ingeniero o técnico de turno por ser un costo indirecto. (Ver cuadro 56)

Costos de combustible maquinaria					
Descripción de equipo	N de equipos	Costo de unidad por hora (\$)	Costo total por hora (\$)	Costo total por día (\$)	Costo total mes (\$)
Pala O&K RH40-E	2	\$ 106.720,00	\$ 213.440,00	\$ 5.122.560,00	\$ 153.676.800,00
Tractor D9T	2	\$ 53.360,00	\$ 106.720,00	\$ 2.561.280,00	\$ 76.838.400,00
Tractor D10T	1	\$ 108.560,00	\$ 108.560,00	\$ 2.605.440,00	\$ 78.163.200,00
Motoniveladora 140M	1	\$ 57.040,00	\$ 57.040,00	\$ 1.368.960,00	\$ 41.068.800,00
Cargador 980G	1	\$ 23.920,00	\$ 23.920,00	\$ 574.080,00	\$ 17.222.400,00
Cargador 988H	1	\$ 29.440,00	\$ 29.440,00	\$ 706.560,00	\$ 21.196.800,00
Volqueta 773F-G	5	\$ 42.320,00	\$ 211.600,00	\$ 5.078.400,00	\$ 152.352.000,00
Total				\$ 18.017.280,00	\$ 540.518.400,00

Cuadro 56. Resumen costos combustible maquinaria. Fuente: Datos de estudio.

Para el presente caso se tendría un ahorro de **\$ 54'051.840,00** por concepto de tres días adicionales al descanso y calculando una mejoría mínima del consumo de combustible en el 1% mes, equivalente a **\$ 4'279.104,00**, para un total de **\$ 58'330.944,00**. (Ver cuadro 57)

Ahorro combustible	
Concepto	Valor (\$)
Cese operación mes	\$ 54.051.840,00
Ahorro mínimo estimado 1%	\$ 4.279.104,00
Total	\$ 58.330.944,00

Cuadro 57. Ahorro en combustible. Fuente: Datos de estudio.

Respecto a lo anterior se siguen los lineamientos de las políticas de sostenibilidad de la compañía y se abre espacios a nuevos márgenes de inversión.

7.5.5. Costos por lubricación

Aquí se toman en relación los registros brindado por mantenimiento, que aunque incluyen otra dependencia, se tomará en cuenta para estudios futuros.

Costos de lubricación maquinaria					
Descripción de equipo	N de equipos	Costo de unidad por hora (\$)	Costo total por hora (\$)	Costo total por día (\$)	Costo total mes (\$)
Pala O&K RH40-E	2	\$ 1.476,99	\$ 2.953,98	\$ 70.895,52	\$ 2.126.865,60
Tractor D9T	2	\$ 882,74	\$ 1.765,48	\$ 42.371,52	\$ 1.271.145,60
Tractor D10T	1	\$ 971,02	\$ 971,02	\$ 23.304,43	\$ 699.132,87
Motoniveladora 140M	1	\$ 686,85	\$ 686,85	\$ 16.484,45	\$ 494.533,64
Cargador 980G	1	\$ 1.452,46	\$ 1.452,46	\$ 34.859,09	\$ 1.045.772,83
Cargador 988H	1	\$ 1.670,33	\$ 1.670,33	\$ 40.087,96	\$ 1.202.638,76
Volqueta 773F-G	5	\$ 3.089,57	\$ 15.447,85	\$ 370.748,40	\$ 11.122.452,00
Total				\$ 598.751,38	\$ 17.962.541,30

Cuadro 58. Resumen costos lubricación maquinaria. Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo con la información presentada, se tendría un ahorro de **\$ 1'796.254,13** por concepto de los tres descansos adicionales y una mejora estimada del 1%, equivalente a **\$ 142.203,45**, formando un total de **\$ 1.938.457,58**. (Ver cuadro 59)

Ahorro costos lubricante	
Concepto	Valor (\$)
Cese operación mes	\$ 1.796.254,13
Ahorro mínimo estimado 1%	\$ 142.203,45
Total	\$ 1.938.457,58

Cuadro 59. Ahorro costos lubricación. Fuente: Datos de estudio.

Éstas variables son de tipo lineales, puesto que el precio de la cantidad de lubricante se incrementa en la misma medida que se incrementan los tiempos de uso de la maquinaria.

7.5.6. Costos por gamas y engrase

De acuerdo a los registros brindados por mantenimiento se tienen a continuación en el cuadro 60:

Costo por gamas equipos										
Equipo	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	Costo total por equipo	N de equipos	Costo total
Volqueta CAT 773 F-G	\$ 2.060.105,00	\$ 4.502.441,00	\$ 4.298.081,00	\$ 4.547.133,00	\$ 2.433.127,00	\$ 2.500.740,00	\$ 4.558,00	\$ 20.346.185,00	5	\$ 101.730.925,00
Excavadora RH40-E	\$ 1.958.294,00	\$ 3.238.702,00	\$ 7.601.653,00	-	-	-	-	\$ 12.798.649,00	2	\$ 25.597.298,00
Motoniveladora 140M	\$ 450.523,00	\$ 2.663.359,00	\$ 1.972.216,00	\$ 1.431.265,00	-	-	-	\$ 6.517.363,00	1	\$ 6.517.363,00
Tractor D9T	\$ 1.455.297,30	\$ 2.164.822,20	\$ 1.505.541,60	\$ 2.556.342,00	-	\$ 1.114.561,80	\$ 687.987,00	\$ 9.484.551,90	2	\$ 18.969.103,80
Tractor D10T	\$ 1.616.997,00	\$ 2.405.358,00	\$ 1.672.824,00	\$ 2.840.380,00	-	\$ 1.238.402,00	\$ 764.430,00	\$ 10.538.391,00	1	\$ 10.538.391,00
Cargador 980G	\$ 1.788.122,70	\$ 3.090.599,00	\$ 3.609.000,00	\$ 3.380.446,00	-	-	\$ 4.403,00	\$ 11.872.570,70	1	\$ 11.872.570,70
Cargador 988H	\$ 1.986.803,00	\$ 3.433.998,00	\$ 4.010.000,00	\$ 3.756.051,00	-	-	\$ 4.403,00	\$ 13.191.255,00	1	\$ 13.191.255,00
Total										\$ 188.416.906,50

Cuadro 60. Costos por gamas equipos. Fuente: Datos de estudio

Haciendo un cálculo aproximado, teniendo en cuenta el promedio de tiempo perdido por ciclo lento hasta ahora, se tendría el siguiente ahorro para el tiempo de gamas, en el primer mes (Ver cuadro 61). Sin contar las pérdidas derivadas o bajas en los niveles productivos por tener equipos en overhauled.

El objetivo en ésta sección, también era tener en cuenta la cantidad de averías de los equipos en el tiempo de estudio, con las condiciones actuales de operación en la cantera Santa Ana, debido a los pobres registros por parte de mantenimiento se sugirió adoptar un modelo de toma de datos similar a de la planta de Tolú viejo, Sucre, con el fin de tener criterios precisos para determinar la disponibilidad real de la maquinaria en producción y tener mejores bases para estudios a futuros para así proyectar resultados mucho más exactos.

	Ahorro por equipo cada mes	Ahorro total equipos mes
	\$ 23.194,65	\$ 115.973,25
	\$ 72.952,30	\$ 145.904,60
	\$ 18.574,48	\$ 18.574,48
	\$ 10.812,39	\$ 21.624,78
	\$ 12.013,77	\$ 12.013,77
	\$ 13.534,73	\$ 13.534,73
	\$ 15.038,03	\$ 15.038,03
Total	\$ 166.120,35	\$ 342.663,64

Cuadro 61. Ahorro proyectado por concepto de tiempo en gamas. Fuente: Datos de estudio

En cuanto al engrase de la maquinaria, aquí se han tenido en cuenta el precio de los tambores de grasas comprados trimestralmente para cada equipo, los respectivos costos de engrase de la maquinaria son los siguientes, cuadro 62:

Costos engrase maquinaria					
Descripción de equipo	N de equipos	Costo de engrase equipo por año (\$)	Costo total por engrase año (\$)	Costo total por día (\$)	Costo total mes (\$)
Pala O&K RH40-E	2	\$ 15.565.680,00	\$ 31.131.360,00	\$ 85.291,40	\$ 2.558.741,92
Tractor D9T	2	\$ 15.565.680,00	\$ 31.131.360,00	\$ 85.291,40	\$ 2.558.741,92
Tractor D10T	1	\$ 15.565.680,00	\$ 15.565.680,00	\$ 42.645,70	\$ 1.279.370,96
Motoniveladora 140M	1	\$ 15.565.680,00	\$ 15.565.680,00	\$ 42.645,70	\$ 1.279.370,96
Cargador 980G	1	\$ 15.565.680,00	\$ 15.565.680,00	\$ 42.645,70	\$ 1.279.370,96
Cargador 988H	1	\$ 15.565.680,00	\$ 15.565.680,00	\$ 42.645,70	\$ 1.279.370,96
Volqueta 773F-G	5	\$ 15.565.680,00	\$ 77.828.400,00	\$ 213.228,49	\$ 6.396.854,79
Total				\$ 554.394,08	\$ 16.631.822,47

Cuadro 62. Costos engrase maquinaria. Fuente: Datos de estudio.

Los ahorros que se considerarían en el proceso, se tendrían: ahorro por concepto de tres días adicionales de equivalente a **\$ 1.663.182,25** y una mejora calculada del 1% mensual equivalente a **\$ 131.668,59** para un total de **\$ 1.794.850,84**, como se ilustra en el siguiente cuadro. (Ver cuadro 63)

Ahorro costos engrase mes	
Concepto	Valor (\$)
Cese operación mes	\$ 1.663.182,25
Ahorro mínimo estimado 1%	\$ 131.668,59
Total	\$ 1.794.850,84

Cuadro 63. Ahorro costo de engrase mes. Fuente: Datos de estudio.

7.5.7. Resumen de ahorros con el nuevo sistema

Relacionando toda la información estudiada, se muestran las condiciones de mejora del sistema, comparado con el sistema actual, esas condiciones son como se muestran a continuación (ver cuadro 64).

Resumen general de ahorro		
Descripción de operación	Ahorro mensual en la operación (\$)	Ahorro anual de la operación (\$)
Nómina	\$ 10.947.000,00	\$ 131.364.000,00
Consumo de energía	\$ 25.103.005,20	\$ 301.236.062,40
Combustible	\$ 58.330.944,00	\$ 699.971.328,00
Lubricación	\$ 1.938.457,58	\$ 23.261.490,98
Gamas	\$ 342.663,64	\$ 4.111.963,72
Engrase	\$ 1.794.850,84	\$ 21.538.210,09
Total	\$ 98.456.921,27	\$ 1.181.483.055,19

Cuadro 64. Ahorro calculado con el nuevo sistema. Fuente: Datos de estudio.

Con base al cuadro anterior se observa claramente, la proyección de un ahorro mínimo para el primer año de **\$ 1.181.483.055,19**, condiciones que favorecen totalmente las políticas de sostenibilidad de la compañía y proyectan una creciente economía en el sistema.

CONCLUSIONES

- ✓ El desarrollo de la práctica empresarial, se comprende como una etapa de formación complementaria donde se ponen en práctica muchos de los conceptos y conocimientos adquiridos durante la formación universitaria.
- ✓ La identificación de los problemas o anomalías dentro de las actividades mineras, son sumamente importante para hacer planes de mejoras y óptimos procesos operacionales.
- ✓ De acuerdo al análisis realizado con la teoría de colas, se determinó que la posibilidad de encontrar el sistema de trituración ocioso es del 85%, y el de los equipos de cargue del 24%.
- ✓ Conociendo los ciclos de transporte se puede calcular el requerimiento mínimo de equipos, en mínimos costos y máxima producción en unidad de tiempo.
- ✓ El cargue y transporte dentro de cualquier operación minera, puede ser el determinante clave en los costos de la operación.
- ✓ Los principales tiempos improductivos fueron detectados a la hora del inicio de turno, tiempo de alimentación y cambio de turno, y en condiciones operacionales por la mala distribución de la flota con un tiempo de espera en los puntos de cargue cercano al 12% del tiempo del turno.
- ✓ La baja utilización de la trituradora Abon, en picos productivos y nivel tecnológico elevado, acaba generando considerables pérdidas para un sistema como el encontrado.
- ✓ Con las mejoras en la eficiencia operativa de la Cantera Santa Ana, se logra una buena distribución de los equipos, disminuyendo tiempos improductivos e inmediatamente reduciendo los costos por concepto de consumo de combustible, lubricantes, consumo energético de la trituradora, engrase y prolongando la vida útil de los equipos mineros.
- ✓ Para aumentar los niveles productivos de Cantera, es importante analizar la correcta distribución de los equipos y el correcto estado de las vías, ya que debido a ésta última se estiman los ciclos de transporte.
- ✓ La identificación de falencias operativas puede ser lograda a través de la supervisión, además de permitir cualificar las habilidades del equipo de trabajo.

- ✓ Las condiciones ambientales, son factores que afectan de forma directa el proceso operacional, por lo cual se deben preservar la seguridad del equipo de trabajo y el mínimo coste por concepto de pérdidas.
- ✓ El aumento del tiempo efectivo de trabajo, es una prioridad, debido al mal índice encontrado con lo cual se deben coordinar actividades programadas de acuerdo al presente proyecto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener claridad de los planes productivos diarios brindados por materias primas, puesto que su desconocimiento puede generar pérdidas desmesuradas de tiempo por cambios en los frentes o búsqueda de calidad.
- Se recomienda garantizar la disponibilidad del sistema de trituración y maquinaria en general, al menos 30 minutos antes del inicio del turno, para evitar malas distribuciones de los equipos o pérdidas excesivas de tiempo durante la operación.
- Para mejora en la eficiencia y niveles operativos, se recomienda realizar el cálculo de la distribución de equipos durante el turno, y si se desconocen distancias hacia frentes nuevos de explotación, se sugiere hacer un recorrido preliminar.
- En pro de la conservación de la vida útil de la maquinaria, se recomienda evitar en lo posible equipos cargados a espera de descargue o en operación a espera de cargue, planear con anterioridad el trabajo que deban realizar los tractores y otros y así evitar desequilibrio en costos.
- “No se puede mejorar, lo que no se puede medir”, la mejor herramienta para la gestión de operación es el conocimiento de lo que sucede en campo de una manera precisa y oportuna para tomar decisiones correctivas, por lo que se recomienda que el registro de los informes de producción sea diligenciado de forma adecuada, con el número de equipos en operación, especificación de los frentes de trabajo, rendimientos y total producido.
- Por la mejoría en la seguridad y las actividades productivas en general, se recomienda una buena demarcación de la cantera e iluminación de los frentes en los trabajos nocturnos.
- Se recomienda mejorar los planes productivos aumentando la comunicación con los departamentos de mantenimiento y planeación.
- Se recomienda seguir con los planes de capacitación en la operación de maquinaria para el personal, puesto que así se logra una excelencia operacional y aumento de la vida útil de los equipos.
- Se recomienda garantizar un óptimo estado de las vías, para la seguridad del personal, la maquinaria, las operaciones y mitigación de los impactos ambientales.

- Continuar con la toma de datos, revalidando información y proyectar estudios futuros.
- Se recomienda finalmente, aplicar las propuestas del presente proyecto, puesto que se ha analizado de forma detallada los diferentes aspectos de la actividad operacional que intervienen de forma directa en la política de sostenibilidad de la compañía, la seguridad, el medio ambiente y la rentabilidad económica.

BIBLIOGRAFÍA.

- Manual de investigación de operaciones mineras, Msc. Mario Cuentas Alvarado, Universidad del Altiplano, facultad de ingeniería de minas, 2009.
- Ivancevich John M. 1996. Gestión de calidad y competitividad.
- Cantú García, 1995. Productividad y reducción de costos.
- Manual de rendimiento Caterpillar. Edición 42, 2012. 1457 Páginas.
- Ramírez, Mercado 1998. Productividad base de competitividad.
- Anderson, J. C., y Gerbing, D. W. (1988). Structural Equation Modeling in Practice: A review and recommended two-step approach. Psychological Bulletin, 103 (3), 411-423.
- Vallejo V. Ramón, Montse Jorba, 2010. Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo, Departamento de medio Ambiente.
- Gravinzky, Análisis Factorial, Edit. Banco de México, 1986.
- Daniel Sipper, Robert L. Bulfin, Jr., Production Planning, Control and Integration, Edit. Mc Graw-Hill, 1997.
- Minería en Chile: impacto en regiones y desafíos para su desarrollo Santiago de Chile, diciembre de 2013.
- Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto, Instituto tecnológico Geo minero de España, 1983.
- Manual de cargue y transporte en minería. Alejandro Cruzat G. Ingeniero Civil de Minas, Departamento Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, 2008.
- Estudio de actividades mineras. Miraflores, Lima – Perú, 2011.
- Métodos de explotación a minería a cielo abierto. Juan Herrera Herbert, 2006.
- Escobar Duque, Gonzalo 1988. Manual de Geología para ingenieros.
- Diseño geométrico de carreteras. Ministerio de transporte y comunicaciones, 2013, Lima-Perú.
- Glosario técnico minero, Ministerio de minas y energía, Agosto de 2003.

Norma técnica Colombiana NTC 1486

PTI Cantera Santa Ana, Cementos Argos S.A. 2008

Documentación empresa Cementos Argos S. A., Planta Cartagena.

ANEXOS