Proyecto de Aplicado: Línea Proyecto de Desarrollo Tecnológico

Diseño de indicadores de gestión en la producción y la administración de operaciones mineras para explotación de carbón bajo tierra

Elkin Giovany González González

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios - ECACEN

Maestría en Gestión de las Organizaciones

Mayo 2021

Resumen

La producción minera se ha venido administrando mediante conceptos puramente técnicos y operativos, sin embargo, debido a la complejidad de la extracción de mineral, el nivel de costos operacionales y los impactos sobre la cantidad y calidad, es necesario implementar métodos de administración moderna aplicados al sector minero Colombiano, tendientes a aumentar la productividad y la administración eficiente de los recursos económicos.

El presente documento, hace una revisión de las variables que componen el ambiente de extracción minera, su evaluación mediante el método Delphi y el desarrollo de un modelo vectorial que es capaz de articular las tres variables fundamentales: Personal, Producción y Costos en un sistema de tres dimensiones, a partir métodos estadísticos se llega a un modelo matemático que permite deducir el comportamiento de las variables mediante gráficas logarítmicas y exponenciales que facilitan la interpretación y el pronóstico de las consecuencias de una decisión operativa.

Una vez construido el modelo vectorial, se interpretan los cambios incrementales en cada eje sus causas y la metodología para evitar que sean adversos al logro de las metas de producción minera, para facilitar la administración de la operación se desarrolla un Tablero de Control que contiene la información clave para la toma de decisiones en tiempo real y un Sistema de Gestión aplicado bajo la metodología SMART, que hace que la empresa se adapte ágilmente a los nuevos indicadores y se construya un lenguaje común: objetivo, técnico y oportuno.

Palabras claves: Indicadores de gestión, producción minera, eficiencia de operaciones, modelo matemático, vectores, modelo Smart, cantidad de personal, costos de operación minera.

Abstract

Mining production has been managed through purely technical and operational concepts, however, due to the complexity of mineral extraction, the level of operational costs and the impacts on quantity and quality, it is necessary to implement modern management methods applied to Colombian mining sector, aimed at increasing productivity and efficient management of economic resources.

This document reviews the variables that make up the mining extraction environment, its evaluation using the Delphi method and the development of a vector model that is capable of articulating the three fundamental variables: Personnel, Production and Costs in a management system. three dimensions, from on statistical methods, a mathematical model is arrived at that allows the behavior of the variables to be deduced through logarithmic and exponential graphs that facilitate the interpretation and projection of the consequences of an operational decision.

Once the vector model is built, the incremental changes in each axis are interpreted, their causes and the methodology to prevent them from being adverse to the achievement of the mining production goals, to facilitate the administration of the operation, a Control Board is developed that contains the key information for decision-making in real time and a Management System applied under the SMART methodology, which enables the company to quickly adapt to the new indicators and build a common language: objective, technical and timely.

Keywords: Management indicators, mining production, operational efficiency, mathematical model, vectors, Smart model, number of personnel, mining operating costs

Tabla de Contenido

Resumen 2

Abstract 3

Título del proyecto aplicado 14

Introducción 15

Objetivos 16

Objetivo general 16

Objetivos específicos 16

Identificación de la organización sobre la que se desarrolla el sistema solución 17

Marco teórico 22

6.1 Definiciones mineras 22

6.1.1. Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas 22

6.1.2 Definiciones mineras usadas en el presente documento 22

6.2 Estadística descriptiva 28

6.2.1 Estadística 28

6.2.3 Población y muestra; estadística inductiva (o inferencial) y estadística descriptiva 29

6.2.4 Variables: Discretas Y Continuas 30

6.2.5 Funciones.....30

6.2.6 Coordenadas Rectangulares.....31

6.2.7 Logaritmos.....32

6.2.8 Promedios o medidas de tendencia central.....33

6.2.9 La media aritmética.....34

6.2.10 La mediana.....34

6.2.11 La moda.....34

6.2.12 Dispersión o variación.....35

6.2.13 Desviación media.....35

6.2.14 Desviación estándar.....35

6.2.15 Varianza.....36

6.2.16 Correlación y regresión.....36

6.2.17 Correlación lineal.....37

6.2.18 Coeficiente de correlación.....38

6.2.19 Relación entre variables.....39

6.2.20 Ajuste de curvas.....39

6.2.21 El método de mínimos cuadrados.....40

6.2.22 Teoría muestral de la correlación.....41

6.2.23 Relaciones no lineales.....41

6.2.24 Regresión.....42

6.2.25 Teoría muestral de la regresión 43

6.3 Matemática vectorial 44

6.3.1 Vectores 44

6.3.2 Escalares 45

6.3.3 Los vectores unitarios rectangulares: i, j, k 45

6.4 Diseño de indicadores de gestión 48

6.4.1 Norma UNE 66175:2003. Guía para la implantación de indicadores 48

6.4.2 Indicadores de gestión 48

6.4.3 Objetivo de los indicadores 49

6.4.4 Valoración de Indicadores 51

6.4.5 Cálculo de indicadores 52

Identificación del problema técnico 54

7.1 Técnicas de investigación 54

7.1.1 Declaración de confianza de datos estadísticos 54

7.1.2 Resultados del método Delphi 54

7.1.3 Matriz de Vester 62

7.1.4 Matriz PEST 65

7.2 Antecedentes del problema 68

7.3 Descripción del problema. 75

7.3.1 Identificación de los interesados 76

Presentación de caso 78

8.1 Recursos necesarios para el desarrollo de la solución. 78

8.2 Resultados esperados y formas de verificar el cumplimiento de los mismos a través de la formulación de indicadores clave de desempeño (KPI`s) 79

8.3 Procesos de negocio que se deberán considerar. – unidades de negocio que se deben integrar. 80

8.4 Hipótesis de trabajo para el desarrollo de la solución del problema con la solución propuesta. 81

8.5 Entregables 81

8.5.1 Modelo de indicadores de Vectores en tres dimensiones 81

8.5.2 Plan de Gestión por Compromisos y Seguimiento 81

8.5.3 Tablero de control de la operación 81

Solución al problema técnico 82

9.1 Definición de los tres ejes de producción 82

9.2 Construcción del plano P-T 89

9.3 Construcción del plano P-C 91

9.4 Construcción del plano T-C 92

9.5 Construcción del Vector de Producción 93

9.6 Construcción del Vector Meta 96

9.7 Desviaciones de eje producción 99

9.8 Desviaciones de eje costos 103

9.9 Desviaciones de eje personal 107

9.10 Análisis de escenarios 111

9.10.1 Escenario Optimista 111

9.10.2 Escenario Normal 113

9.10.3 Escenario pesimista 115

9.11 Análisis de causas y efectos. 117

9.11.1 Incumplimiento de personal 117

9.11.2 Incumplimiento por baja producción 122

9.12 Plan de Gestión por Compromisos y Seguimiento. 127

9.13 Verificar que la solución propuesta se alinee con las metas estratégicas de la compañía. 131

9.14 Plan de comunicaciones 132

9.14.1 Análisis estratégico 132

9.14.2 Definición de objetivo 134

9.14.3 Mensaje 135

9.14.4 Alcance 135

9.14.5 Canales 135

9.14.6 Seguimiento y evaluación 135

Aspectos administrativos 136

10.1 Presupuesto de Implementación del Sistema de Indicadores 136

10.2 Cronograma de Implementación del Sistema de Indicadores. 137

Lecciones aprendidas..... 138

11.1 Producción 138

11.2 Personal 138

11.3 Costos 139

11.4 Comunicación 139

Conclusiones..... 140

Recomendaciones 142

Referencias Bibliográficas..... 143

Lista de tablas

Tabla 1 Coeficiente de Competencia de expertos Método Delphi 55

Tabla 2 Análisis estadístico de Coeficiente de competencia de expertos 56

Tabla 3 Peso específico de cada componente en el costo operativo 84

Tabla 4 Registros de producción, personal y costos 86

Lista de figuras

Figura 1 Localización de las operaciones mineras 17

Figura 2 Principales usos del carbón 19

Figura 3 Necesidades del cliente 20

Figura 4 Flujograma funcional de Columbia Coal Company 21

Figura 5 Coordenadas rectangulares 32

Figura 6 Correlación lineal 38

Figura 7 Vectores en tres dimensiones 46

Figura 8 Ejemplo de vector 47

Figura 9 Cuestionario Ronda 1 56

Figura 10 Tabulación de cuestionario primera ronda 58

Figura 11 Análisis estadístico primera ronda 59

Figura 12 Cuestionario ronda 2 60

Figura 13 Tabulación de cuestionario segunda ronda 61

Figura 14 Análisis estadístico segunda ronda 61

Figura 15 Matriz de vester 63

Figura 16 Gráfica de matriz de Vester 64

Figura 17 Matriz PEST 65

Figura 18 Gestión de procesos 69

Figura 19 Composición del costo - gráfico de Paretto 70

Figura 20 Gestión de producto mineral 71

Figura 21 Tipo de carbón por calidad 72

Figura 22 Factores de producción minera 74

Figura 23 Grupos de interés 77

Figura 24 Recursos necesarios para el proyecto 78

Figura 25 Cuadro de mando KPI para seguimiento de resultados esperados 79

Figura 26 Unidades de negocio afectadas por el proyecto 80

Figura 27 Distribución de personal en la mina 82

Figura 28 Peso específico de cada componente en el costo operativo 84

Figura 29 Coeficiente de Pearson T-P 87

Figura 30 Coeficiente de Pearson P-C 87

Figura 31 Coeficiente de Pearson T-C 88

Figura 32 Plano de tres dimensiones P-T-C 89

Figura 33 Plano T-P 90

Figura 34 Plano P-C 91

Figura 35 Plano T-C 92

Figura 36 Vector (P,T,C) 94

Figura 37 Relación de dependencia de los ejes de operación 95

Figura 38 Vector pronóstico conocido número de trabajadores 97

Figura 39 Vector pronóstico conocida la producción esperada 97

Figura 40 Vector pronóstico 98

Figura 41 Vector Meta vs Real 99

Figura 42 Desviaciones en el eje de producción 100

Figura 43 Análisis de desviaciones del eje de producción 102

Figura 44 Desviaciones eje de costos 104
Figura 45 Análisis de desviaciones del eje de costos 105
Figura 46 Desviaciones en el eje de personal 108
Figura 47 Análisis de desviaciones del eje de personal 109
Figura 48 Escenario optimista 112
Figura 49 Vector escenario optimista 113
Figura 50 Escenario Normal 114
Figura 51 Vector escenario normal 115
Figura 52 Escenario pesimista 116
Figura 53 Vector escenario pesimista 117
Figura 54 Diagrama de Ishikawa para incumplimiento por bajo personal 118
Figura 55 Árbol de problemas incumplimiento por bajos niveles de personal 119
Figura 56 Árbol de objetivos cumplir con la contratación de personal 121
Figura 57 Diagrama de Ishikawa para incumplimiento por baja producción 122
Figura 58 Árbol de problemas para bajos niveles de producción 124
Figura 59 Árbol de objetivos para incumplimiento por baja producción 126
Figura 60 Plan de gestión por compromisos SMART 128
Figura 61 Tablero de control 129
Figura 62 Plan de acción de la mina 130
Figura 63 Alineación estratégica 131
Figura 64 Matriz de evaluación del factor interno 132
Figura 65 Matriz de evaluación del factor externo 133
Figura 66 Matriz DOFA 134
Figura 67 Presupuesto de implementación 136
Figura 68 Cronograma de implementación 137

Título del proyecto aplicado

Diseño de indicadores de gestión en la producción y la administración de operaciones mineras para explotación de carbón bajo tierra.

Introducción

La minería colombiana ha venido desarrollándose consecuencia de un proceso lento en el que se inició desde las actividades artesanales basadas en el conocimiento empírico, hasta la mecanización de las operaciones y la administración moderna implementada con la formalización de los procesos extractivos y la reglamentación de la actividad.

Pero la vocación minera es principalmente operativa, por esto la interpretación de las variables administrativas y la traslación del conocimiento de gerencia moderna ha sido un proceso escaso, porque la preocupación se ha centrado en buscar los recursos en materia de maquinaria y equipo para aumentar la producción y mejorar la calidad, desconociendo el impacto financiero y el uso eficiente de los recursos.

El presente documento es un aporte propio, un desarrollo matemático que hace el autor donde integra herramientas de ingeniería a la administración de las operaciones mineras, al crear un método de indicadores basados en vectores de tres dimensiones que integran las principales variables operativas de la producción minera, el proyecto deduce comportamientos de los datos en expresiones matemáticos que facilitan el análisis, la toma de decisiones, el planeamiento y la dirección de la extracción minera.

Finalmente para poner al alcance de todos los miembros de la organización el modelo, se desarrolló un tablero de control y un sistema de gestión, que permite el logro de las metas productivas en un marco de rentabilidad económica y creación de empleos de calidad.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un modelo de indicadores de producción para el sector minero colombiano que permita identificar el comportamiento de tres variables claves: Producción, Cantidad de Personal y Costos de operación.

Objetivos específicos

Desarrollar un diagnóstico de la producción minera y las variables más importantes para la producción de carbón bajo tierra.

Hacer un análisis de estadística descriptiva que permita identificar las condiciones de correlación de las variables que determinan los resultados operativos de la minería bajo tierra.

Crear un modelo vectorial de tres dimensiones que permita correlacionar las variables de operación bajo tierra, analizando los comportamientos, tendencias y proyecciones de resultados de la operación.

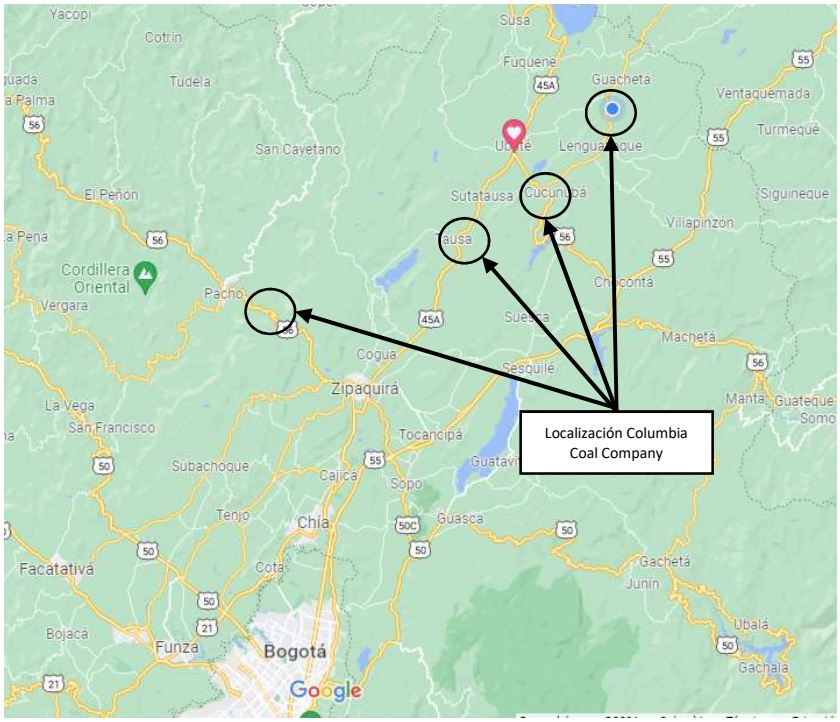
Diseñar un modelo de gestión que permita usar los indicadores del modelo para la toma de decisiones de la empresa minera.

Identificación de la organización sobre la que se desarrolla el sistema solución

La empresa que ha permitido el desarrollo del presente estudio es Columbia Coal Company SA, es una compañía dedicada a la extracción de carbón metalúrgico bajo tierra, que se utiliza para la fabricación de coque como insumo en la industria del acero, la compañía tiene varios títulos mineros y concentra su operación en minas que se ubican en los municipios de Guachetá, Cucunubá, Lenguazaque, Zipaquirá y Tausa en el departamento de Cundinamarca.

Figura 1

Localización de las operaciones mineras



Fuente: el autor.

El carbón se divide en dos tipos según su uso: carbón térmico y carbón coquizable, el primero es usado como combustible en las termoeléctricas para la generación de energía, debido a sus características, ha venido siendo reemplazado por energías limpias especialmente el uso de

hidroeléctricas. El segundo es el carbón coquizable, que se usa para fines metalúrgicos en centros industriales donde se eliminan los compuestos aromáticos y las materias volátiles y se produce un tipo de material que se conoce como coque que es usado para la producción de acero por sus rasgos físico - químicos.

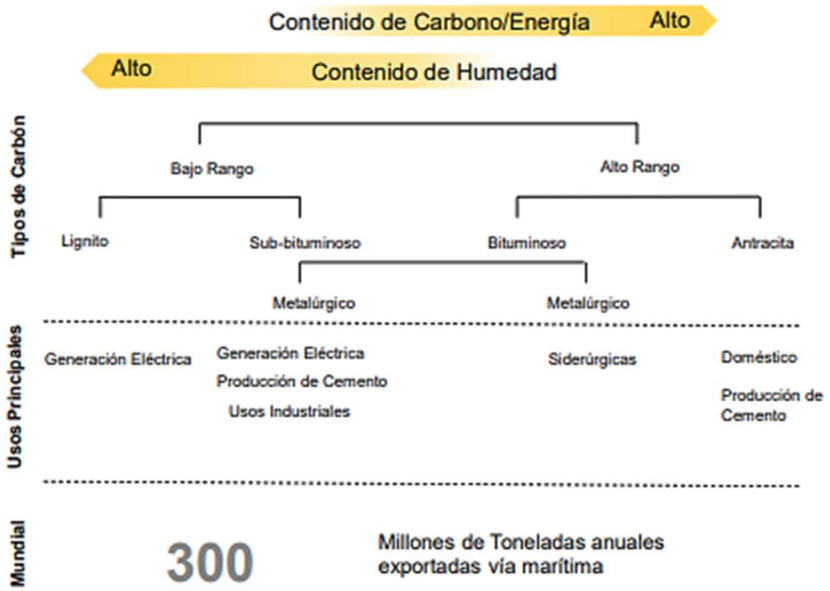
"De acuerdo con cifras de la Agencia Nacional de Minería, el sector carbón genera aproximadamente 130.000 empleos directos, dignos y bien remunerados. Si se incluyen los indirectos, más de 500.000 familias derivarían su sustento económico de esta industria y los encadenamientos productivos, claves para la economía de diversas regiones. Según datos de Fenalcarbón, en Colombia mas de 80 municipios explotan carbón y en cerca de 45 esta es la principal fuente económica.

El carbón representa para Colombia desarrollo, empleo y competitividad. El país es el principal productor en América Latina, el quinto exportador de carbón térmico del mundo y el tercero de coque metalúrgico, siendo este mineral el segundo producto de exportación en Colombia, representando el 18% del valor de las exportaciones del país, y el 76,6% de las exportaciones mineras.

"Esta industria ha aportado, en los últimos cinco años, regalías cercanas a los 10 billones de pesos, que se traducen en inversiones para las regiones, educación, salud, infraestructura, cultura, investigación, y mejoramiento de la calidad de vida para los colombianos" añade Sánchez Vergara." (FENALCARBON, 2020).

Figura 2

Principales usos del carbón



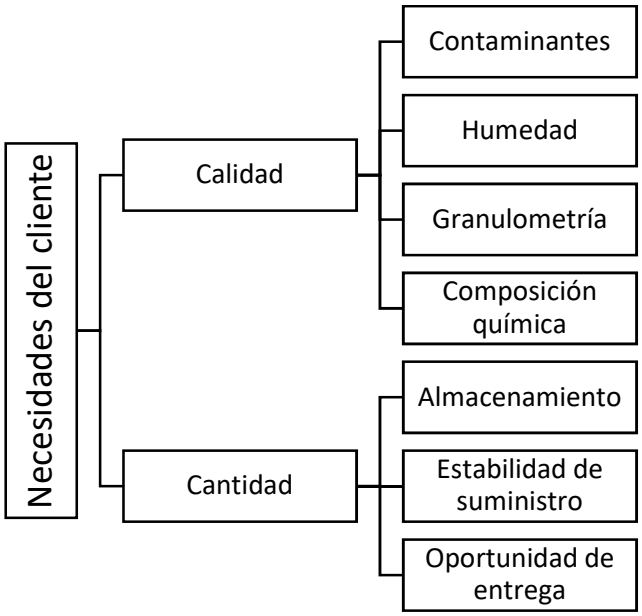
Fuente: el autor.

La empresa Columbia Coal Company se ubica entonces en el sector minero, que es una industria extractiva y su principal condición es la de ser productora de mineral con las características del sector primario de la economía, es decir que la operación tiene un gran peso específico dentro de la composición de la compañía.

La empresa define sus operaciones extrayendo el mineral según las condiciones del mercado, considerando la viabilidad extractiva y por lo tanto la calidad de reservas, solamente a aquellas que cumplan con las condiciones exigidas por la planta consumidora de la empresa CARBOCOQUE.

Figura 3

Necesidades del cliente

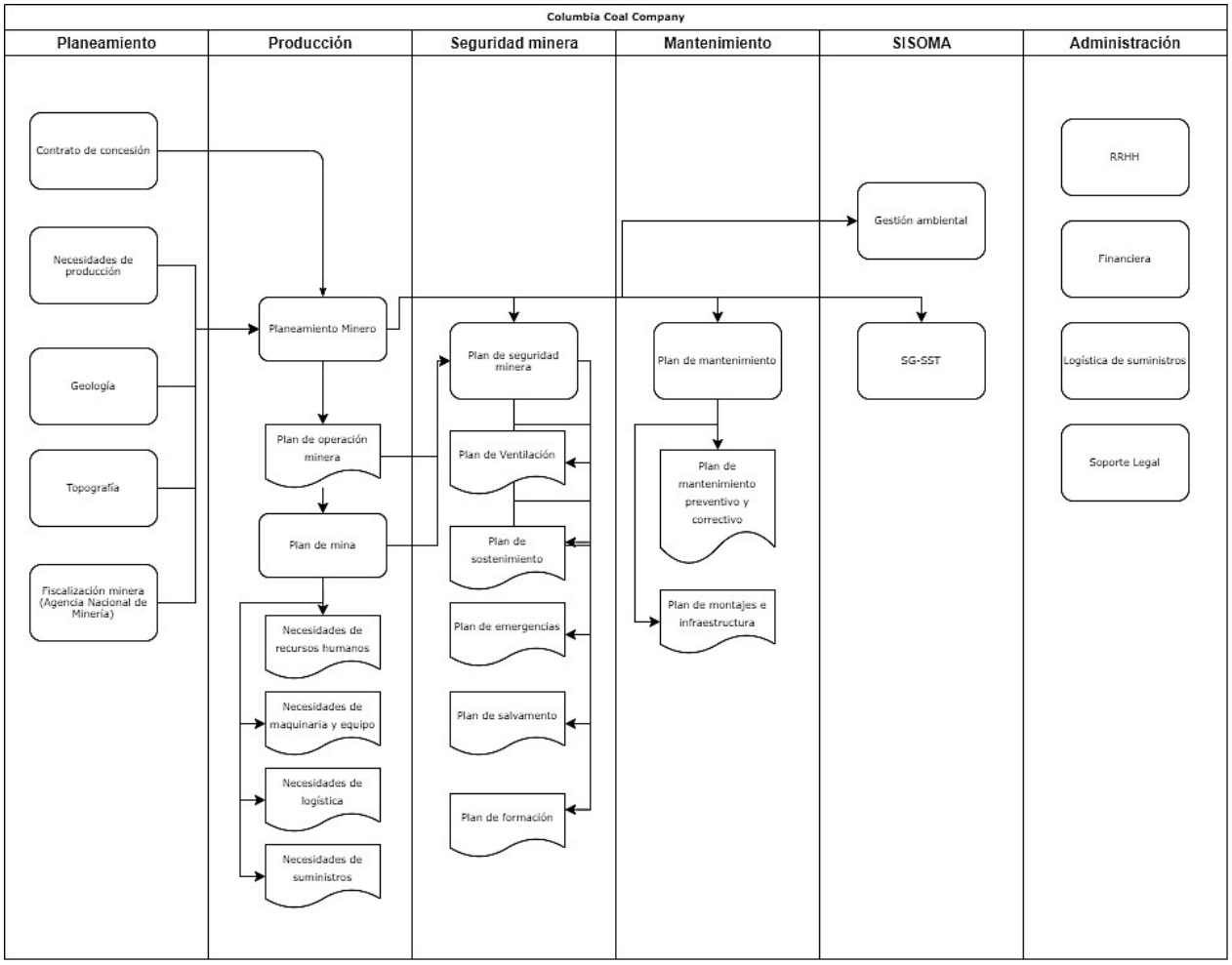


Fuente: el autor.

La empresa Columbia Coal Company entonces, de conformidad con las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales, se dedica a la producción en el marco de la legislación vigente para lo cual desarrolla un flujograma organizacional por área funcional.

Figura 4

Flujograma funcional de Columbia Coal Company



Fuente: el autor

Básicamente el centro de las operaciones es el Plan Minero donde se encuentran reflejadas las cantidades de producción, la calidad del mineral y los recursos necesarios para la producción donde se articulan las demás áreas como servicios a la operación buscando cumplir los objetivos de la empresa.

Marco teórico

6.1 Definiciones mineras

6.1.1. Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas

Se adoptó el 21 de septiembre de 2015 mediante decreto 1885 y busca dar el marco de operación de las labores mineras subterráneas que por mandato de el numeral 8° del artículo 2° y el numeral 4° del artículo 5° del Decreto 381 de 2012 le corresponde al Ministerio de Minas y Energía "Expedir los reglamentos del sector para la exploración, explotación, transporte, refinación, distribución, procesamiento, beneficio, comercialización y exportación de recursos naturales no renovables y biocombustibles"

6.1.2 Definiciones mineras usadas en el presente documento

Dentro del desarrollo del presente documento se utilizan términos mineros que se enmarcan en las definiciones reglamentadas por el Decreto 1886 correspondiente al Reglamento de Seguridad en las labores mineras subterráneas artículo 7.

6.1.2.1 ANM

"Agencia Nacional de Minería, Autoridad Minera." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.2 Autoridad ambiental

"Es la autoridad que a su cargo la vigilancia, recuperación, conservación y control los recursos naturales renovables al igual que aprobar de impacto ambiental, adoptar términos y aprobar o rechazar la Licencia Ambiental, delimitar geográficamente las reservas forestales, sancionar de acuerdo con las normas recibir los avisos de iniciación y terminación de explotaciones mineras." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.3 Autoridad minera

“Agencia Nacional de Minería (ANM), de acuerdo con el Decreto 4134 de 2011 o quien haga sus veces.” (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.4 Coche

“Carro de o para transportar el u otros materiales a superficie. Término "coche" se utiliza especialmente en labores mineras donde el transporte es manual (tracción humana).” (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.5 Código minas

“Normas contenidas en la 685 2001 o que modifiquen, complementen o sustituyan que regulan las eI8ICICmE!S entre los organismos y entidades del Estado, y de los particulares entre sí, sobre actividades prospección, exploración, explotación, beneficio, transporte, aprovechamiento y comercialización de los recursos no renovables que se encuentren en el o subsuelo, sin consideración a la propiedad, posesión o tenencia los correspondientes terrenos, sean de otras entidades públicas, de particulares o de comunidades o grupos.” (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.6 Desarrollo (minería subterránea)

“Desarrollo es una previa a la preparación y comprende las labores mineras encaminadas a crear los accesos y vías internas que permiten llegar a comunicar al depósito con el fin preparar la extracción y el transporte del mismo.” (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.7 Diaclasa

"Grieta que se forma en una roca sin existir los bloques a ambos lados de la misma." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.8 Empresa minera

"Unidad organizacional que se dedica a la exploración, construcción y montaje, preparación, desarrollo, explotación, beneficio y transformación uno o minerales con industriales o económicos, o actividades relacionadas en la construcción, capacitación, en trabajos y obras en subterráneas." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.9 Exploración

"Búsqueda de depósitos minerales mediante labores para proporcionar o establecer presencia, cantidad y calidad de un depósito en un exploración regional es la primaria de un proyecto exploración encaminada a la delimitación inicial de un m identificado en etapa prospección, con evaluación preliminar de la cantidad y calidad. Objetivo es establecer las principales características geológicas depósito y proporcionar una indicación razonable su continuidad y una primera evaluación sus dimensiones, su configuración, su estructura y su contenido; grado de exactitud deberá ser suficiente para decidir si se justifican posteriores estudios de pre factibilidad minera y una exploración detallada. Exploración detallada comprende el conjunto actividades geológicas destinadas a conocer tamaño, forma, posición, características mineralógicas, cantidad calidad de recursos o las reservas un depósito mineral. Exploración incluye métodos geológicos, geofísicos y geoquímicos." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.10 Explosivo

"Sustancia o de sustancias químicas que tienen la propiedad rápidamente generando altas y presiones." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.11 Explotación minera bajo tierra o de socavón

"Actividad minera encaminada a la de minerales por medio excavaciones subterráneas, que comprende como: y preparación de labores mineras subterráneas; operaciones unitarias cargue y operaciones auxiliares de sostenimiento, ventilación, desagüe, iluminación, entre otras; extracción del mineral y estabilización de las áreas afectadas por la explotación." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.12 Explotador minero

"Persona natural o jurídica que realiza actividad minera bajo tierra o de socavón, independientemente de que tenga título minero a su nombre o realice la explotación minera con el permiso o autorización de la persona que ostenta el título minero." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.13 Labor subterránea

"Es toda excavación que se realice bajo tierra con propósito de explotación, cuantificación o Se incluyen además en la definición, aquellos trabajos subterráneos que se efectúen para el montaje de obras civiles, a las cuales tengan acceso las personas." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.14 Locomotora

"Vehículo motor, que no forma parte de una unidad motora ni lleva ninguna carga útil y que se encarga de mover otros vehículos (vagonetas), utilizada en galerías de minas o en instalaciones subterráneas (labores con sistema de extracción mecanizado), Puede ser de combustión interna (Diesel) o eléctrica." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.15 Malacate (industria minera)

"Equipo utilizado para el ascenso o el descenso de materiales (mena, roca, carbón y otros) o suministros, en una mina (particularmente minas subterráneas) mediante un coche, jaula o skip. Está constituido por un tambor en el que se enrolla el cable de acero al que está unido el medio de transporte. También se emplea para el transporte de personal en jaula o skip, de acuerdo con lo definido en el presente Reglamento." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.16 Mina subterránea

"Excavación que tiene como propósito la explotación económica de un yacimiento mineral, puede constar como mínimo de dos accesos, pero que en conjunto forman una unidad de explotación técnica o económica. Hacen parte de dicha unidad, los mantos de carbón u otro mineral contenidos en el área considerada, las instalaciones y obras del subsuelo y las de superficie necesaria para la explotación, beneficio y cargue del mineral extraído." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.17 Sostenimiento

"Acciones y dispositivos aislados o estructuras de cualquier naturaleza que sirven para mantener abiertos los minera subterránea con una sección suficiente para la circulación del y el tráfico o transporte equipos. Además, tiene por finalidad impedir derrumbe los techos y paredes, mantener la cohesión de los terrenos y evitar la caída de de roca de cualquier dimensión. Así se usó estructura de elementos para controlar la deformación o la caída la roca de o paredes en las labores mineras subterráneas." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.18 Supervisor

"Persona con la capacidad y calificación necesarias para planear, dirigir y controlar diversas de desarrollo, preparación y explotación de la labor minera subterránea, según alcance establecido por la empresa. La designación del supervisor no significa la creación de un nuevo cargo, ni aumento en la nómina de la mina o empresa, esta función ser llevada a cabo por un trabajador idóneo designado por el empleador." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.19 Titular derecho minero o beneficiario derecho minero

"Persona natural o jurídica que cuente con una licencia, permiso, contrato de concesión o contrato celebrado sobre de aporte, vigente entrar a 685 de 2001 y las situaciones jurídicas individuales, subjetivas y provenientes títulos de privada de minas perfeccionadas de la vigencia la Ley 685 de 2001 (Art. 14, ibídem) o aquellas que la modifiquen o sustituyan." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.20 Título minero

"Acto administrativo mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar recursos no renovables yacentes en suelo y el subsuelo minero de propiedad de la Nación, inscrito y en el Registro Minero Nacional." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.1.2.21 Personal de dirección técnica y operacional.

"La Autoridad Minera, encargada de la administración de los recursos mineros, responsable de evaluar y aprobar el Programa de Trabajos y Obras - PTO-, deberá tener en cuenta lo relacionado con el personal técnico y operacional requerido para la ejecución de los trabajos mineros, de tal forma que estos se desarrollen bajo condiciones seguras." (Ministerio de Minas y Energía. 2015)

6.2 Estadística descriptiva

El sustento técnico del presente documento está en la interpretación del comportamiento de variables operativas del proceso de extracción de carbón bajo tierra, lo que implica que se deben analizar datos e interpretar comportamientos, mediante el uso de conceptos estadísticos de uso común para lo que se utilizan las definiciones técnicas contempladas en el libro de SPIEGEL, M. (2009). ESTADISTICA. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.1 Estadística

"La estadística se ocupa de los métodos científicos que se utilizan para recolectar, organizar, resumir, presentar y analizar datos así como para obtener conclusiones válidas y tomar decisiones razonables con base en este análisis. El término estadística también se usa para denotar

los datos o los números que se obtienen de esos datos; por ejemplo, los promedios. Así, se habla de estadísticas de empleo, estadísticas de accidentes, etcétera." (Spiegel, 2009)

En el presente estudio, los datos recaudados por la empresa minera son utilizados para determinar comportamientos y tendencias, lo que permite interpretar comportamientos de producción minera y de operación, los impactos sobre las decisiones de la empresa y las recomendaciones a tener en cuenta basados en la experiencia.

6.2.3 Población y muestra; estadística inductiva (o inferencial) y estadística descriptiva

"Cuando se recolectan datos sobre las características de un grupo de individuos o de objetos, por ejemplo, estatura y peso de los estudiantes de una universidad o cantidad de pernos defectuosos y no defectuosos producidos en determinado día en una fábrica, suele ser imposible o poco práctico observar todo el grupo, en especial si se trata de un grupo grande. En vez de examinar todo el grupo, al que se le conoce como población o universo, se examina sólo una pequeña parte del grupo, al que se le llama muestra. Las poblaciones pueden ser finitas o infinitas. Por ejemplo, la población que consta de todos los pernos producidos determinado día en una fábrica es finita, en tanto que la población que consta de todos los resultados (cara o cruz) que se pueden obtener lanzando una y otra vez una moneda es infinita. Si la muestra es representativa de la población, el análisis de la muestra permite inferir conclusiones válidas acerca de la población. A la parte de la estadística que se ocupa de las condiciones bajo la cuales tales inferencias son válidas se le llama estadística inductiva o inferencial. Como estas inferencias no pueden ser absolutamente ciertas, para presentar estas conclusiones se emplea el lenguaje de la probabilidad. A la parte de la estadística que únicamente trata de describir y analizar un grupo dado, sin sacar ninguna conclusión ni hacer inferencia alguna acerca de un grupo más grande, se

le conoce como estadística descriptiva o deductiva. Antes de proceder al estudio de la estadística, se analizarán algunos conceptos matemáticos importantes." (Spiegel, 2009)

Los datos de producción minera, personal y costos operacionales son usados como población y muestra para la aplicación de las interpretaciones estadísticas, la búsqueda de comportamientos repetitivos y tendencias, que permitan sustento técnico en la toma de decisiones y planeamiento minero.

6.2.4 Variables: Discretas Y Continuas

"Una variable es un símbolo; por ejemplo, X, Y, H, x o B, que puede tomar cualquiera de los valores de determinado conjunto al que se le conoce como dominio de la variable. A una variable que sólo puede tomar un valor se le llama constante. Una variable que puede tomar cualquiera de los valores entre dos números dados es una variable continua; de lo contrario es una variable discreta." (Spiegel, 2009)

La deducción de las variables de la operación minera, es parte fundamental del estudio, para esto se usó el Metogo Delphi que se incluye en el presente documento y es sustento técnico que permitió delimitar los alcances del modelo matemático de los vectores en tres dimensiones que son el corazón de los entregables.

6.2.5 Funciones

"Si a cada valor que puede tomar la variable X le corresponde un valor de una variable Y, se dice que Y es función de X y se escribe Y = F(X) (se lee "Y es igual a F de X") para indicar esta dependencia funcional. En lugar de F también pueden usarse otras letras (G, φ, etcétera). La variable X es la variable independiente y la variable Y es la variable dependiente. Si a cada valor de X le corresponde únicamente un valor de Y, se dice que Y es una función univaluada de X; de lo contrario, se dice que es una función multivaluada de X" (Spiegel, 2009)

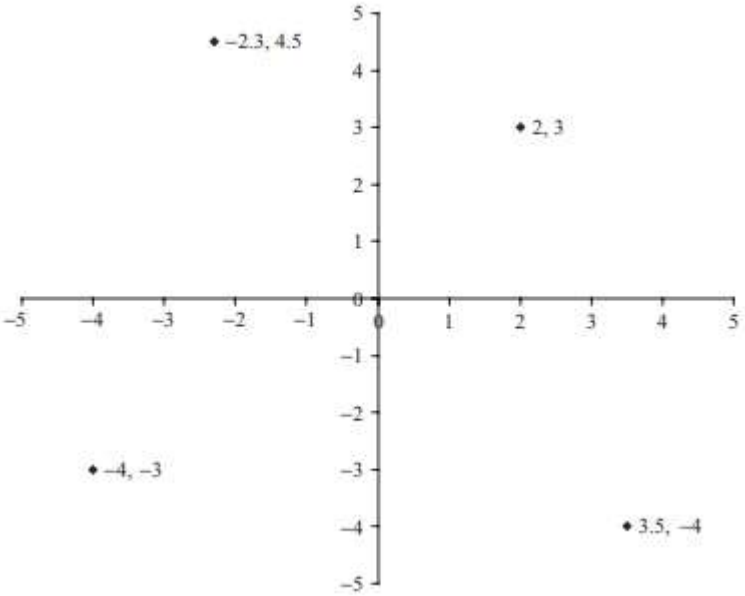
Las determinación de las funciones de dependencia Costos de producción en función de producción y Costos de producción en función de la cantidad de personal asociado a la operación minera, se tratan con detalle en capítulos posteriores, pero su deducción e interpretación matemática son fundamento para la posterior toma de decisiones.

6.2.6 Coordenadas Rectangulares

"En la figura se muestra un diagrama de dispersión de EXCEL con cuatro puntos. Este diagrama de dispersión está formado por dos rectas mutuamente perpendiculares llamadas ejes X y Y. El eje X es horizontal y el eje Y es vertical. Estos dos ejes se cortan en un punto llamado origen. Estas dos rectas dividen al plano XY en cuatro regiones que se denotan I, II, II y IV, a las que se les conoce como primero, segundo, tercero y cuarto cuadrantes. En la figura 1-1 se muestran cuatro puntos. El punto (2, 3) está en el primer cuadrante y se grafica avanzando, desde el origen, 2 unidades a la derecha sobre el eje X y desde ahí, 3 unidades hacia arriba. El punto (−2.3, 4.5) está en el segundo cuadrante y se grafica avanzando, desde el origen, 2.3 unidades a la izquierda sobre el eje X y desde ahí, 4.5 unidades hacia arriba. El punto (−4, −3) está en el tercer cuadrante y se grafica avanzando, desde el origen, 4 unidades a la izquierda sobre el eje X, y desde ahí 3 unidades hacia abajo. El punto (3.5, −4) está en el cuarto cuadrante y se grafica avanzando 3.5 unidades a la derecha sobre el eje X, y desde ahí 4 unidades hacia abajo. El primer número de cada uno de estos pares es la abscisa del punto y el segundo número es la ordenada del punto. La abscisa y la ordenada, juntas, son las coordenadas del punto. Las ideas anteriores pueden ampliarse construyendo un eje Z a través del origen y perpendicular al plano XY. En este caso las coordenadas de cada punto se denotan (X, Y, Z)" (Spiegel, 2009)

Figura 5

Coordenadas rectangulares



Fuente: Spiegel, M. (2009). *Estadística*. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

Esto es válido para las tres dimensiones, donde se incluye un eje adicional creando tres planos ortogonales, uno horizontal y dos verticales, que son definidos por tres ejes perpendiculares y que se usan en el modelo de indicadores vectoriales que se propone como manera de interpretar las tres variables definidas por el estudio: producción, personal y costos. Las interacciones en los tres planos produce tres tipos de comportamientos y permite el pronóstico basado en la información que tiene la empresa en un periodo de tiempo.

6.2.7 Logaritmos

"Si x > 0, b > 0 y b 1, y = logb x si y sólo si log b y = x. Un logaritmo es un exponente. Es la potencia a la que hay que elevar la base b para obtener el número del que se busca el logaritmo. Las dos bases más utilizadas son el 10 y la e, que es igual a 2.71828182. . . A los

logaritmos base 10 se les llama logaritmos comunes y se escriben log10 x o simplemente log(x). A los logaritmos base e se les llama logaritmos naturales y se escriben ln(x).” (Spiegel, 2009)

Las variables interpretadas cumplen con este tipo de comportamiento por esto es importante entender la relación entre producción – costos y Personal – costos, como una definición matemática logarítmica y exponencial.

6.2.8 Promedios o medidas de tendencia central

“Un promedio es un valor típico o representativo de un conjunto de datos. Como estos valores típicos tienden a encontrarse en el centro de los conjuntos de datos, ordenados de acuerdo con su magnitud, a los promedios se les conoce también como medidas de tendencia central. Se pueden definir varios tipos de promedios; los más usados son la media aritmética, la mediana, la moda, la media geométrica y la media armónica. Cada una de ellas tiene ventajas y desventajas de acuerdo con el tipo de datos y el propósito de su uso” (Spiegel, 2009)

La determinación de promedios de producción minera, de rendimientos de productividad y de costos de operación permiten tomar decisiones presupuestales dentro de la mina, esto facilita la proyección de presupuesto y la elaboración de la planeación minera.

6.2.9 La media aritmética

"La media aritmética, o brevemente la media, de un conjunto de N números X1, X2, X3, . . . , XN se denota así:" (Spiegel, 2009).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_j}{N} = \frac{\sum X}{N}$$

Fuente: Spiegel, M. (2009). *Estadística*. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.10 La mediana

"La mediana de un conjunto de números acomodados en orden de magnitud (es decir, en una ordenación) es el valor central o la media de los dos valores centrales." (Spiegel, 2009).

$$\text{Mediana} = L_1 + \left(\frac{\frac{N}{2} - (\sum f)_1}{f_{\text{mediana}}} \right) c$$

Fuente: Spiegel, M. (2009). *Estadística*. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.11 La moda

"La moda de un conjunto de números es el valor que se presenta con más frecuencia; es decir, es el valor más frecuente. Puede no haber moda y cuando la hay, puede no ser única" (Spiegel, 2009)

$$\text{Moda} = L_1 + \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) c$$

Fuente: SPIEGEL, M. (2009). ESTADISTICA. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.12 Dispersión o variación

"El grado de dispersión de los datos numéricos respecto a un valor promedio se llama dispersión o variación de los datos. Existen varias medidas de dispersión (o variación); las más usadas son el rango, la desviación media, el rango semiintercuartil, el rango percentil 10-90 y la desviación estándar." (Spiegel, 2009).

6.2.13 Desviación media

"La desviación media, o desviación promedio, de un conjunto de N números X1, X2, . . . , XN se abrevia DM y está definida así:" (Spiegel, 2009).

$$\text{Desviación media (DM)} = \frac{\sum_{j=1}^{N} |X_j - \bar{X}|}{N} = \frac{\sum |X - \bar{X}|}{N} = \overline{|X - \bar{X}|}$$

Fuente: SPIEGEL, M. (2009). ESTADISTICA. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.14 Desviación estándar

"La desviación estándar de un conjunto de N números X1, X2, . . . , XN se denota como s y está definida por" (Spiegel, 2009).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} (X_j - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} = \sqrt{\overline{(X - \bar{X})^2}}$$

Fuente: SPIEGEL, M. (2009). ESTADISTICA. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.15 Varianza

"La varianza de un conjunto de datos se define como el cuadrado de la desviación estándar y, por lo tanto, corresponde al valor s 2 en las ecuaciones. Cuando es necesario distinguir la desviación estándar de una población de la desviación estándar de una muestra obtenida de esa población, se suele emplear s para la última y σ (letra griega sigma minúscula) para la primera." (Spiegel, 2009).

6.2.16 Correlación y regresión

"En el capítulo 13 se consideró el problema de la regresión, o estimación de una variable (la variable dependiente) a partir de una o más variables (las variables independientes). En este capítulo se hará referencia a un problema relacionado con el de la correlación o grado de relación entre las variables, en el que se busca determinar qué tan bien una ecuación lineal, o de otro tipo, describe o explica la relación entre las variables. Si todos los valores de las variables satisfacen con exactitud una ecuación, se dice que las variables están en perfecta correlación o que hay una correlación perfecta entre ellas. Así, las circunferencias C y los radios r de todos los círculos están perfectamente correlacionados, ya que $C = 2\pi r$. Cuando se lanzan 100 veces dos dados en forma simultánea entre los puntos que aparecen en cada uno de ellos no hay relación alguna (a menos que estén cargados); es decir, no están correlacionados. Sin embargo, variables como el peso y la estatura de una persona muestran cierta correlación. Cuando intervienen sólo dos variables se habla de correlación simple y de regresión simple. Cuando intervienen más de dos variables, se habla de correlación múltiple y de regresión múltiple. En este capítulo sólo se

considerará la correlación simple. En el capítulo 15 se consideran la correlación y la regresión múltiples." (Spiegel, 2009).

El sustento básico de la elaboración de los indicadores de gestión para la operación es la deducción de correlaciones entre las variables de producción, personal y costos, para esto se usa la estadística como ciencia matemática que facilita esta interpretación.

6.2.17 Correlación lineal

"Si X y Y son las dos variables en consideración, un diagrama de dispersión sirve para mostrar la localización de los puntos (X, Y) en un sistema de coordenadas rectangulares. Si en este diagrama de dispersión todos los puntos parecen encontrarse cerca de una línea recta, como en las figuras 14-1a) y 14-1b), a la correlación se le llama lineal. En estos casos, como se vio en el capítulo 13, una ecuación lineal es lo apropiado con el propósito de regresión (o estimación). Si Y tiende a aumentar a medida que X aumenta, como en la figura 14-1a), se dice que la correlación es una correlación positiva o directa. Si Y tiende a disminuir a medida que X aumenta, como en la figura 14-1b), se dice que es una correlación negativa o inversa. Si todos los puntos parecen encontrarse en una curva, esta correspondencia se llama no lineal, y según se vio en el capítulo 13, lo apropiado para la regresión es una ecuación no lineal. Es claro que la correlación no lineal puede ser algunas veces positiva y otras veces negativa. Si no parece haber relación entre las variables, como en la figura 14-1c), se dice que no hay relación entre ellas (es decir, están descorrelacionadas)." (Spiegel, 2009).

Figura 6

Correlación lineal

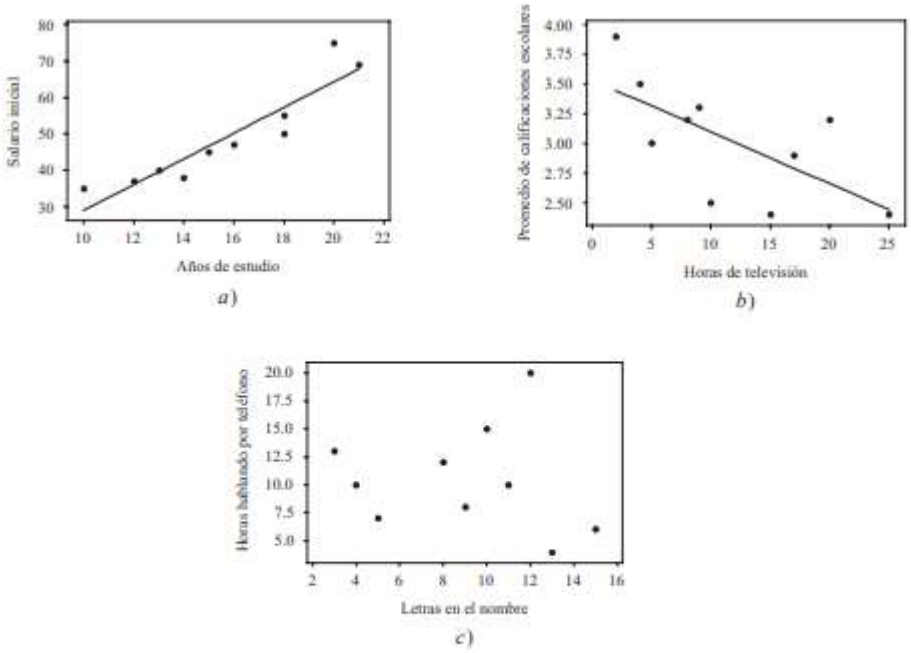


Figura 14-1 Ejemplos de correlación positiva, correlación negativa y ninguna correlación. *a*) El salario inicial y los años de estudio se correlacionan en forma positiva; *b*) el promedio de las calificaciones escolares y las horas que se pasa viendo la televisión se correlacionan negativamente; *c*) entre la cantidad de horas que se habla por teléfono y el número de letras que tiene el nombre de una persona no hay correlación.

Fuente: Spiegel, M. (2009). *Estadística*. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.18 Coeficiente de correlación

"Al cociente de la variación explicada entre la variación total se le llama coeficiente de determinación. Si hay cero variación explicada (es decir, si la variación total es sólo variación no explicada), este cociente es 0. Si hay 0 variación no explicada (es decir, si la variación total es sólo variación explicada), este cociente es 1. En los demás casos, este cociente se encuentra entre 0 y 1; como siempre es no negativo, se denota r^2". (Spiegel, 2009).

$$r = \pm\sqrt{\frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}}} = \pm\sqrt{\frac{\sum (Y_{est} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

Fuente: Spiegel, M. (2009). *Estadística*. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

6.2.19 Relación entre variables

"Con frecuencia, en la práctica se encuentra que existen relaciones entre dos (o más) variables. Por ejemplo, el peso de los hombres adultos depende de alguna manera de su estatura; la circunferencia de un círculo depende de su radio, y la presión de una masa de gas depende de su temperatura y volumen. Es útil expresar estas relaciones en forma matemática mediante una ecuación que conecte estas variables." (Spiegel, 2009).

Para el presente estudio las relaciones entre producción, cantidad de personal operativo y costos de operación.

6.2.20 Ajuste de curvas

"Para hallar una ecuación que relacione las variables, el primer paso es obtener datos que muestren los valores de las variables que se están considerando. Por ejemplo, si X y Y denotan, respectivamente, la estatura y el peso de hombres adultos, entonces en una muestra de N individuos se hallan las estaturas X1, X2, . . . , XN y los correspondientes pesos Y1, Y2, . . . , YN. El paso siguiente es graficar los puntos (X1, Y1), (X2, Y2), . . . , (XN, YN) en un sistema de coordenadas rectangulares. Al conjunto de puntos obtenido se le llama diagrama de dispersión. En el diagrama de dispersión es posible visualizar alguna curva cuya forma se aproxime a los datos. A esta curva se le llama curva de aproximación. Por ejemplo, en la figura 13-1 los datos al parecer se aproximan adecuadamente mediante una línea recta; entonces se dice que entre las variables existe una relación lineal. En cambio, en la figura 13-2, aunque existe una relación entre

las variables, esta relación no es una relación lineal y por lo tanto se le llama relación no lineal. En general, al problema de hallar la ecuación de una curva de aproximación que se ajuste a un conjunto dado de datos se le conoce como ajuste de curvas." (Spiegel, 2009).

6.2.21 El método de mínimos cuadrados

"Para evitar el empleo del criterio personal para la construcción de rectas, parábolas u otras curvas de aproximación que se ajusten a un conjunto de datos, es necesario ponerse de acuerdo en una definición de la "recta de mejor ajuste", la "parábola de mejor ajuste", etcétera. Con objeto de dar una definición, considérese la figura, en la que los datos son los puntos (X1, Y1), (X2, Y2), . . . , (XN, YN). Dado un valor de X, por ejemplo X1, entre el valor Y1 y el valor correspondiente determinado de acuerdo con la curva C habrá una diferencia. Como se muestra en la figura, esta diferencia se denota D1 y se llama la desviación, el error o el residual y puede ser positivo, negativo o cero. De manera semejante se obtienen las desviaciones X2, . . . , XN correspondientes a cada valor D2, . . . , DN. Una medida de la "bondad de ajuste" de la curva C a los datos dados es la cantidad D2. Si esta cantidad es pequeña, el ajuste es bueno; si es grande, el ajuste es malo. De esta manera se llega a la definición siguiente:

Definición: De todas las curvas que se aproximan a un conjunto dado de puntos, a la curva que tiene la propiedad de que $D^2_1 + D^2_2 + \ldots + D^2_n$ sea la mínima se le llama curva de mejor ajuste.

Una curva que tiene esta propiedad se dice que se ajusta a los datos en el sentido de mínimos cuadrados y se le llama curva de mínimos cuadrados. De manera que una recta que tiene esta propiedad se dice que es una recta de mínimos cuadrados, una parábola que tiene esta propiedad es una parábola de mínimos cuadrados, etcétera. La definición anterior suele emplearse cuando X es la variable independiente y Y es la variable dependiente. Si X es la variable

dependiente, la definición se modifica considerando desviaciones horizontales en lugar de desviaciones verticales, lo que equivale a intercambiar los ejes X y Y. Por lo general, estas dos definiciones llevan a curvas distintas de mínimos cuadrados. En este libro, a menos que se especifique otra cosa, se considerará que X es la variable independiente y que Y es la variable dependiente. También pueden definirse otras curvas de mínimos cuadrados considerando las distancias perpendiculares del punto a la curva en lugar de las distancias verticales u horizontales. Sin embargo, esto no suele usarse." (Spiegel, 2009).

6.2.22 Teoría muestral de la correlación

"Los N pares de valores (X, Y) de dos variables pueden considerarse como muestras de una población que consta de todos estos pares. Como hay dos variables, a esta población se le llama población bivariada, la que se supondrá tiene una distribución normal bivariada. Se puede pensar que existe un coeficiente de correlación poblacional teórico, denotado ρ, que se estima por el coeficiente de correlación muestral r. Las pruebas de significancia o de hipótesis relacionadas con los diferentes valres de ρ requieren del conocimiento de la distribución muestral de r. Para $\rho = 0$ esta distribución es simétrica y se usa un estadístico que implica la distribución de Student. Para $\rho \neq 0$ esta distribución es sesgada; en ese caso, una transformación desarrollada por Fischer da un estadístico que está distribuido en forma aproximadamente normal." (Spiegel, 2009).

6.2.23 Relaciones no lineales

"Algunas veces, las relaciones no lineales pueden reducirse a relaciones lineales mediante transformaciones adecuadas de las variables (ver problema 13.21). LA PARÁBOLA DE MÍNIMOS CUADRADOS La parábola de mínimos cuadrados que aproxima el conjunto de puntos (X1, Y1), (X2, Y2), . . . ,(XN, YN) tiene la ecuación:" (Spiegel, 2009).

$$Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2$$

"Donde las constantes a0, a1 y a2 se determinan resolviendo simultáneamente las ecuaciones

$$\begin{aligned}
\sum Y &= a_0 N + a_1 \sum X + a_2 \sum X^2 \\
\sum XY &= a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum X^3 \\
\sum X^2 Y &= a_0 \sum X^2 + a_1 \sum X^3 + a_2 \sum X^4
\end{aligned}$$

Para recordar las ecuaciones, obsérvese que se pueden obtener formalmente multiplicando la ecuación (22) por 1, X y X 2 , respectivamente, y sumando a ambos lados de las ecuaciones resultantes. Esta técnica puede extenderse a las ecuaciones normales de curvas cúbicas de mínimos cuadrados, ecuaciones cuárticas de mínimos cuadrados y, en general, a cualquiera de las curvas de mínimos cuadrados correspondientes a la ecuación.

Como en el caso de la recta de mínimos cuadrados, las ecuaciones (23) se simplifican si las X se escogen de manera que Σ X = 0. Estas ecuaciones también se simplifican empleando las nuevas variables X = X - $\bar{X}$ y Y = Y- $\bar{Y}$" (Spiegel, 2009).

6.2.24 Regresión

"Con frecuencia se desea estimar el valor de la variable Y que corresponde a un valor dado de la variable X, basándose en los datos muestrales. Esto se hace estimando el valor de Y a partir de la curva de mínimos cuadrados ajustada a los datos muestrales. A la curva de mínimos cuadrados se le llama curva de regresión de Y en X, debido a que Y se estima a partir de X. Si lo que se desea es estimar un valor de X a partir de un valor dado de Y, se emplea la curva de regresión de X en Y, que es lo mismo que intercambiar las variables en el diagrama de dispersión, de manera que X sea la variable dependiente y Y sea la variable independiente. En este caso se sustituyen las desviaciones verticales, de la definición de la curva de mínimos cuadrados, por desviaciones horizontales. En general, la recta o la curva de regresión de Y en X no es igual a la recta o a la curva de regresión de X en Y" (Spiegel, 2009).

Esto sirve en el proyecto para lograr identificar una fórmula matemática que represente el comportamiento de las variables de producción, costos de operación y cantidad de personal, en una gráfica que permita pronosticar las consecuencias de aumentar la cantidad de personal o de producción y predecir el comportamiento sobre los costos de operación, lo que ayuda a sustentar la toma de decisiones en la operación.

6.2.25 Teoría muestral de la regresión

"La ecuación de regresión Y = a0 + a1X se obtiene basándose en datos muestrales. Se desea conocer la correspondiente ecuación de regresión para la población de la que se obtuvo la muestra. A continuación se presentan tres pruebas relacionadas con esta población:

1. Prueba de hipótesis a1 = A1. Para probar la hipótesis de que el coeficiente de regresión a1 es igual a algún valor dado A1, se emplea el hecho de que el estadístico

$$t = \frac{a_1 - A_1}{s_{Y.X}/s_X}\sqrt{N-2}$$

Tiene una distribución de Student con N − 2 grados de libertad. Esto también se puede emplear para hallar intervalos de confianza para los coeficientes de regresión poblacional a partir de valores muestrales

2 Prueba de la hipótesis para valores pronosticados. Sea Y0 el valor pronosticado para Y, correspondiente a X = X0, mediante la ecuación de regresión muestral (es decir, Y0 = a0 + a1X0). Sea YP el valor pronosticado para Y que corresponde a X = X0 en la población. Entonces, el estadístico.

$$t = \frac{Y_0 - Y_p}{s_{Y.X}\sqrt{N+1+(X_0-\bar{X})^2/s_X^2}}\sqrt{N-2} = \frac{Y_0 - Y_p}{\hat{s}_{X.Y}\sqrt{1+1/N+(X_0-\bar{X})^2/(Ns_X^2)}}$$

Tiene una distribución de Student con N − 2 grados de libertad. A partir de esta fórmula se pueden hallar límites de confianza para valores poblacionales pronosticados.

3 Prueba de hipótesis para valores pronosticados para la media. Sea Y0 el valor pronosticado para Y, correspondiente a X = X0, empleando la ecuación de regresión muestral (es decir, Y0 = a0 + a1X0). Sea Yp el valor medio pronosticado de Y que corresponde a X = X0 en la población. Entonces el estadístico

$$t = \frac{Y_0 - \bar{Y}_p}{s_{Y.X}\sqrt{1 + (X_0 - \bar{X})^2/s_X^2}}\sqrt{N-2} = \frac{Y_0 - \bar{Y}_p}{\hat{s}_{Y.X}\sqrt{1/N + (X_0 - \bar{X})^2/(Ns_X^2)}}$$

tiene una distribución de Student con N − 2 grados de libertad. A partir de esta fórmula se pueden hallar límites de confianza para valores pronosticados para la media poblacional" (Spiegel, 2009).

6.3 Matemática vectorial

El modelo propuesto para la interpretación de los indicadores es un vector de tres dimensiones que representa la tendencia de las tres variables asociadas a los ejes de comportamiento de la producción minera.

6.3.1 Vectores

"Hay cantidades en física y otras ciencias que se caracterizan por tener magnitud y dirección, tales como el desplazamiento, velocidad, fuerza y aceleración. Para describir dichas cantidades definimos el concepto de vector como el segmento de recta $\overrightarrow{PQ}$que va de un punto P a otro punto Q. Aquí se llama a P el punto inicial u origen de $\overrightarrow{PQ}$ y Q se denomina punto terminal, fin o término del vector". (Murray, 2009)

6.3.2 Escalares

"Otras cantidades de la física y de las ciencias se caracterizan por tener sólo magnitud, por ejemplo, la masa, la longitud y la temperatura. Es frecuente llamar escalares a dichas cantidades para diferenciarlas de los vectores. Sin embargo, debe recalcarse que aparte de tener unidades tales como pies, grados, etc., los escalares no son más que números reales. Por eso es posible denotarlos con letras comunes. Los números reales 0 y 1 también forman parte del conjunto de escalares" (Murray, 2009)

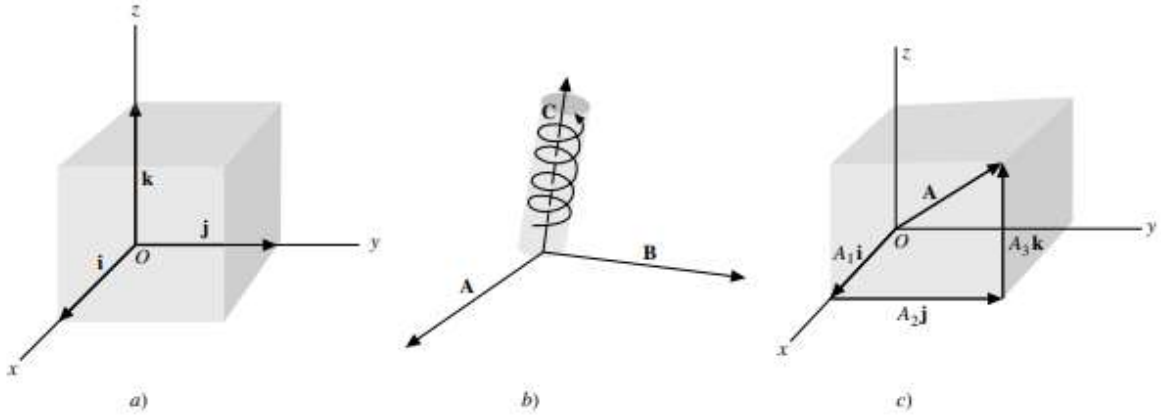
6.3.3 Los vectores unitarios rectangulares: i, j, k

"Un conjunto importante de vectores unitarios, denotados por i, j y k, son aquellos que tienen las direcciones de los ejes x, y y z, respectivamente, de un sistema de coordenadas rectangulares de tres dimensiones. El sistema de coordenadas que se ilustra en la figura, que será el que usemos a menos que se especificó que otro caso, se denomina sistema de coordenadas de la mano derecha. El sistema se caracteriza por la siguiente propiedad: si doblamos los dedos de la mano derecha con un giro de 90° a partir del eje positivo de las x y hacia el eje y positivo, entonces el pulgar apuntará en la dirección del eje positivo de las z

En general, suponga que los vectores A, B y C, distintos de cero, tienen el mismo punto inicial y no están contenidos en el mismo plano. Entonces, se dice que A, B y C forman un sistema de mano derecha o sistema diestro, como un tornillo con rosca derecha que gira en un ángulo menor que 180° de A a B y avanza en la dirección de C.

Figura 7

Vectores en tres dimensiones



Fuente: Murray, S. (2009). *Análisis Vectorial*. Segunda edición. Mc Graw Hill.

Componentes de un vector Cualquier vector A en tres dimensiones puede representarse con su punto inicial en el origen O 5 (0, 0, 0) y su punto final en otro punto distinto, digamos (A1, A2, A3). Entonces, los vectores A1i, A2j y A3k se llaman vectores componentes de A en las direcciones x, y y z, y los escalares A_1, A_2 y A_3 se denominan componentes de A en las direcciones x, y y z, respectivamente. La suma de A_1i, A_2 j y A_3k es el vector A, por lo que puede escribirse lo siguiente:

$$A = A_1\, i + A_2\, j + A_3\, k$$

La magnitud de A es:

$$|\mathbf{A}| = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2}$$

Considere un punto P(x, y, z) en el espacio. El vector r que parte del origen O hacia el punto P se llama vector de posición (o radio vector). Entonces, podemos escribir r como sigue:

$$r = xi + y\,j + z\,k$$

Su magnitud es:

$$|r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Ejemplo:

Figura 8

Ejemplo de vector

Determine el vector con punto inicial en $P(x_1, y_1, z_1)$ y punto terminal en $Q(x_2, y_2, z_2)$ y encuentre su magnitud.

Solución

Considere la figura 1-20. Los vectores de posición de P y Q son, respectivamente,

$$\mathbf{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k} \quad \text{y} \quad \mathbf{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}$$

Entonces, $\mathbf{r}_1 + \mathbf{PQ} = \mathbf{r}_2$, o bien

$$\begin{aligned}\mathbf{PQ} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 &= (x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}) - (x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}) \\ &= (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}.\end{aligned}$$

La magnitud de $\mathbf{PQ} = \overline{PQ} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$. Observe que ésta es la distancia entre los puntos P y Q.

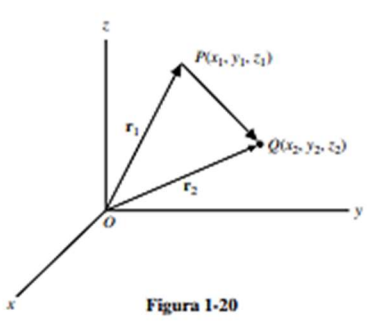


Figura 1-20

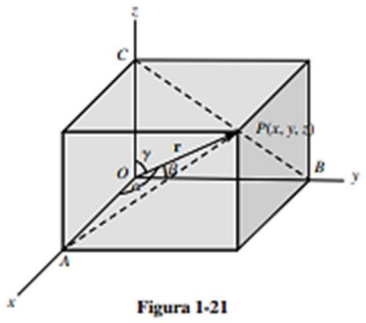


Figura 1-21

Fuente: Murray, S. (2009). *Análisis vectorial*. Segunda edición. Mc Graw Hill.

Es decir que para los vectores de tres dimensiones, existe un “reflejo” del vector en cada uno de los tres planos resultantes, que le permite interpretar la situación del vector en referencia de dos ejes, lo que le permite al lector interpretar las reacciones parciales y sus efectos en conjunto integral de todas las variables.” (Murray, 2009)

6.4 Diseño de indicadores de gestión

6.4.1 Norma UNE 66175:2003. Guía para la implantación de indicadores

"Cumplimentada la puesta al día de las normas que regulan los sistemas certificables, últimamente asistimos a la reiterada edición de documentos en los que prima el contenido didáctico sobre el estrictamente normativo y en ese campo podemos encuadrar la publicación de la Norma UNE 66175. Sistemas de Gestión de la calidad. Guía para la implantación de sistemas de indicadores. Aunque no aborda esta materia con el criterio del Cuadro de Mando Integral definido por Kaplan y Norton y por ello no insiste en el equilibrado e integración de los objetivos, puede ser utilizada como una guía apropiada para el establecimiento de un Cuadro de Mando y, en especial, para definir las características que deben de cumplir los indicadores elegidos por una organización. La inspiración y tal vez la puesta al día de los criterios elegidos para el desarrollo del Cuadro de Mando es posible descubrirlos en su única referencia bibliográfica referida a un documento francés del año 2000 sobre "tableaux de bord". (AENOR, 2003)

6.4.2 Indicadores de gestión

Definido como datos o conjunto de datos que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso o de una actividad.

En la selección de indicadores hay que atender a un criterio de rentabilidad dado que los recursos son siempre limitados. Deben considerarse los siguientes criterios a fin de encontrar los indicadores prioritarios para el control y la toma de decisiones:

- la relación entre los indicadores y el cumplimiento de los objetivos
- la evolución de los factores críticos para el cumplimiento de la estrategia
- la situación de los procesos de la organización

- el coste de los recursos necesarios para el establecimiento de los indicadores
- la fiabilidad en el proceso del cálculo de los indicadores
- la motivación del personal inducida por el indicador

La denominación del indicador debe responder a la mejor definición del objetivo de forma que no se preste a malas interpretaciones. La forma de calcular el indicador debe establecer con claridad las fuentes empleadas para obtener los datos utilizados en el cómputo, la periodicidad, mensual, trimestral o anual con que se va a determinar el índice, el cual puede estar en forma de recuento, porcentaje, ratio, etc.

Es importante concretar el alcance del indicador, si se refiere al todo o a una parte y especificar las adaptaciones a realizar ante la ocasional variación de los datos utilizados para el cálculo La modalidad de presentación de los indicadores puede ser numérica o gráfica mediante diagramas, colores, símbolos, dibujos, etc. utilizando el criterio de que las mejoras estén representadas por indicadores positivos o gráficas ascendentes y viceversa. Conviene definir las responsabilidades inherentes a la captación de la información, el análisis de los efectos, la explotación de los resultados y la comunicación de las conclusiones a las personas pertinentes. Los límites y tolerancias de los indicadores pueden estar representados por máximos o mínimos del parámetro a conseguir, su valor nominal o la consecución sucesiva de valores en el tiempo.

6.4.3 Objetivo de los indicadores

"Los indicadores tienen por objeto proporcionar información sobre los parámetros ligados a las actividades o los procesos implantados. Las características que definen a los indicadores de un sistema de gestión son las siguientes:

a) simbolizan una actividad importante o crítica. Son ejemplos de indicadores: % mensual de reclamos, Productividad mensual, Facturación mensual, % Absentismo, % Cuota de mercado, % de aparición de la empresa en los medios de comunicación frente a la competencia, etc.;

b) tienen una relación lo más directa posible sobre el concepto valorado con objeto de ser fieles y representativos del criterio a medir;

c) los resultados de los indicadores son cuantificables, y sus valores se expresan normalmente a través de un dato numérico o de un valor de clasificación;

d) el beneficio que se obtiene del uso de los indicadores supera la inversión de capturar y tratar los datos necesarios para su desarrollo;

e) son comparables en el tiempo, y por tanto pueden representar la evolución del concepto valorado. De hecho, la utilidad de los indicadores se puede valorar por su capacidad para marcar tendencias;

f) ser fiables, es decir proporcionan confianza a los usuarios sobre la validez de las sucesivas medidas;

g) ser fáciles de establecer, mantener y utilizar;

h) ser compatibles con los otros indicadores del sistema implantados y por tanto permitir la comparación y el análisis. Para permitir analizar una situación y tomar las acciones correctivas o preventivas necesarias, la dirección debe conocer la información en tiempo real. La evolución en el tiempo y las desviaciones con respecto a los objetivos serán los aspectos que más particularmente interesen a la dirección y a los responsables de las áreas afectadas. Por ello, los cuadros de mando tienen por objetivo reagrupar y sintetizar los indicadores para presentarlos de manera que puedan ser utilizados por la dirección de la organización y por los responsables. Los indicadores y los cuadros de mando son pues herramientas indispensables para dirigir una

organización, un equipo o un proceso y alcanzar los objetivos previstos. Además, pueden utilizarse para dirigir un sistema de gestión de la calidad." (AENOR, 2003)

6.4.4 Valoración de Indicadores

"Una vez superada la puesta en marcha del sistema, la norma recomienda establecer una validación de los indicadores a fin de determinar si resultan útiles y rentables, comparando su utilidad y su coste con la consecución de los objetivos cuyo logro se pretende, mediante la preparación de una encuesta que recoja la opinión de los usuarios en la valoración de los siguientes apartados:

- utilidad del indicador en sí y para la toma de decisiones - vinculación inequívoca con el objetivo que se desea mejorar.
- compatibilidad con el resto de indicadores
- utilidad con respecto al coste de recogida de la información y su desarrollo
- fiabilidad de los datos en relación con el tiempo
- claridad de la representación utilizada
- redundancia con otros operadores ya existentes
- adecuación de la periodicidad establecida
- sencillez en la obtención de la información
- aprovechamiento de medios informáticos
- divulgación idónea de los resultados

También recomienda validar el conjunto del cuadro de mando, encuestando los siguientes aspectos: - vinculación del cuadro de mando con una visión global del proceso

- utilidad del cuadro de mando para destacar los aspectos críticos del proceso
- apreciación clara de las desviaciones entre resultados obtenidos y programados

- utilidad de cuadro de mando para la toma de decisiones

- rentabilidad del cuadro de mando

La validación de indicadores debe continuarse en el tiempo para confirmar que siguen siendo pertinentes y cumplen con los objetivos definidos. Un indicador puede perder su vigencia cuando la organización ha definido nuevos objetivos, se han modificado las circunstancias y expectativas o han cambiado el responsable o el cliente del objetivo.

Norma UNE 66175:2003. Guía para la implantación de indicadores Indicadores de Gestión y Cuadro de Mando Integral Al igual que los demás procesos, el sistema de indicadores y el cuadro de mando deben someterse a un proceso de mejora continua, manteniendo, modificando, suprimiendo indicadores o creando otros nuevos, cuando las circunstancias lo aconsejen, utilizando similar metodología que las demás acciones de mejora emprendidas en el sistema de gestión de la organización." (AENOR, 2003)

6.4.5 Cálculo de indicadores

"La forma de cálculo es el sistema que se emplea para computar la información y llegar al resultado, liste apartado no sólo puede recoger las definiciones de los términos y las observaciones necesarias, sino también la periodicidad con la que se calcula el indicador: mensual, trimestral, anual, etc. El indicador puede ser, por ejemplo:

- un recuento:

- un grado de medida o una estimación sobre una escala de valor

- un porcentaje:

- un ratio:

- una nota estimada en función de una tabla de datos:

- etc.

Además de establecer una denominación, el indicador debe ser especificado de forma que no pueda generar malas interpretaciones. En este sentido se debe definir con detalle el concepto que se quiere valorar. Por ejemplo: el indicador "rapidez de gestión comercial", puede quedar especificado como "plazo medio mensual entre la solicitud de oferta y su envío". Muchas veces se emplean términos que pueden ser entendidos de varias formas ya que no están definidos o no lo están con claridad, o se hace un uso particular de un término común.

Con objeto de alcanzar un indicador fiable y comparable en el tiempo, es muy importante definir todos aquellos conceptos que puedan ser interpretados de diferente forma. De esta manera y con relación al ejemplo anterior pueden suscitarse las siguientes dudas: ¿las solicitudes de oferta se refieren a su totalidad, o sólo a la línea de productos más importante de la empresa?, ¿las solicitudes de oferta se refieren también a las recogidas por teléfono?, ¿el "envío" se refiere al momento en el que el departamento comercial termina la oferta o a la fecha real de envío?, etc. En ocasiones ayuda mucho a interpretar el indicador, el hecho de añadirle un apartado de "definiciones".

Así mismo, la especificación del indicador debe hacer a éste representativo del concepto que se desea conocer. Por ejemplo, si queremos conocer el absentismo anual, y la especificación la formalizamos como "número de horas de absentismo anual”, puede resultar que si el personal de la organización aumenta o disminuye ese año, se modifique el resultado de la medida, pero no debido al absentismo real, sino al incremento o decremento de plantilla. Por ello, en este caso un indicador más adecuado sería el porcentaje de absentismo sobre horas totales trabajadas.” (AENOR, 2003)

Identificación del problema técnico

7.1 Técnicas de investigación

7.1.1 Declaración de confianza de datos estadísticos

Los datos utilizados para el presente estudio han sido modificados por políticas de confidencialidad de la empresa, sin embargo se han usado cifras representativas a partir de los originales que mantienen invariables su comportamiento y que omiten aquella información que se considera importante para la compañía y que no se puede publicar.

7.1.2 Resultados del método Delphi

Se utilizó el método Delphi para definir las variables que se consideran relevantes en la estructura de toma de decisiones de la operación, para esto se consultaron los trabajadores de orden técnico y los ingenieros a quienes se les presentó un primer cuestionario con todas las variables a considerar, lo que se buscaba era descartar aquellas variables que los expertos consideraran de menor impacto sobre la operación minera.

7.1.2.1 Ronda 1: Variables generales

7.1.2.1.1 Definición de expertos

El grupo de expertos se usó con los funcionarios técnicos de la empresa según el perfil y el área funcional de la empresa. (Zartha, 2014)

Tabla 1

Coeficiente de Competencia de expertos Método Delphi

Cargo	Kc - Coeficiente de conocimiento	Ka - Coeficiente de argumentación	K- Coeficiente de competencia
Jefe de área 1	0,9	0,9	0,90
Jefe de área 2	0,9	0,8	0,85
Jefe de área 3	0,9	0,7	0,80
Jefe de área 4	0,9	0,9	0,90
Supervisor 1	0,8	0,9	0,85
Supervisor 2	0,7	0,8	0,75
Supervisor 3	0,8	0,8	0,80
Supervisor 4	0,6	0,9	0,75
Supervisor 5	0,8	0,9	0,85
Supervisor 6	0,9	0,7	0,80
Supervisor 7	0,8	0,9	0,85
Supervisor 8	0,6	0,9	0,75
Supervisor 9	0,8	0,8	0,80
Supervisor 10	0,7	0,8	0,75
Supervisor 11	0,7	0,7	0,70

Fuente: el autor

Tabla 2

Análisis estadístico de Coeficiente de competencia de expertos

Análisis estadístico	
Media	0,81
Mediana	0,80
Moda	0,85
Máximo	0,90
Mínimo	0,70
Desviación típica	0,06

Fuente: el autor

Lo que significa que el panel de quince expertos escogidos cumple con un coeficiente de competencia >0,8 lo que lo califica como de conocimientos altos y en consecuencia aceptable.

7.1.2.1.2 Cuestionario

En el siguiente cuestionario se presentan una serie de variables de la operación minera, según su conocimiento califique la relevancia de cada una cuando usted va a tomar una decisión dentro de la operación de la mina tendiente a cumplir la meta y la frecuencia con que tiene en cuenta este criterio.

Califique con un valor comprendido entre uno (1) y cuatro (4), siendo uno (1) sin importancia, dos (2) poco importante, tres (3) importante y cuatro (4) muy importante. (Alvarez, 2016)

Figura 9

Cuestionario Ronda 1

Número de pregunta	Variable	Uno (1) sin importancia	Dos (2) poco importante	Tres (3) importante	Cuatro (4) muy importante
P1	Seguridad minera				

P2	Impacto ambiental
P3	Mantenimiento de maquinaria y equipos
P4	Cantidad de Producción
P5	Geología de la mina
P6	Costos de Operación
P7	Calidad de mineral
P8	Cantidad de Personal
P9	Condiciones de ambiente de operación
P10	Sistema general de seguridad y salud en el trabajo
P11	Formación de personal
P12	Planeamiento minero
P13	Situación jurídica de la mina
P14	Disponibilidad de suministros
P15	Herramientas
P16	Accidentalidad
P17	Conocimiento del macizo rocoso
P18	Costos administrativo
P19	Costos financieros
P20	Situación contractual de la mina
P21	Complejidad técnica

Tabulación de cuestionario primera ronda

Figura 10

Tabulación de cuestionario primera ronda

Evaluador	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Jefe de área 1	3	2	2	4	1	4	2	4	1	2	1	1	1	1	1	2	2	3	1	2	1
Jefe de área 2	3	2	1	4	1	4	2	4	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1
Jefe de área 3	3	3	2	4	1	4	2	4	1	2	1	3	1	1	1	3	1	2	1	2	2
Jefe de área 4	3	2	2	3	1	4	3	3	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2
Supervisor 1	4	2	1	3	2	3	2	4	1	1	2	1	2	2	1	2	2	3	1	2	3
Supervisor 2	2	2	1	3	2	3	2	3	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	3
Supervisor 3	2	3	1	4	1	4	2	3	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2
Supervisor 4	4	1	1	4	1	4	1	4	1	1	1	1	2	2	1	3	1	2	1	1	1
Supervisor 5	3	1	1	4	2	4	3	4	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2
Supervisor 6	2	3	1	4	1	4	2	4	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1
Supervisor 7	3	2	1	4	2	3	2	3	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2
Supervisor 8	2	4	1	4	1	3	3	3	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	3
Supervisor 9	2	3	1	4	1	4	2	4	1	2	2	2	2	1	1	3	1	1	1	1	2
Supervisor 10	2	1	1	4	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1
Supervisor 11	2	1	1	3	2	4	1	4	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1

Fuente: el autor

7.1.2.1.3 Análisis estadístico primera ronda

Figura 11

Análisis estadístico primera ronda

Item	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
Media	2,67	2,13	1,20	3,73	1,40	3,73	2,13	3,67	1,00	1,47	1,33	1,40	1,53	1,53	1,00	2,20	1,47	1,60	1,20	1,40	1,80
Mediana	3,00	2,00	1,00	4,00	1,00	4,00	2,00	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Moda	2,00	2,00	1,00	4,00	1,00	4,00	2,00	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Máximo	4,00	4,00	2,00	4,00	2,00	4,00	3,00	4,00	1,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00
Mínimo	2,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Desviación típica	0,72	0,92	0,41	0,46	0,51	0,46	0,64	0,49	-	0,52	0,49	0,63	0,52	0,52	-	0,41	0,52	0,74	0,41	0,51	0,77

Fuente: el autor

7.1.2.2 Segunda ronda

7.1.2.2.1 Cuestionario

En el siguiente cuestionario se encuentran una serie de variables que se usan para tomar las decisiones diarias dentro de la operación de la mina, califique la importancia que usted le da a cada una sobre el impacto en los resultados esperados para la mina.

Califique con un valor comprendido entre uno (1) y cuatro (4), siendo uno (1) sin importancia, dos (2) poco importante, tres (3) importante y cuatro (4) muy importante.

Figura 12

Cuestionario ronda 2

Número de pregunta	Variable	Uno (1) sin importancia	Dos (2) poco importante	Tres (3) importante	Cuatro (4) muy importante
P1	Seguridad minera				
P2	Impacto ambiental				
P4	Cantidad de Producción				
P6	Costos de Operación				
P7	Calidad de mineral				
P8	Cantidad de Personal				
P16	Accidentalidad				

7.1.2.2.2 Tabulación de cuestionario segunda ronda

Figura 13

Tabulación de cuestionario segunda ronda

Evaluador	P1	P2	P4	P6	P7	P8	P16
Jefe de área 1	1	1	4	4	1	4	1
Jefe de área 2	2	2	4	4	2	4	1
Jefe de área 3	1	2	3	4	1	4	1
Jefe de área 4	1	1	4	3	1	4	1
Supervisor 1	1	1	4	4	1	4	1
Supervisor 2	1	1	3	4	1	4	2
Supervisor 3	2	1	4	3	1	4	1
Supervisor 4	2	1	4	4	1	3	2
Supervisor 5	1	1	4	4	1	4	2
Supervisor 6	1	1	4	4	1	4	1
Supervisor 7	1	1	3	4	1	4	1
Supervisor 8	1	1	4	4	1	3	1
Supervisor 9	1	1	4	3	2	4	1
Supervisor 10	2	1	4	4	1	4	1
Supervisor 11	2	1	3	4	1	4	1

Fuente: el autor

7.1.2.2.3 Análisis estadístico segunda ronda

Figura 14

Análisis estadístico segunda ronda

Item	P1	P2	P4	P6	P7	P8	P16
Media	1,33	1,13	3,73	3,80	1,13	3,87	1,20
Mediana	1,00	1,00	4,00	4,00	1,00	4,00	1,00
Moda	1,00	1,00	4,00	4,00	1,00	4,00	1,00
Máximo	2,00	2,00	4,00	4,00	2,00	4,00	2,00
Mínimo	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	1,00
Desviación típica	0,49	0,35	0,46	0,41	0,35	0,35	0,41

Fuente: el autor

7.1.2.3 Conclusiones Método Delphi

Una vez realizadas las dos rondas se concluye basado en los resultados estadísticos que las tres variables que se usan para tomar las decisiones en la operación minera son: Cantidad de Producción, Cantidad de Personal y Costos de Operación. Debido a que las preguntas que se refieren a estas variables son P4, P6 y P8 que tienen una calificación dada por parte de los evaluadores expertos superior a 3,7, es decir que son consideras muy importantes y relevantes en el momento de definir acciones concretas que conduzcan a lograr la meta de la mina.

7.1.3 Matriz de Vester

Se elaboró con los datos recopilados los problemas asociados a la carencia de un sistema de indicadores que sea capaz de interpretar la complejidad de la operación minera, para interpretar esta información se usó la matriz de Vester, que permite priorizar los problemas críticos e identificar los impactos del proyecto para darles solución.

Como se puede observar en la Ilustración existen 13 problemas asociados a la falta de indicadores, que impide el control de la operación y la toma efectiva de decisiones para los líderes de la operación, de esta manera se elabora la Matriz de Vester y se califica la influencia en una escala de cero (0) a tres (3) siendo cero sin ninguna causalidad, uno (1) lo causa indirectamente, dos (2) lo causa de forma semidirecta o con alguna relación y tres (3) Lo causa directamente. . Con esto se logra cuantificara la influencia y dependencia de los problemas.

Figura 15

Matriz de vester

Situación Problemática
No se cuenta con un sistema de indicadores que permita el control de la operación

Código	Variable			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	Influencia
	Origen	Tipo	Problema														
P1	Intrínseco	Personal	Baja producción debido a que la cantidad de personal es inferior a lo estimado en el Plan Minero	0	2	2	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0	9
P2	Intrínseco	Personal	Altos costos de mano de obra	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	6
P3	Intrínseco	Personal	Alta rotación de personal	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	7
P4	Intrínseco	Seguridad minera	Baja disponibilidad de personal debido a la alta accidentalidad en las minas	3	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	9
P5	Intrínseco	Maquinaria y equipo	Baja disponibilidad de maquinaria y equipo por problemas de mantenimiento	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	5
P6	Extrínseco	Geología	Baja producción por problemas estructurales del yacimiento	0	0	1	1	0	0	3	1	0	0	2	2	0	10
P7	Extrínseco	Geología	Baja producción por incumplimiento de calidad del mineral	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	3	2	0	9
P9	Extrínseco	Administrativos	Demora en suministros de insumos a la producción	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	1	0	6
P10	Extrínseco	Energía	Cortes de energía en las minas originados por la empresa de servicios	0	3	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3	0	9
P11	Extrínseco	Financieros	Bajos precios en el mercado del carbón	1	2	1	0	1	0	0	1	2	0	0	2	0	10
P12	Extrínseco	Financieros	Altos costos de operación minera	1	3	1	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	9
P13	Extrínseco	Financieros	Problemas de cambio monetario que impacten el proceso de exportación	0	1	0	0	2	0	0	0	2	0	2	2	0	9
Dependecia				9	17	9	6	10	3	3	12	6	0	7	20	0	102

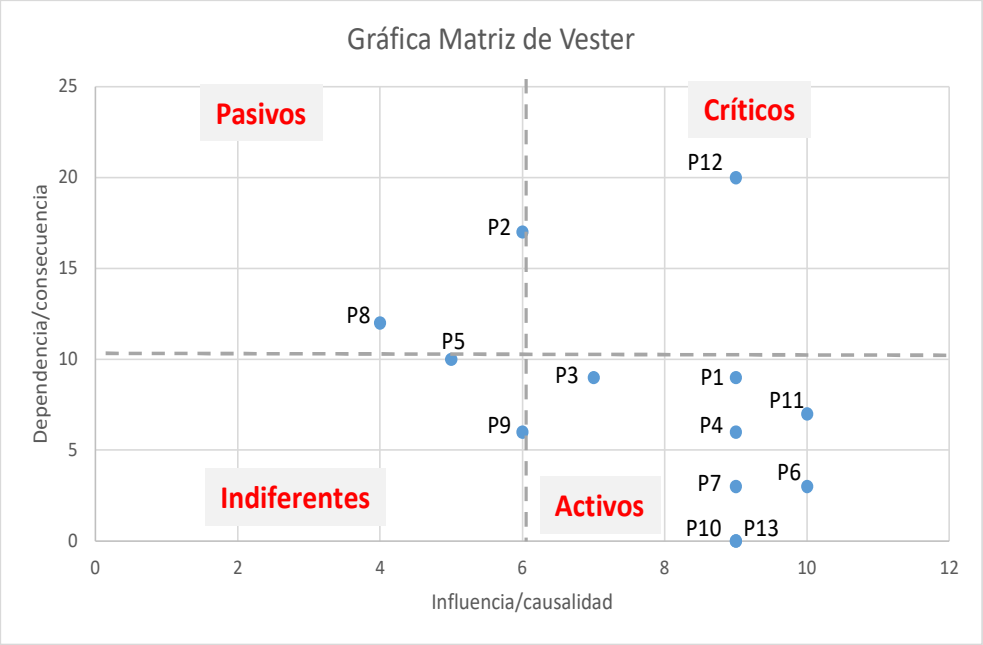
Fuente: el autor

Ahora es posible graficar la Matriz de Vester para clasificar los problemas de acuerdo a sus características

Figura 16

Gráfica de matriz de Vester

Problema	Influencia	Dependencia
P1	9	9
P2	6	17
P3	7	9
P4	9	6
P5	5	10
P6	10	3
P7	9	3
P8	4	12
P9	6	6
P10	9	0
P11	10	7
P12	9	20
P13	9	0



Fuente: el autor

En conclusión el problema crítico es el Alto costo en la operación minera que se produce por la carencia de los indicadores adecuados que permitan una mejor toma de decisiones en el desarrollo de la producción de la mina.

7.1.4 Matriz PEST

Figura 17

Matriz PEST

Análisis PEST

Implementación de indicadores de tres dimensiones

Factores Políticos

- Existes leyes ambientales que son restrictivas con la regulación de las empresas mineras
- Las corporaciones regionales tienen normas internas asociadas a los intereses políticos de sus directores
- La legislación tiene una directriz política y no técnica frente a los proyectos de minería.

Factores Económicos

- El mercado del carbón metalúrgico varía de acuerdo a los cambios del acero a nivel mundial afectados por la pandemia.
- La tasa de cambio del dólar está en los niveles más altos de las últimas décadas
- La totalidad de la producción depende de las exportaciones de Coque

Factores Socioculturales

- La imagen del sector minero es muy mala y se asocian las empresas mineras a los impactos negativos sobre el medio ambiente.
- Se censura a nivel mundial las industrias extractivas
- El carbón coquizable no se diferencia del térmico en general lo que se asocien los dos sectores mineros

Factores Tecnológicos

- La empresa está buscando aumentar la productividad mecanizando proceso como el transporte, el descargue de frentes y el arranque con maquinaria
- El principal costo que impacta la operación es la Mano de Obra directa.

Fuente: el autor

La matriz PEST, permite visualizar los retos para las empresas del sector minero en general, dado que es el marco en que se mueve la compañía en estudio, pero además porque las decisiones operativas se ven afectadas por las condiciones del medio donde se toman, por esto los factores políticos son muy importantes, dado que la discusión de la conveniencias de las empresas mineras en la economía del país está en medio de las contiendas electorales, el discurso ambientalista propone que se suspendan todas las operaciones mineras y censura al gobierno por permitir la operación de los títulos de concesión, sin embargo están de acuerdo con el uso de los recursos provenientes de las regalías aportadas únicamente por Petróleo y Minería para financiar la educación y la investigación.

Una clara contradicción que debe ser cuidadosamente estudiada, porque Colombia es un país que depende totalmente de la producción y exportación de commodities y materias primas, el sector industrial es prácticamente nulo y la generación de empleo se centra en las compañías del primer sector, cada vez que se impide la operación de la minería que está localizada en las áreas rurales, se eliminan fuentes de empleo y se ha demostrado que este camino condujo a la exterminación de la agricultura colombiana, hay que analizar el impacto de seguir esta senda con el sector minero.

A su vez, la producción minera le permite además de ingresos mineros, el financiamiento del estado y el desarrollo de infraestructura para los municipios de vocación minera, esto en oposición a la situación del sector petrolero que debido a los cambios de regulación ambiental ha tenido que dejar de explorar y ha llevado a que se proyecte su terminación en el año 2027. (Sarmiento, 2021)

La falta de autonomía sobre sus propios recursos es una tendencia a nivel mundial, en España por ejemplo para 2018 se acabaron las minas de carbón térmico que proveían a las termoeléctricas nacionales y que le permitían al país exportar energía al resto de Europa, la

directriz claramente ambiental se basaba en cambiar el modelo energético a fuentes limpias, hoy en día la mayoría de la energía es producida por plantas Nucleares aún más riesgosas que las térmicas y la cogeneración usando gas suministrado por Rusia, lo que se ha convertido en la pérdida de su soberanía energética.

Es decir, que los Factores Socioculturales son realmente importantes para el sector minero colombiano, lleno de contradicciones normativas que castigan a las empresas formales que cuentan con vigilancia de las Corporaciones Regionales o la ANLA, para hacer seguimiento de sus impactos ambientales y regular su operación, pero que fomentan la operación de la minería artesanal, informal o ilegal, que sin ningún tipo de control genera realmente daños a las factores ambientales donde funcionan, por ejemplo, en el Páramo de Santurban, se le canceló la concesión a la empresa Green Star, se le quitó la licencia ambiental y se censuró para que saliera del país, el sustento era la preservación del páramo, sin embargo existen actualmente más de 1200 mineros artesanales sin ningún tipo de control extrayendo oro, impactando la vegetación, el ecosistema y las fuentes de agua,

Por otro lado, la renovación de los títulos mineros implica la consulta previa a las comunidades, en términos generales ninguna población ha aprobado estas concesiones porque existe una imagen negativa de las empresas mineras y un claro interés de particulares por apropiarse de los recursos, muchos de ellos financiados con dineros de dudoso origen. Es decir, que las operaciones mineras no se van a terminar jamás porque la riqueza de los recursos mineros es evidente, pero cada día se están convirtiendo en recursos ilegales aprovechados por particulares al margen del control estatal.

Los factores tecnológicos sitúan a las operaciones en principalmente manuales, debido a que la extracción minera requiere mano de obra para la producción, es una fuente importante de empleo formal, el sector minero bajo tierra además cuenta con una legislación especial para el

régimen de pensiones donde se debe cotizar con un 10% adicional que se convierte en beneficios para los trabajadores que pueden a llegar a pensionarse hasta con 10 años de anticipación.

Pero para mejorar su productividad, procesos que se hacían de manera mecánica, se han tecnificado y el descargue, transporte, avance de túneles, etc, ahora cuenta con maquinaria que mejora los rendimientos y disminuye los riesgos para los trabajadores.

Finalmente, los Factores Económicos son totalmente dependientes del sector de la construcción y su comportamiento a nivel mundial, debido a que Colombia no cuenta con acerías que produzcan para el mercado local, todo el coque se exporta y lo que ocurra para el acero se traslada directamente para el coque, es decir que la industria de la construcción la determinante de lo que ocurra localmente en Colombia.

7.2 Antecedentes del problema

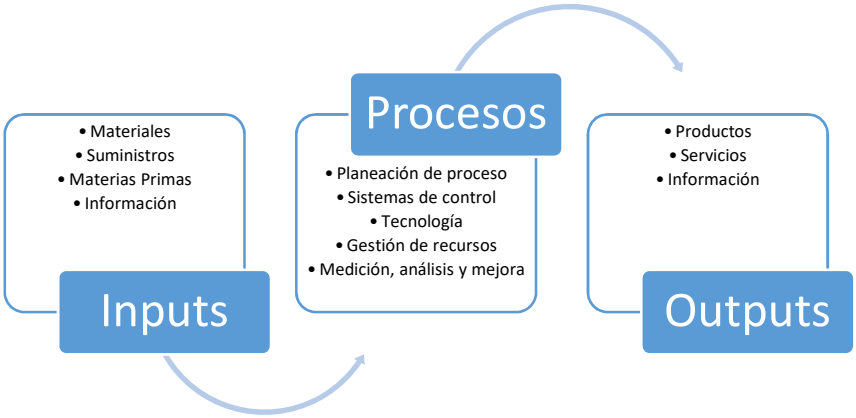
El sector minero colombiano se ha venido desarrollando a partir de las prácticas tradicionales y métodos artesanales, hacia la seminecanización de las operaciones y la industrialización de los métodos de producción, la primer fase de este proceso, ha llevado a inversiones en maquinaria y equipo, ha permitido la implantación de equipos técnicos y seguros para la extracción del carbón desde bajo tierra mediante el uso de túneles inclinados, este desafío para los mineros los ha enfocado en mejorar la infraestructura minera y los medios de producción; el segundo paso natural es mejorar en los procesos de seguridad y beneficios del mineral.

Los objetivos operativos se centraban entonces en la administración de procesos, es decir en ser más eficientes para sacar un producto mineral sin importar las condiciones físico químicas de la extracción.

En este escenario aparece la gestión de procesos como solución típica de la administración de minas, donde debido a las condiciones de extracción no se ahonda en las condiciones del mineral sino en el proceso de la extracción, se cuenta con un título minero con unas características geológicas típicas y mediante el uso de infraestructura técnica se busca lograr la mayor extracción de mineral.

Figura 18

Gestión de procesos



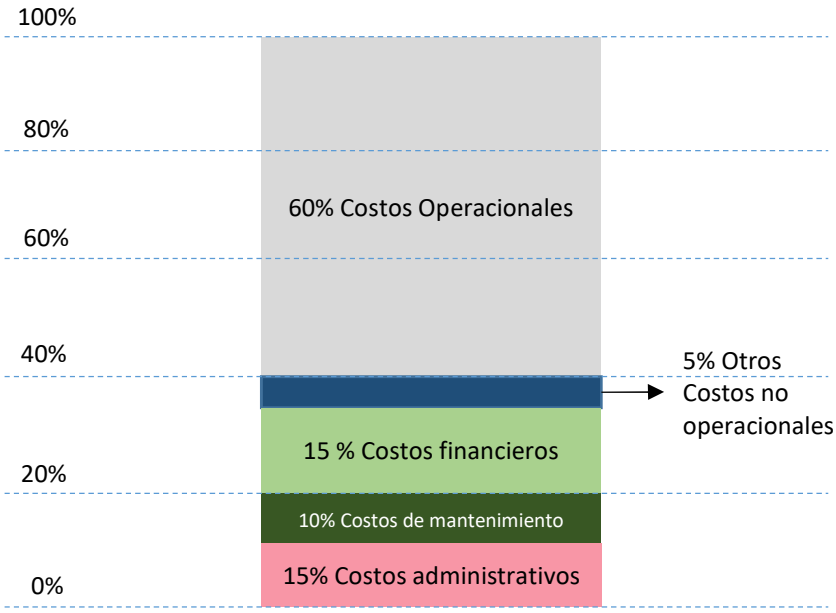
Fuente: el autor

Los controles de la mina entonces se concentran en la operación minera propiamente dicha dado que los costos son dirigidos al funcionamiento de maquinaria y pago de nómina de los trabajadores principalmente, pero eso solamente es útil mientras que los rangos de producción llegan al punto de muerte operativo, a partir de ese momento los desafíos mineros son diferentes, porque se requiere oriental el mineral a puntos de consumo muy específicos que cuenten con

interés técnico sobre el producto y que compensen económicamente la operación y allí ocurre el cambio hacia la gestión de producto.

Figura 19

Composición del costo - gráfico de Paretto



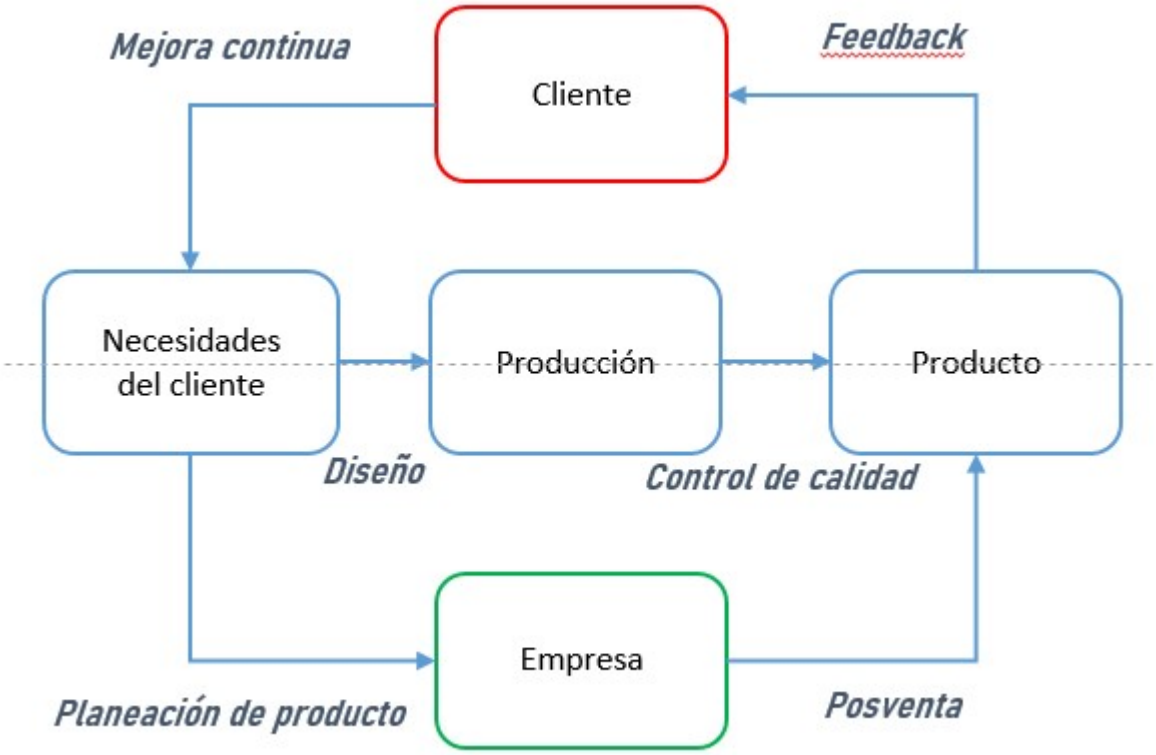
Fuente: el autor

Como se puede ver en la gráfica, cualquier cambio en los costos de mantenimiento o los costos administrativos tiene un impacto comparativo muy bajo, frente a las mejoras que tienen que ver con la operación donde las mejoras se reflejan con mayor proporción, es decir que una mejora por ejemplo en costos de papelería (Administrativos) del 50% tiene un menor impacto frente a costos de nómina (Operativa) donde un 5% es una mejora sustancialmente mayor.

Por lo anterior, el camino natural de la administración en minas ha sido moverse hacia la gestión de producto, buscando que el mineral sea competitivo en materia de calidad y que tenga eficiencia en los costos de producción, esta nueva visión ha producido el cambio para las empresas que lideran el sector minero y han sido determinantes de la gestión de crisis en cada escenario que ha llevado el mercado de los minerales para los últimos años.

Figura 20

Gestión de producto mineral



Fuente: el autor

Esta modalidad de afrontar los desafíos mineros ha permitido entender una nueva definición de reserva minera, de tal manera que el mineral queda determinado como reserva únicamente cuando por sus condiciones de calidad es demandado en el mercado, la cantidad de producción solamente es relevante si garantiza que se pueda entregar en las condiciones del cliente y nace el concepto de servicio orientado a que las operaciones de las plantas de beneficio engranen con la capacidad productiva de las minas.

Los clientes exigen de la producción minera un tipo específico de producto que tenga condiciones físicas y químicas determinadas, para lo cual han definido una escala de valores que van asociados a la calidad y en consecuencia a un precio razonable por el mineral.

Figura 21

Tipo de carbón por calidad

Tipo de carbón coquizable por calidad de análisis próximos					
Denominación	Calificación	FSI	Materia Volatil	Humedad	Cenizas
Bajo Volátil	A	>4	>14 – 19%	2 - 5 %	< 10%
Bajo Volátil	B	>4	>14 – 19%	2 - 5 %	10%-14%
Bajo Volátil	C	>4	>14 – 19%	2 - 5 %	>14%
Medio Volátil	A	>4	>20 – 28%	2 - 5 %	< 10%
Medio Volátil	B	>4	>20 – 28%	2 - 5 %	10%-14%
Medio Volátil	C	>4	>20 – 28%	2 - 5 %	>14%
Alto Volátil	A	>4	>20 – 28%	2 - 5 %	< 10%
Alto Volátil	B	>4	>20 – 28%	2 - 5 %	10%-14%
Alto Volátil	C	>4	>20 – 28%	2 - 5 %	>14%

Fuente: el autor

De la tabla anterior, las minas han tenido que ajustar su producción a las exigencias del consumidor y buscar la manera para que las condiciones mineras y la logística les permitan una coordinación de operaciones con las plantas de beneficio. Lo anterior, implica que la producción tenga nuevos componentes operacionales y que las variables de decisiones sea cada vez más compleja.

La minería entonces, requiere un diseño de producción minero que nace en el análisis geológico del yacimiento, y posteriormente la selección técnica de los métodos de extracción y la maquinaria y equipos necesarios para cumplir el objetivo de extraer las reservas mineras en condiciones seguras, ambientalmente sostenibles, económicamente viables y socialmente sustentables.

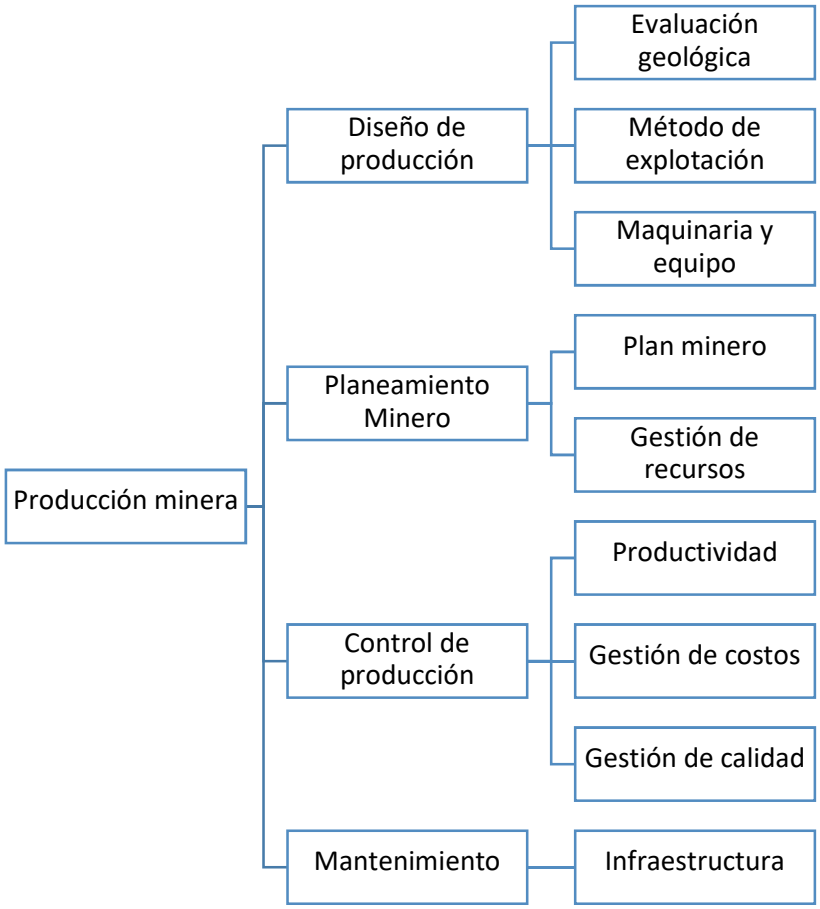
Una vez definidas las directrices de diseño, se procede a hacer un planeamiento minero, que con el uso de recursos tecnológicos, información geológica, topográfica y de ingeniería, le permiten al planeamiento desarrollar una guía detallada de recursos y tiempos necesarios para la explotación minera.

Una vez definida la planeación inicia la ejecución del plan y con ella, los controles para que se cumpla con lo planeado, aparecen entonces elementos de control como el seguimiento a la

Productividad entendida como la relación entre los recursos disponibles y la eficiencia de los resultados. La gestión de costos que se asocia a la optimización de los recursos presupuestados y el cumplimiento del plan de inversión y la gestión de calidad, que se relaciona con el cumplimiento de las condiciones del cliente en cuanto a las características del mineral y la logística de entrega.

Figura 22

Factores de producción minera



Fuente: el autor

Finalmente el mantenimiento de la infraestructura de tunelería y logística que le permite a la empresa continuar ejecutando sus operaciones.

Como se concluye de lo arriba mencionado la operación minera tiene muchas variables que implican consecuencias en materia económica, social, ambiental y de seguridad, por esto la empresa debe definir las condiciones clave que hacen que el complejo de la operación logre los resultados, y una vez definidas la manera de hacerles seguimiento y proponer medidas que lleven a las minas a cumplir las expectativas consignadas en el plan de minas.

Es precisamente este punto el que sustenta todo el estudio, la capacidad de simplificar a las bases mismas de la operación minera, proponer las formas de seguimiento y control y ajustar la operación a métodos de medición modernos y técnicamente viables.

7.3 Descripción del problema.

La operación de minas tiene muchas variables que componen los problemas de la producción minera, sin embargo los más relevantes se concentran en la composición del costos y la experiencia, conduce a definir tres grandes ejes de conocimiento que son determinantes del comportamiento de la operación y el logro de las metas de la organización.

A cada una de estas variables se les puede asociar con un eje de producción y la asociación de las tres variables permite la generación de vectores que permiten establecer el comportamiento de la operación. El primer eje es la producción, definida como la cantidad de toneladas de mineral extraído en las condiciones que le permitan ser comercializadas con éxito, es decir cumpliendo las exigencias de la planta de beneficio, las cantidades se dividen en metas mensuales y en una meta anual, cada periodo tiene una terminación porque la dinámica de cada quincena hace que al terminar el mes se reestablezcan las condiciones iniciales para cada periodo.

El segundo eje son los costos de operación de los cuales el más importante es la mano de obra directa que supera el 60% de costos de producción, y que es determinantes en consecuencia de los costos totales de la empresa, muchos de los costos de producción se pueden asociar a su vez al costo de mano de obra directa, como por ejemplo las herramientas, los insumos, etc, por esto se puede asumir que el comportamiento de los costos de nómina directa, es el mismo que tienen los costos totales únicamente para la empresa en estudio.

Finalmente el tercer eje es la cantidad de personal, es decir el número de trabajadores que tiene la empresa para cumplir con las necesidades de producción, para empresas de mano de obra intensiva como es la minería de carbón bajo tierra, la cantidad de trabajadores es proporcional a las metas de producción de cada mes y un aumento en las metas productivas conlleva mayor mano de obra. La unidad de medida es la de Hombres-Turno.

Por lo anterior, se usa para el modelamiento un espacio de tres dimensiones (Costos, Producción y Número de trabajadores), se requiere entonces desarrollar un modelo matemático de vectores que le permita al directivo de la empresa tomar las decisiones en tiempo real y que asocie la base matemática al comportamiento de la operación.

7.3.1 Identificación de los interesados

El impacto del nuevo modelo de gestión basado en los indicadores va a llevar a que la operación de la empresa se base en las mismas mediciones de fácil comprensión para las personas responsables de la operación minera y que se han identificado en los grupos de interés representados en la ilustración.

Figura 23

Grupos de interés

Stakeholders		Item
Internos	Empleados	Trabajadores mineros de los municipios de Guachetá, Lenguazaque y Ubaté (Cundinamarca)
	Directivos	Directivos de las empresa Columbia Coal Company
	Propietarios	Carbocoque SA
Externos	Proveedores	Insumos de Bogotá, Maderas de Cundinamarca, Maquinaria y equipo importado
	Sociedad	Municipios de Lenguazaque, Guachetá, Cucunubá, Tausa, Sutatausa, Pacho, Zipaquirá
	Gobierno	Agencia Nacional de Minería, CAR Cundinamarca, Ministerio de Salud
	Acreedores	Bancos Colombianos
	Accionistas	Carbocoque SA
	Clientes	Clientes de Europa, Estados Unidos y México

Fuente: el autor

Presentación de caso

8.1 Recursos necesarios para el desarrollo de la solución.

El proyecto aplicado del presente estudio tiene como principal consumo la información y la elaboración teórica del modelo matemático que la resume, por lo tanto el trabajo de campo en la captura de la información y luego los equipos requeridos para su implementación en la práctica, son los principales insumos.

Figura 24

Recursos necesarios para el proyecto

Tipo	Categoría	Recurso	Descripción	Fuente de financiamiento	Monto
Recursos disponibles	Infraestructura	Equipo	Computador personal	Columbia Coal Company	$ 2.000.000
		Equipo	Celular	Columbia Coal Company	$ 1.000.000
		Vehículo	Para movilizaciones	Columbia Coal Company	$ 500.000
	Suministros	Fotocopias	Para clasificar la información	Columbia Coal Company	$ 250.000
		Impresiones	Impresora	Columbia Coal Company	$ 250.000
		Materiales	Papel	Columbia Coal Company	$ 200.000
Recursos necesarios	Gastos de trabajo de campo	Alimentación	Gastos destinados al tiempo del trabajo	Recursos propios	$ 500.000
		Internet	Gastos destinados al tiempo del trabajo	Recursos propios	$ 250.000
		Impresiones	Impresión del documento final	Recursos propios	$ 250.000
	Gastos de trabajo de campo	Desplazamientos y varios	Gastos destinados al tiempo del trabajo	Recursos propios	$ 250.000
Imprevistos (10%)					$ 545.000
Total					**$ 5.995.000**

Fuente: el autor

8.2 Resultados esperados y formas de verificar el cumplimiento de los mismos a través de la formulación de indicadores clave de desempeño (KPI`s)

Figura 25

Cuadro de mando KPI para seguimiento de resultados esperados

Cuadro de mando KPI para seguimiento a resultados esperados					
Definición	Objetivo	Fórmula	Periodicidad	Actividad	Responsable
Costo Unitario	$150.000/t	$CU = \frac{Costo\ Operación}{Producción\ mes}$	Mes	Producción minera	Jefe de Producción
Rendimiento de producción	2 t/HT	$CU = \frac{Producción\ mes}{Hombres - Turno}$	Mes	Producción minera	Jefe de Zona
Costo por trabajador	$5.500.000/Hmes	$CU = \frac{Costo\ Operación}{Hombres - Turno}$	Mes	Producción minera	Jefe de Producción

Fuente: el autor

8.3 Procesos de negocio que se deberán considerar. – unidades de negocio que se deben integrar.

Figura 26

Unidades de negocio afectadas por el proyecto

Unidades de negocio afectadas por el proyecto					
Unidad	Operación	Administrativa	Financiera	Legal	SG-SST
Producción Minera	SI				
Planeación Minera	SI				
Mantenimiento	SI				
Seguridad Minera	SI				
RRHH		SI			SI
Selección de personal		SI			
Nómina					
Compras					
Almacén					
Polvorín					
Auditoría			SI		
Procesos		SI			

Fuente: el autor

8.4 Hipótesis de trabajo para el desarrollo de la solución del problema con la solución propuesta.

La hipótesis que sustenta el trabajo es que existe una estrecha relación entre tres variables operativas: Cantidad de Personal, Producción y Costos Operativos, y en consecuencia se pueden relacionar mediante un vector de tres dimensiones que define el comportamiento de las variables y se puede comparar la situación real contra el presupuesto de la operación para tomar decisiones.

8.5 Entregables

8.5.1 Modelo de indicadores de Vectores en tres dimensiones

Se entrega un modelo desarrollado por el presente estudio, como elaboración propia y que aportará a la toma de decisiones de los interesados en la producción minera de la empresa, como base para interpretación de las condiciones de Producción, Cantidad de Persona y Costos de Operación de la compañía, sus tendencias y las consecuencias al proponer cambios.

8.5.2 Plan de Gestión por Compromisos y Seguimiento

Se hizo un desarrollo de Plan de Gestión aplicando la metodología SMART y que le permite a la empresa, gestionar usando los indicadores como base de toma de decisiones y la misma interpretación de las condiciones de la operación por todas las áreas funcionales de la empresa.

8.5.3 Tablero de control de la operación

Se entrega un tablero de control que le permite a los Jefes de Zona tomar decisiones en tiempo reala basados en el comportamiento de los indicadores y el pronóstico de cambios en cada uno de los planos de las variables de producción.

Solución al problema técnico

9.1 Definición de los tres ejes de producción

En el desarrollo del análisis de comportamiento de las variables de operación se han definido tres ejes determinantes de lo que ocurre en la producción, estos son: La producción, los costos operativos y la cantidad de personal. Es decir, la producción en sí misma definida como la cantidad de mineral en toneladas extraído de las minas en un periodo mensual, esta cantidad está sujeta a que cumpla con las condiciones técnicas de calidad, pero en términos generales depende de las decisiones del equipo responsable de la operación minera.

El segundo eje es la cantidad de personal que está asociado a la producción, en una industria donde principalmente la operación es manual, el número de personas que se dedican a la producción es determinante de los resultados, las minas trabajan las 24 horas del día en diferentes actividades, por esto la unidad de medida es Hombre-Turno, es decir la cantidad de turnos trabajados en el mes.

Figura 27

Distribución de personal en la mina

Fuente: el autor

El tercer eje es la cantidad de costos operativos que se asocian a la explotación minera y que componen la estructura del costo pero cuyo peso específico se concentra en la nómina pagada a mano de obra directa.

Tabla 3

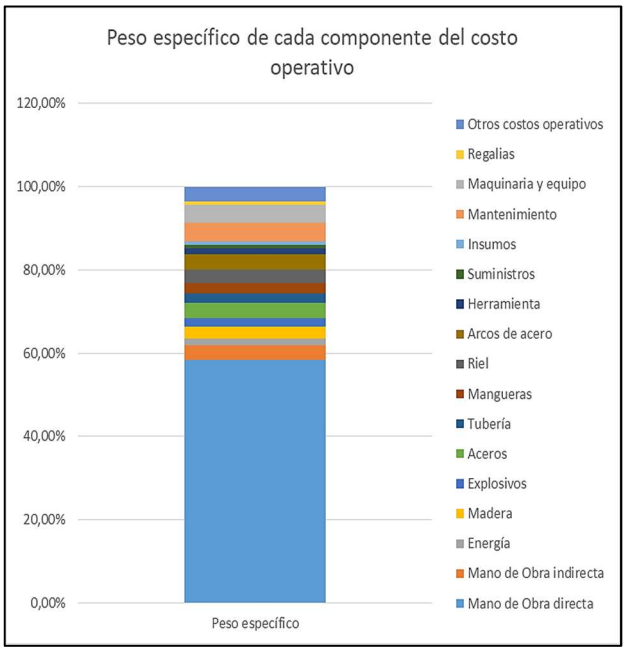
Peso específico de cada componente en el costo operativo

Item	Peso específico
Mano de Obra directa	58,31%
Mano de Obra indirecta	3,64%
Energía	1,46%
Madera	2,92%
Explosivos	2,19%
Aceros	3,64%
Tubería	2,19%
Mangueras	2,55%
Riel	3,28%
Arcos de acero	3,64%
Herramienta	1,46%
Suministros	0,73%
Insumos	0,87%
Mantenimiento	4,37%
Maquinaria y equipo	4,37%
Regalias	0,73%
Otros costos operativos	3,64%
	100,00%

Fuente: el autor

Figura 28

Peso específico de cada componente en el costo operativo



Fuente: el autor

Como se puede observar existe una relación entre las tres variables que son el sustento básico del proyecto y que se deben evaluar con los datos obtenidos en la operación, para lo cual se tomaron las cinco (5) minas que tiene la empresa y que desarrollan sus actividades extractivas en la misma formación geológica que se denomina Formación Guaduas, en condiciones similares pero que han tenido diferente desarrollo debido a la inversión tecnológica y las situaciones de mercado.

En la tabla se muestran los datos recogidos para las tres variables, en cinco minas durante dos años consecutivos, para facilidad la producción (P) se mide en toneladas métricas, el número de trabajadores (T) se cuantifica en unidades de personal y los costos operativos (C.) en pesos mensuales.

Tabla 4

Registros de producción, personal y costos

Etiquetas de columna	Mina 1			Mina 2			Mina 3			Mina 4			Mina 5			Total T (# trab)	Total P (t)	Total C ($ mes)
Periodo	T (# trab)	P (t)	C ($ mes)	T (# trab)	P (t)	C ($ mes)	T (# trab)	P (t)	C ($ mes)	T (# trab)	P (t)	C ($ mes)	T (# trab)	P (t)	C ($ mes)			
2001																		
Enero	45	1790	273.058.702	14	420	120.391.342	6	65	48.927.902	84	3218	469.119.672	56	1856	307.919.326	205	7349	1.219.416.944
Febrero	46	1750	267.797.902	14	435	125.597.602	6	68	53.531.262	84	3189	465.300.679	56	1931	320.852.656	206	7373	1.233.080.101
Marzo	45	1650	252.167.902	14	436	125.332.938	6	75	57.846.802	84	3289	474.423.661	55	1867	310.401.179	204	7317	1.220.172.482
Abril	44	1725	260.522.902	13	315	99.345.352	6	95	73.184.032	85	3345	482.139.337	56	1956	325.340.482	204	7436	1.240.532.105
Mayo	46	1820	276.915.402	14	425	122.715.652	9	125	77.987.902	84	3189	460.718.086	55	1852	308.279.966	208	7411	1.246.617.008
Junio	47	1910	289.279.202	13	317	101.533.867	9	152	89.141.942	85	3167	456.273.254	56	1973	328.674.728	210	7519	1.264.902.993
Julio	47	1950	294.731.902	14	417	120.452.899	11	186	88.564.558	85	3205	467.221.522	56	1823	304.465.203	213	7581	1.275.436.084
Agosto	47	1960	296.203.902	14	437	126.181.397	12	185	86.118.782	86	3219	470.723.644	56	1945	323.621.992	215	7746	1.302.849.717
Septiembre	48	2050	307.445.402	13	305	98.913.652	12	215	97.146.847	86	3178	461.671.470	56	1846	306.877.100	215	7594	1.272.054.471
Octubre	46	1770	272.893.402	14	426	123.146.992	13	225	84.515.602	86	3302	476.490.180	57	1972	327.553.718	216	7695	1.284.599.894
Noviembre	47	1930	294.064.102	12	173	66.850.987	14	284	92.521.710	86	3245	468.194.317	56	1841	306.891.054	215	7473	1.228.522.170
Diciembre	49	2125	315.929.152	13	296	96.973.398	14	296	99.286.342	85	3267	473.462.338	57	1978	330.158.300	218	7962	1.315.809.530
2002																		
Enero	45	1730	267.525.934	13	311	102.561.716	16	395	123.487.659	86	3167	460.286.873	57	1872	311.278.574	217	7475	1.265.140.756
Febrero	46	1845	283.644.434	13	316	103.951.038	16	410	126.990.814	86	3290	481.167.924	57	1978	329.248.672	218	7839	1.325.002.882
Marzo	45	1670	255.327.434	14	428	124.000.470	20	485	144.797.754	86	3278	476.210.546	57	1834	304.737.516	222	7695	1.305.073.720
Abril	46	1824	276.859.934	14	436	125.965.114	20	498	148.404.704	85	3256	471.500.918	56	1926	319.972.682	221	7940	1.342.703.352
Mayo	47	1968	300.463.454	14	437	125.758.311	22	512	148.370.782	86	3247	470.817.994	57	1831	304.089.005	226	7995	1.349.499.546
Junio	46	1834	280.119.734	14	426	122.314.172	22	536	155.371.254	87	3278	477.941.330	57	1987	331.469.729	226	8061	1.367.216.219
Julio	47	2040	311.473.934	13	314	103.254.928	28	628	176.822.302	87	3290	481.118.574	57	1827	303.355.415	232	8099	1.376.025.153
Agosto	46	1857	283.724.684	13	314	103.422.918	28	674	190.443.952	87	3176	466.882.766	56	1967	328.344.498	230	7988	1.372.818.818
Septiembre	46	1874	287.239.694	14	415	119.389.979	30	714	154.040.606	87	3125	455.430.434	56	1823	304.259.183	233	7951	1.320.359.896
Octubre	47	2054	316.342.854	14	407	117.504.121	32	742	139.160.286	86	3174	463.179.926	56	1997	333.129.591	235	8374	1.369.316.778
Noviembre	46	1836	282.582.434	13	325	107.046.559	32	762	141.605.624	87	3186	468.352.586	57	1823	304.368.563	235	7932	1.303.955.766
Diciembre	47	2064	314.662.814	13	326	107.232.284	40	1152	205.649.246	87	3197	472.878.658	57	1921	320.598.310	244	8660	1.421.021.312
Total general	**1111**	**45026**	**6.860.977.212**	**324**	**8857**	**2.689.837.688**	**424**	**9479**	**2.803.918.666**	**2057**	**77477**	**11.271.506.689**	**1352**	**45626**	**7.595.887.442**	**5268**	**186465**	**31.222.127.697**

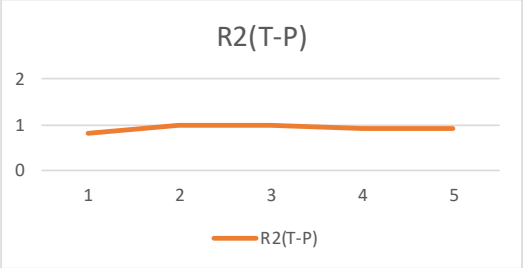
Fuente: registros de la empresa Columbia Coal Company

Para determinar la correlación entre las variables se utilizó el cálculo del coeficiente de Pearson que determina el grado en que las dos son del mismo orden, por lo que se hicieron los análisis en parejas, para cada una de las minas en los periodos de tiempo elegidos.

Figura 29

Coeficiente de Pearson T-P

Coeficiente de Pearson (T-P)			
Mina	$R_{(T-P)}$	$R^2_{(T-P)}$	Correlación
1	0,89861488	0,80750871	Alta
2	0,98957468	0,97925806	Alta
3	0,98905218	0,97822421	Alta
4	0,96787735	0,93678657	Alta
5	0,96300722	0,9273829	Alta



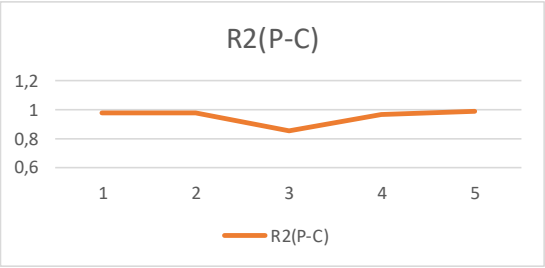
Fuente: el autor

En la primera interacción se definió el coeficiente de Pearson entre el número de trabajadores (T) y la cantidad de producción (P) en toneladas, como se ve en la tabla de resumen la correlación es alta porque es muy superior al 50%, lo que indica que el comportamiento es dependiente sin indicar cuál de las variables es determinante.

Figura 30

Coeficiente de Pearson P-C

Coeficiente de Pearson (P-C)			
Mina	$R_{(P-C)}$	$R^2_{(P-C)}$	Correlación
1	0,99194607	0,983957	Alta
2	0,98882074	0,97776646	Alta
3	0,92840291	0,86193196	Alta
4	0,98472755	0,96968834	Alta
5	0,99844489	0,99689219	Alta



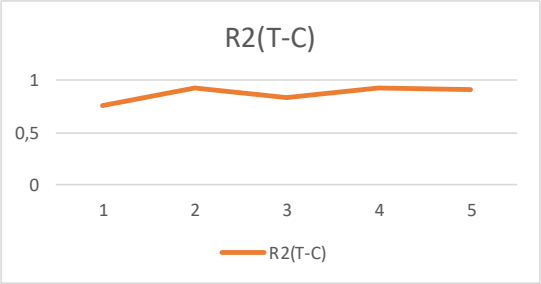
Fuente: elaboración propia.

El segundo análisis es entre la cantidad de producción (P) en toneladas y los costos operativos (C.) en pesos, se evidencia que los valores tienen una correlación alta y que la selección es acertada.

Figura 31

Coeficiente de Pearson T-C

Coeficiente de Pearson (T-C)			
Mina	$R_{(T-C)}$	$R^2_{(T-C)}$	Correlación
1	0,87221517	0,76075931	Alta
2	0,9621817	0,92579363	Alta
3	0,91656562	0,84009253	Alta
4	0,96749616	0,93604881	Alta
5	0,95808988	0,91793621	Alta

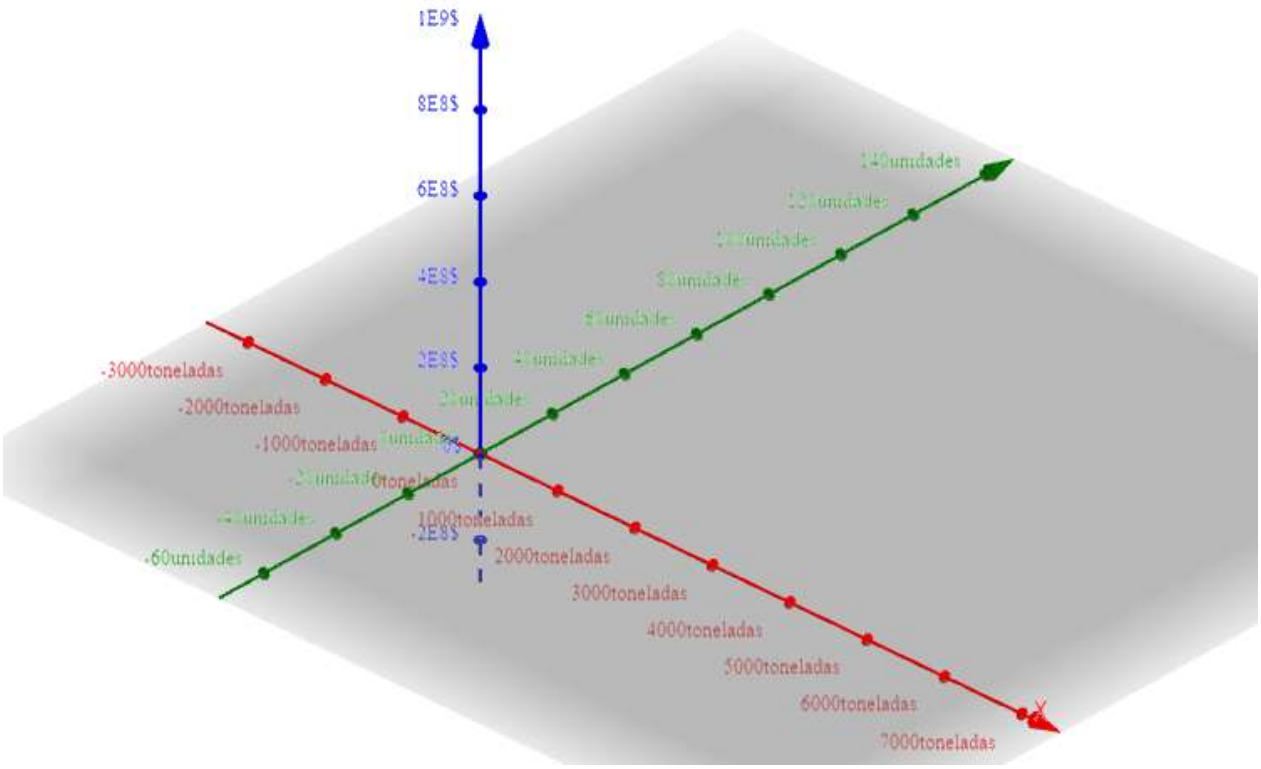


Fuente: el autor

El tercer análisis es entre el número de trabajadores (T) y los costos operativos (C.), y se mantiene el comportamiento correlacionado, por lo que se define que los tres ejes son correctos. En la gráfica se representan los tres vectores: Producción (P) en color rojo, Número de trabajadores (T) en verde y Costos operativos (C.) en azul.

Figura 32

Plano de tres dimensiones P-T-C



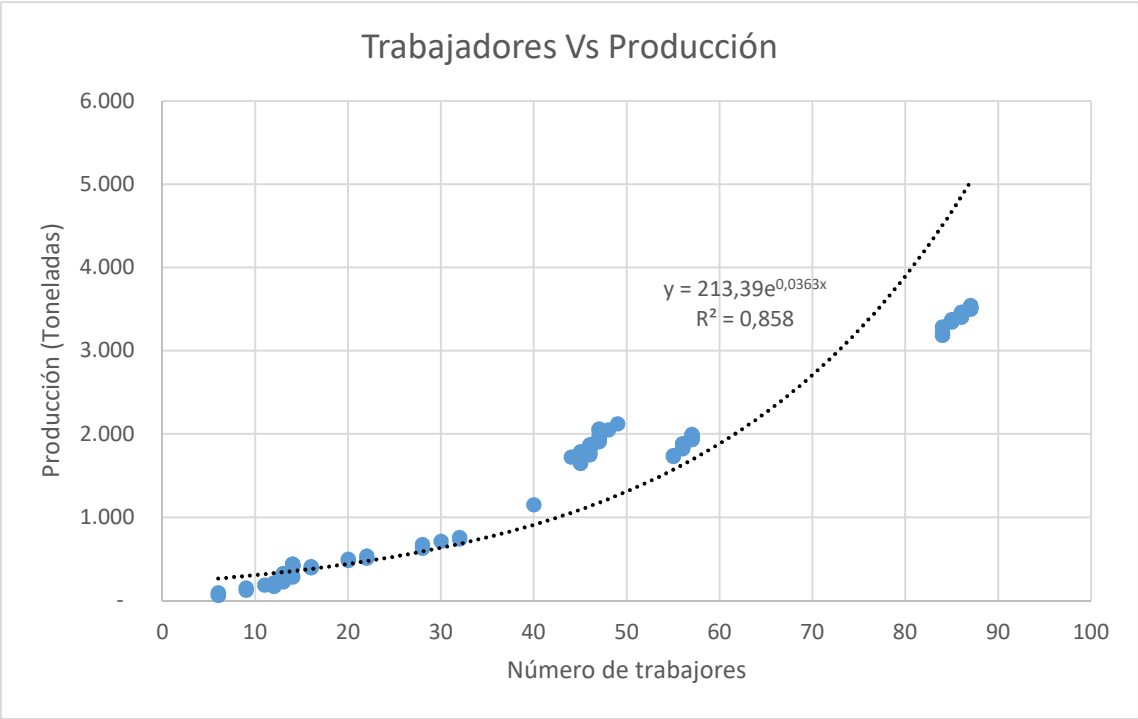
Fuente: el autor

9.2 Construcción del plano P-T

La definición del comportamiento de cada plano es muy importante porque permite entender la relación entre las variables y hacer un pronóstico de las consecuencias de las decisiones operativas, en este sentido, el primer plano es el conformado por los ejes Producción – Trabajadores, para lo cual se hace un diagrama de dispersión con la información recogida y se usa el Coeficiente de Pearson para determinar el grado de correlación y el comportamiento esperado.

Figura 33

Plano T-P



Fuente: el autor

Lo que indica la gráfica es que en la medida que se aumenta el número de trabajadores, el crecimiento de la producción es exponencial, esto se cumple en la práctica dado que la distribución de mano de obra hace que los trabajadores concentrados en los frentes de explotación sean mayores lo que incrementa las toneladas extraídas, pero adicionalmente al tener más personal en las labores de desarrollo, se mejoran las reservas preparadas y se hace un mejor mantenimiento a la mina.

La fórmula de tendencia de la curva y que se puede usar para hacer los pronósticos de comportamiento es:

$$P = 213{,}19\, e^{0{,}0363\, T}$$

A la relación entre la cantidad de trabajadores y la producción se le denomina Rendimiento Hombre – Turno

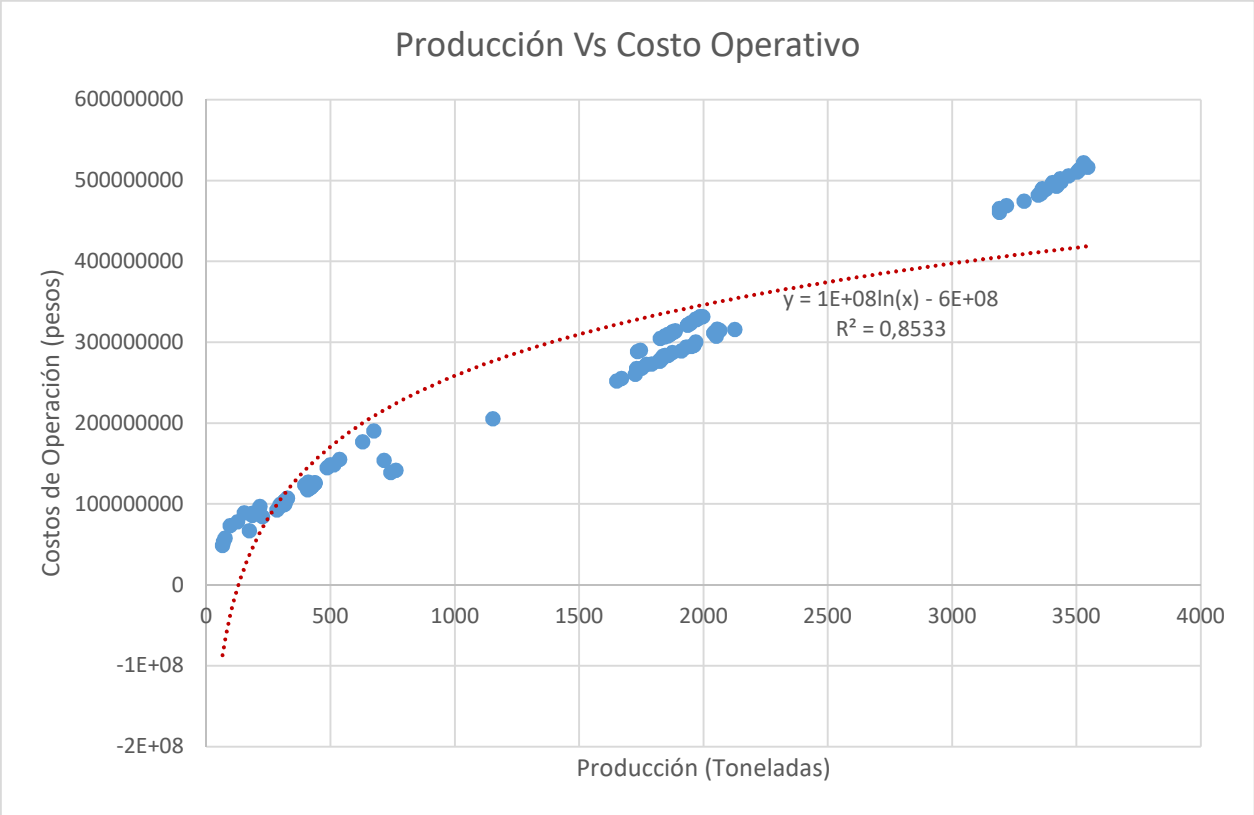
$$RHT = \frac{Producción\ (t)}{Hombre - Turno} = \frac{t}{HT}$$

9.3 Construcción del plano P-C

En el plano de Producción – Costos, se hizo la misma dispersión de la información y se encontró que el comportamiento es logarítmico, es decir que en la medida que la producción crece, los costos tienen a mantenerse, es el principio básico de la economía de escala.

Figura 34

Plano P-C



Fuente: el autor

$$C = 1^{+08\ \ln} \quad - 6^{+08}$$

La relación entre los costos de operación y la cantidad de toneladas producidas se denomina Costo Unitario.

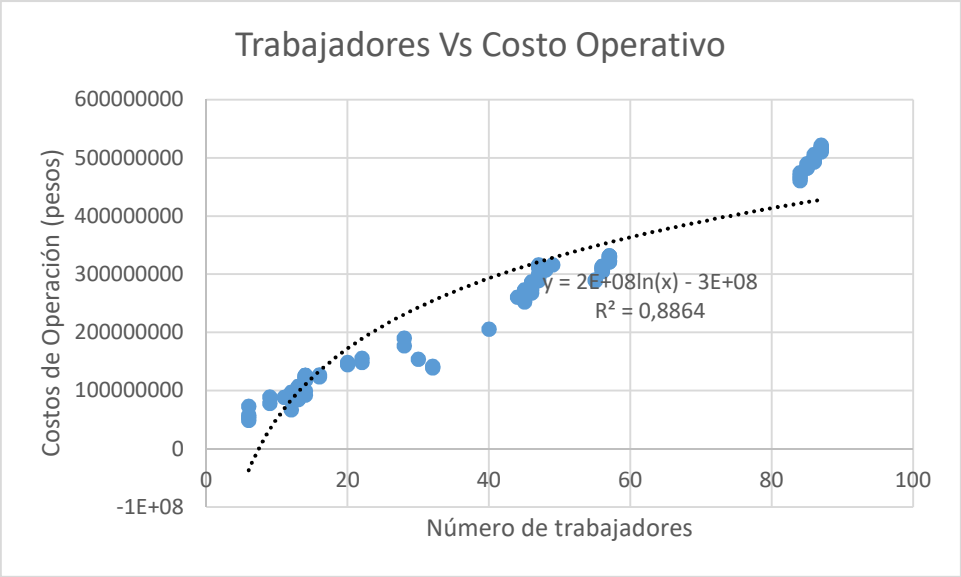
$$Cu = \frac{Costos\ de\ Operación}{Producción} = \frac{\$}{t}$$

9.4 Construcción del plano T-C

El tercer plano es el conformado por los trabajadores – Costos de operación, en este plano se observa que al incrementarse la cantidad de trabajadores, los costos se tratan de mantener en un comportamiento logarítmico, este fenómeno ocurre por la productividad, pero adicionalmente porque la infraestructura que se desarrolla no es directamente proporcional a la cantidad de trabajadores.

Figura 35

Plano T-C



Fuente: el autor

La relación entre los costos operativos y los trabajadores se denomina Costos por HT.

$$CHT = \frac{Costos\ operativos}{Número\ de\ trabajadores} = \frac{\$}{HT}$$

La ecuación que resume el comportamiento de la curva es la siguiente:

$$C = 2^{+08\ \ln} \quad - 3^{+08}$$

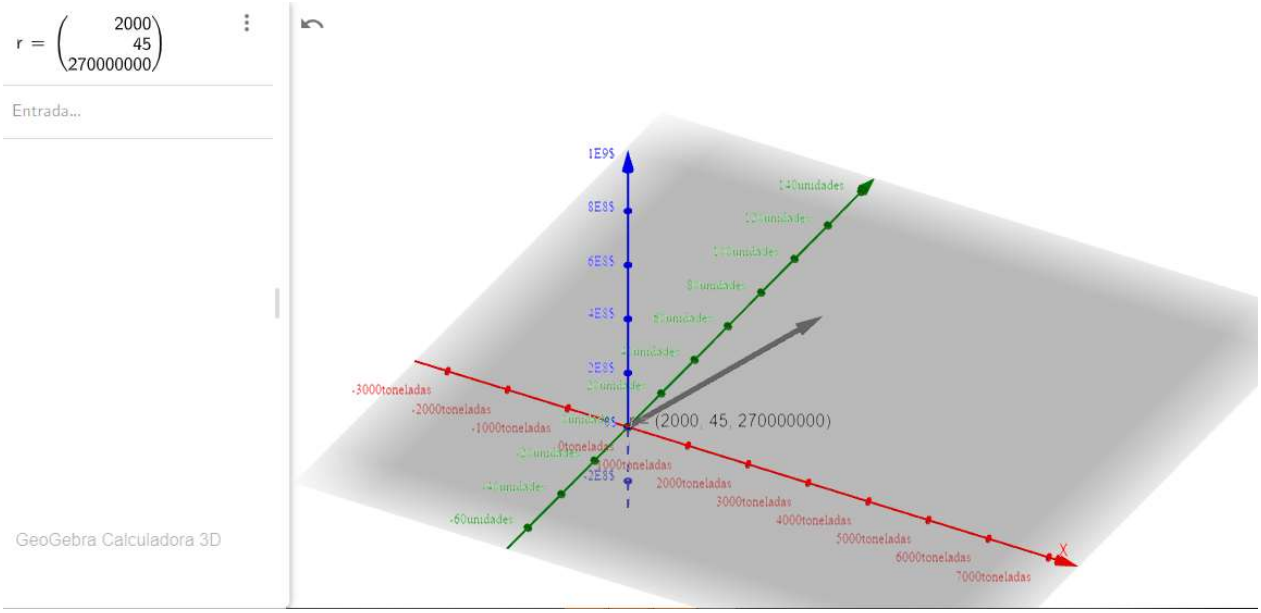
9.5 Construcción del Vector de Producción

Entendido el comportamiento de cada uno de los planos, solamente queda por integrarlos en el espacio de tres dimensiones, donde al coordinar los datos de las tres variables el indicador deja de ser un punto en un plano y se convierte en un vector de tendencia que explica con claridad la posición de la operación de la mina.

Es decir, por ejemplo si una mina tiene una producción de 2000 toneladas mensuales, con 45 trabajadores y sus costos son de 270 millones de pesos, el vector resultante se muestra en la figura.

Figura 36

Vector (P,T,C)



Fuente: el autor

Los vectores son una mejor representación del comportamiento de la mina, porque muestra la integralidad de la operación y en consecuencia la afectación que ocurre sobre las dos variables restantes cuando se toma una decisión de la operación. Este tipo de decisiones principalmente porque las dos variables que se pueden controlar (Número de trabajadores o producción) afecta a la restante variable dependiente costos de operación.

Figura 37

Relación de dependencia de los ejes de operación

	Relación de dependencia de los ejes de operación			
Item	Detalle	Producción	Número de Trabajadores	Costos operativos
Disminución de producción por problemas exógenos	Tipo de variable	Independiente	Dependiente	Dependiente
	Comportamiento	Baja	Baja	Suben
Aumento de producción por cambios en el mercado	Tipo de variable	Independiente	Dependiente	Dependiente
	Comportamiento	Sube	Sube	Bajan
Renuncia de trabajadores	Tipo de variable	Dependiente	Independiente	Dependiente
	Comportamiento	Baja	Baja	Sube
Contratación de trabajadores	Tipo de variable	Dependiente	Independiente	Dependiente
	Comportamiento	Sube	Sube	Bajan

Fuente: el autor.

En la tabla se resumen los tipos de comportamiento que pasan en la operación minera, los primeros tienen que ver la producción, cuando por problemas exógenos como los relativos al mercado, los tipos de consumo, las exigencias de calidad, problemas de logística, despachos en puerto, etc. Se requiere disminuir la producción, esto va asociado a dejar de usar mano de obra

directamente, pero los costos relativos a la operación se suben por efecto de la disminución de la cantidad de toneladas producidas.

A su vez, cuando por cambios en el mercado o porque se encuentren nuevos frentes de producción se requiera aumentar la cantidad de mineral extraído, esto implicará un aumento en la mano de obra y la disminución relativa de los costos de operación.

Por otro lado, cuando es la cantidad de trabajadores la que cambia, por ejemplo porque hay exceso de demanda de mano de obra específica para el sector minero y entonces los trabajadores renuncian a la empresa y se disminuye el número de personas asociadas a la producción, en consecuencia la cantidad de toneladas baja y los costos suben.

Por lo anterior, si los trabajadores se logran contratar aumentando la mano de obra requerida, la producción aumenta y los costos operativos caen. De esta manera, se puede ver que la dinámica de la operación se mueve a lo largo de las curvas de los diferentes planos, y tiene consecuencias en los tres ejes, es decir que una acción sobre una variable afecta inmediatamente las dos restantes.

9.6 Construcción del Vector Meta

De igual manera que la construcción del vector real, se puede definir la meta de la operación generando el pronóstico desde las curvas de los gráficos planares, por ejemplo, suponiendo que se tiene una mina que al inicio de la operación cuenta con 50 trabajadores, en la curva TP se pronostica que se va a producir 1844 toneladas y que va a tener costos operativos de $297.582.391.

Figura 38

Vector pronóstico conocido número de trabajadores

Conocido Número de trabajadores		
	Valor	Fórmula
T	**50**	
P	1.844	PRONOSTICO(C4;'T-P'!$D$4:$D$123;'T-P'!$C$4:$C$123)
C	297.582.391	PRONOSTICO(Pronóstico!C4;'T-C'!$D$4:$D$123;'T-C'!$C$4:$C$123)

Fuente: el autor

A este mismo resultado se llega a partir de la producción si se supone una producción mensual de 1844 toneladas en la curva TP y de la curva PC se pronostican costos operativos de $297.425.416, como se puede concluir los dos resultados son muy similares y se tiene una meta con sustento técnico, sin embargo es recomendable usar el costo operativo pronosticado más alto solamente por usar un criterio conservador en la definición de la meta.

Figura 39

Vector pronóstico conocida la producción esperada

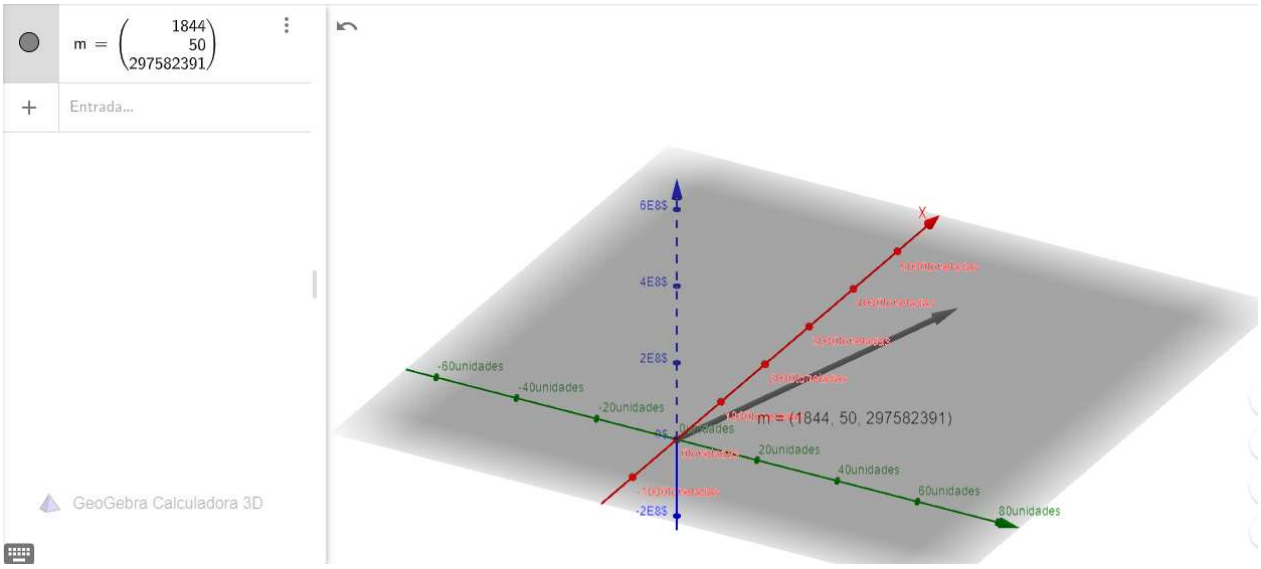
Conocido la producción esperada		
	Valor	Fórmula
T	50	PRONOSTICO(G4;'T-P'!$C$4:$C$123;'T-P'!$D$4:$D$123)
P	**1.844**	
C	297.425.416	PRONOSTICO(F4;'P-C'!$E$4:$E$123;'P-C'!$D$4:$D$123)

Fuente: el autor

De esta forma queda planteado el vector meta como sigue $m = (1844,50,297582391)$

Figura 40

Vector pronóstico

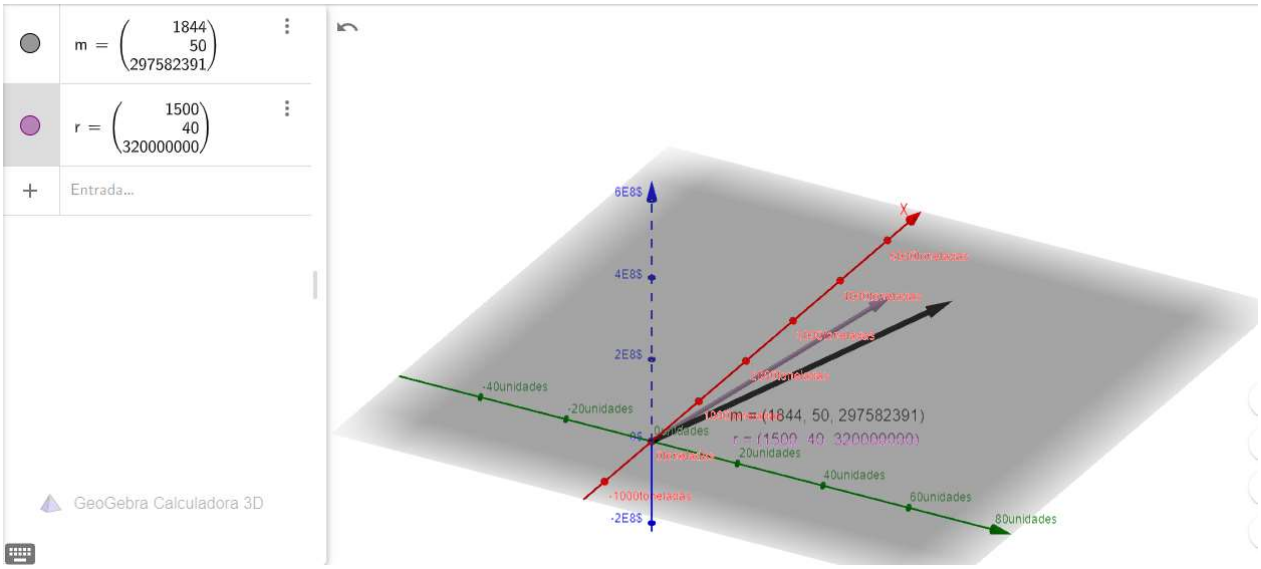


Fuente: el autor

Hasta este momento se sabe cuál es el comportamiento de cada una de las variables y como graficarlo en el vector meta (m), pero la mayor utilidad ocurre durante la operación, puesto que la interpretación comparativa con los resultados es de gran utilidad para el líder de la mina, para ejemplificar esta situación se plantea el vector $r = (40,1500,320000000)$, como se muestra en la gráfica.

Figura 41

Vector Meta vs Real



Fuente: el autor

En este ejemplo la mina perdió 10 trabajadores, la producción no se cumplió y los costos se subieron, lo que genera una desviación del vector en todos los planos, esta situación es muy común en la operación minera y las decisiones del indicador gráfico son cruciales para retomar el camino de la meta.

9.7 Desviaciones de eje producción

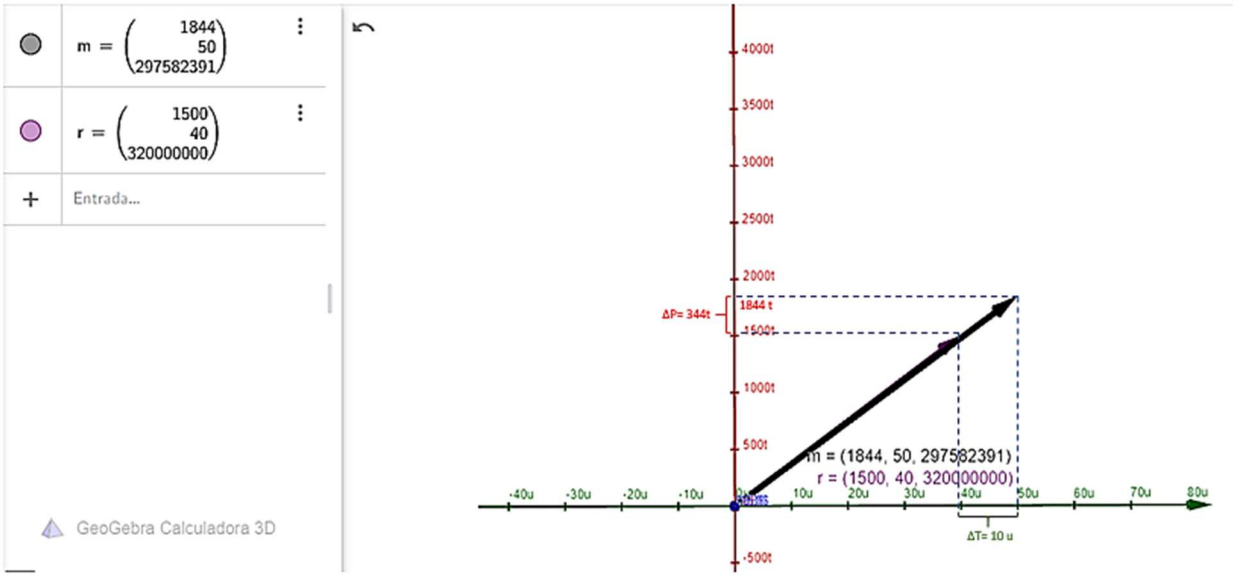
Las desviaciones en la producción son muy importantes porque reflejan todo el esfuerzo de la operación, el “core” de la industria minera se encuentra en la extracción del mineral, entonces los movimientos del vector sobre este eje deben ser interpretados y usados como base para la toma de decisiones efectivas. En primer lugar, si la producción real es mayor que la esperada significa que hay un cambio tecnológico que se produjo en la operación entendida la tecnología como el conocimiento que va adquiriendo el equipo de trabajadores y por otra parte el

impacto de la adquisición de maquinaria y herramientas, es decir por ejemplo que la cantidad de metros avanzados con el uso de martillo picador y sostenimiento en madera, con una sección de 3,5 m^2 es de 12 al mes, pero en las mismas circunstancias un túnel avanzado con uso de explosivos, pala neumática y sostenimiento en arco de acero con sección de 7 m^2 es de 22 al mes, y se requiere la misma cantidad de personal, pero se obtiene una mejor infraestructura, más segura, más amplia y de mayor estabilidad y duración de largo plazo, este tipo de "saltos tecnológicos" son importantes y se requiere mantener una actitud innovadora para hacer que el mismo personal sea capaz de aumentar los niveles productivos.

Por otro lado, una desviación negativa indica que hubo problemas dentro de la operación que no se esperaban, en el ejemplo planteado se disminuyó el personal, pero también puede haber sido ocasionado por condiciones geológicas, problemas de energía, daños en maquinaria y equipo, etc.

Figura 42

Desviaciones en el eje de producción



Fuente: el autor

Figura 43

Análisis de desviaciones del eje de producción

Análisis de desviaciones del eje de producción				
Origen	Tipo	Item	Desviación positiva	Desviación negativa
Intrínseco	Personal	Aumento de productividad	X	
		Disminución de productividad		X
	Seguridad minera	Problemas de seguridad minera		X
	Maquinaria y equipo	Adquisición de equipo nuevo	X	
		Problemas de mantenimiento		X
		Daños en herramientas		X
	Geología	Problemas estructurales		X
		Problemas de sedimentación		X

Extrínseco		Problemas de calidad		X
	Administrativos	Problemas contractuales con la concesión		X
		Problemas de suministros e insumos		X
		Problemas legales		X
	Mantenimiento	Problemas de energía eléctrica		X
	Financieros	Problemas de recursos para la operación		X

Fuente: el autor

9.8 Desviaciones de eje costos

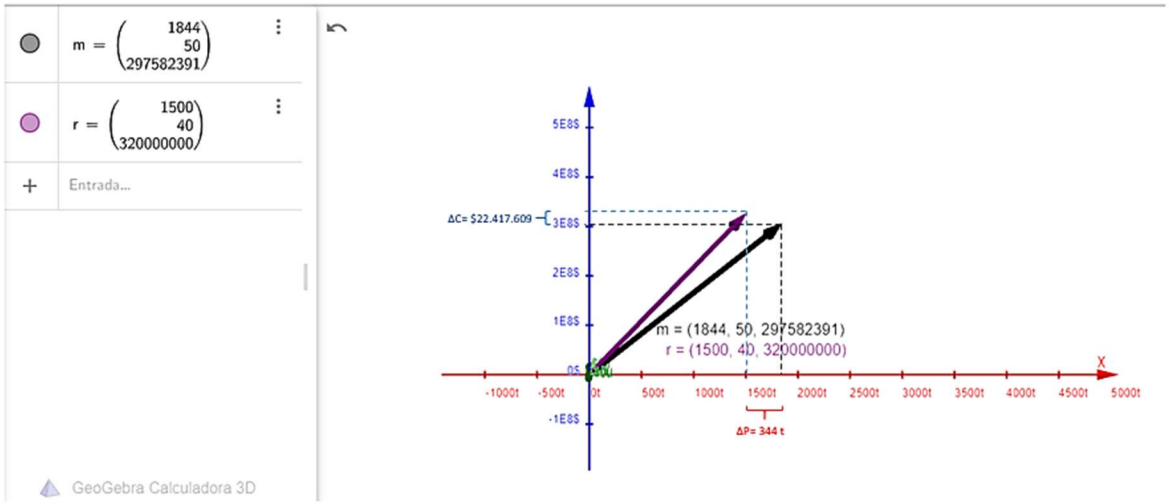
Los costos son la variable dependiente en el modelo, puesto que las decisiones operativas se convierten en recursos usados para la producción y terminan reflejándose al final del ejercicio, es decir que al tomar una decisión en la mina, lo que se conlleva cada paso es la eficiencia en el uso del financiamiento de la producción y su optimización. Del mismo modo que en el eje de producción al interpretarlo comparativamente con el Vector Meta se pueden encontrar dos tipos

de variaciones, las diferencias con el presupuesto pueden exceder lo presupuestado dando diferencias positivas que tienen connotación mala para el resto de la operación o diferencias menores al presupuesto, es decir negativas que son buenas para la empresa, las positivas que ocurren cuando los costos aumentan, es decir cuando se supera la distribución de recursos esperada, esto puede ocurrir por el incremento de costos de mano de obra, el aumento de insumos o el mantenimiento.

A su vez, una desviación negativa ocurre cuando se usan menos recursos que los esperados en el presupuesto, debido a que no se requirieron para el mantenimiento, el personal necesario fue menor al presupuestado o los insumos necesarios para producción fueron inferiores a lo pronosticado. En el ejercicio propuesto, los costos del periodo fueron mayores a los esperados en $22.417.609, las medidas correctivas deben pasar por el análisis del uso del dinero y la focalización en disminuir los ítems que superan el presupuesto.

Figura 44

Desviaciones eje de costos



Fuente: el autor.

Figura 45

Análisis de desviaciones del eje de costos

Análisis de desviaciones del eje de costos				
Origen	Tipo	Item	Desviación positiva	Desviación negativa
Intrínseco	Personal	Aumento de costos de mano de obra directa	X	
		Incremento de productividad		X
	Seguridad minera	Dificultades de la producción por problemas de seguridad minera	X	
	Maquinaria y equipo	Aumento de mantenimiento	X	
		Compra de herramientas y suministros	X	
		Fallas en equipo de producción	X	

Extrínseco	Geología	Problemas estructurales	X	
		Problemas de sedimentación	X	
		Problemas de calidad	X	
	Administrativos	Aumento de precio de insumos o mayor consumo	X	
		Disminución de pagos del periodo		X
		Mejoras en el mercado internacional		X
	Mantenimiento	Disminución de precios de importaciones		X
	Financieros	Cambios en la balanza de cambio monetario		X

Fuente: el autor

9.9 Desviaciones de eje personal

Las desviaciones sobre el eje de personal se refieren a cambios sobre la plantilla de nómina directa de la operación, este movimiento es el de mayor ocurrencia, debido a la rotación del personal, las variaciones de ingreso y egreso de personas son altas en el sector minero, pero al hacer el modelo de plan de minas, se propone una cantidad de personal mínimas para cumplir con las metas esperadas, en consecuencias la rotación impacta la producción y a su vez, los costos de operación.

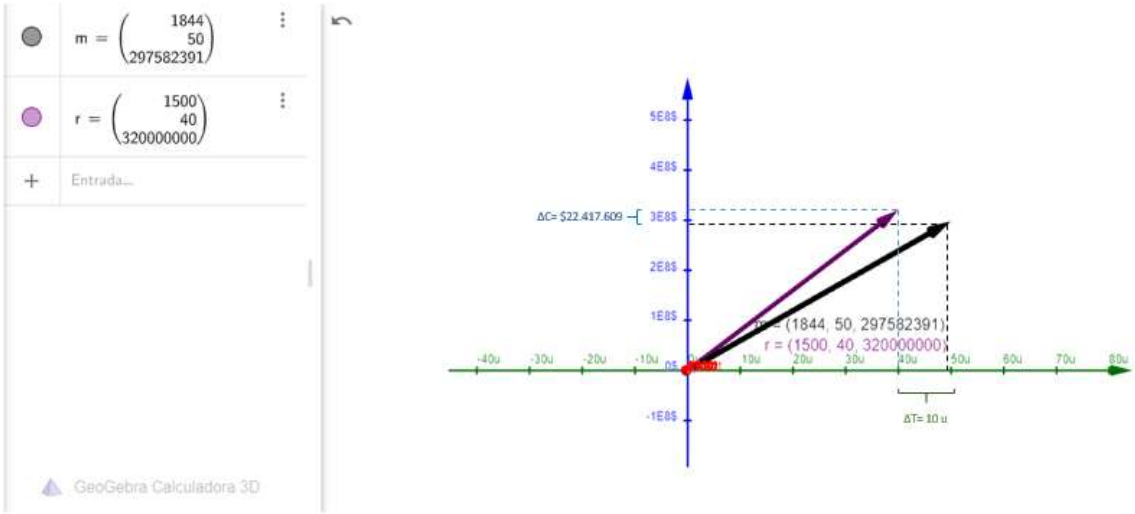
Las variaciones positivas suponen ingresos de personal y por lo tanto, poder asignar más mano de obra a las operaciones, lo que se refleja en incrementos de producción, y menores costos operativos unitarios y las variaciones negativas ocurren con salidas de personas en las minas y como consecuencia baja la producción y suben los costos unitarios.

Las causas de variaciones son múltiples pero se asocian a la escases de mano de obra en el sector minero, la migración de personas de las áreas rurales y la competencia con las demás empresas fuente de empleo en la región, es un desafío generar políticas de retención de personal, inversión en las capacidades productivas y formación en las habilidades laborales.

Para el ejercicio, la mano de obra disminuyó de 50 trabajadores a 40, es decir se contó con 10 personas menos, el vector muestra como la coordenada de producción se recorta en el eje correspondiente y se ve reflejada en la situación de costos operativos.

Figura 46

Desviaciones en el eje de personal



Fuente: el autor.

Figura 47

Análisis de desviaciones del eje de personal

Análisis de desviaciones del eje de personal				
Origen	Tipo	Item	Desviación positiva	Desviación negativa
Intrínseco	Personal	Incremento de contratación	X	
		Incremento de productividad		X
	Seguridad minera	Accidentalidad y enfermedad		X
	Maquinaria y equipo	Tecnología nueva		X
		Pérdida de tiempo por problemas de mantenimiento		X
		Fallas en equipo de producción		X
	Geología	Problemas estructurales		X
		Problemas de sedimentación		X

Extrínseco		Problemas de calidad		X
	Administrativos	Solicitud de aumento de producción	X	
		Mejora de comportamiento de mercado	X	
	Mantenimiento	Retrasos en montajes de infraestructura		X
	Financieros	Cambios en la balanza de cambio monetario	X	

Fuente: el autor

9.10 Análisis de escenarios.

9.10.1 Escenario Optimista

Los cambios sobre las tres variables y el impacto sobre el vector de comportamiento de la operación se analizan respecto a la meta que se traza la empresa en la producción, es decir sobre el cumplimiento del plan de mina, de esta manera el jefe de la operación debe ajustar su planeamiento a corto plazo y los suministros en tiempo real.

En el primer escenario se plantea que se supere la meta con un 10% de producción adicional con la cantidad de personal incluida en el plan de minas como se ve en la tabla.

Los trabajadores son 50 como se esperaba en la meta, pero la producción es de 2028 toneladas en el mes y las condiciones extrínsecas son favorables a la operación porque la geología y las condiciones de mercado son positivas. En el análisis del escenario se le entregan pesos específicos basados en la afectación de la producción y se califican los impactos entre cuatro - muy bueno y uno – muy malo.

En este caso los costos unitarios de la operación son muy buenos porque el costo-meta es $150.000/t y para el cálculo el modelo pronostica $120.468, lo que mejora la competitividad del precio y proporciona mayor movilidad. El rendimiento se acerca a la meta de 2 t/HT y el costo HT es de $203.581 por debajo de la meta $250.000.

Pero el ambiente de este escenario es muy positivo porque se califica en un impacto de 3,29 lo que permite tomar decisiones de crecimiento de la operación, inclusive la de contratar más personal y abrir nuevos frentes de explotación.

Figura 48

Escenario optimista

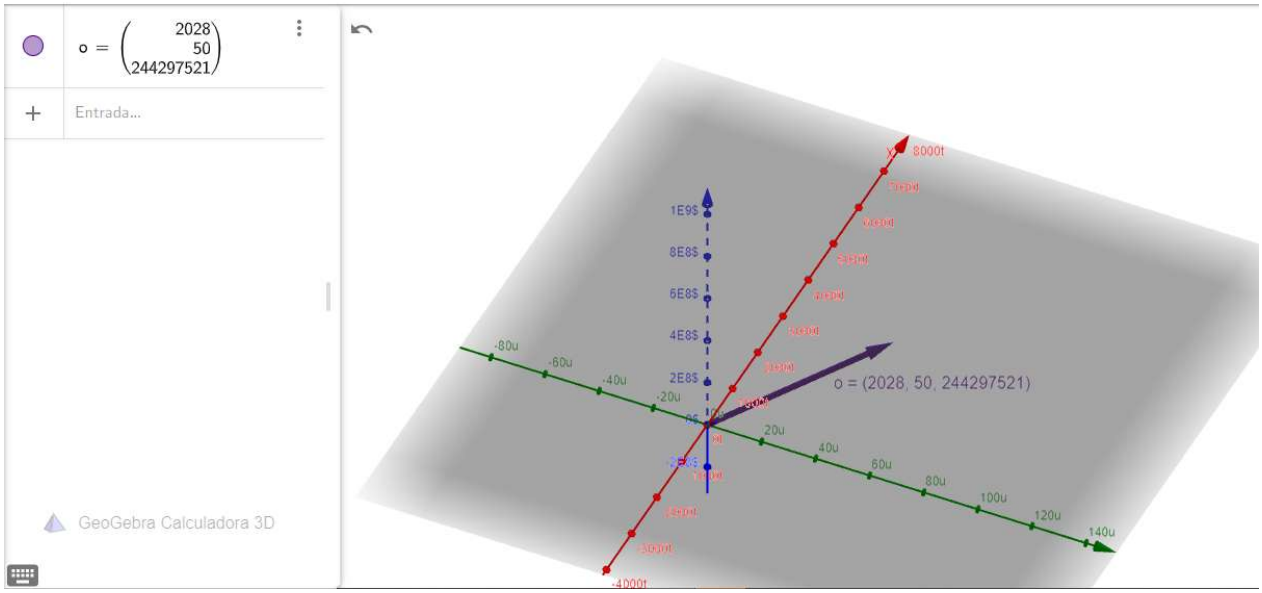
Variable		Escenario Optimista		
Número de trabajadores		50		
Producción (t)		2.028		
Costos de Operación		244.297.521		
Indicador		Meta	Real	
Rendimiento (RHT)		2	1,69	
Costo Unitario (CU)		150.000	120.468	
Costo Hombre Turno (CHT)		250.000	203.581	
Origen	Item	Peso Específico	Calificación	Impacto
Origen Intrínseco	Productividad	18%	4	0,71
	Seguridad Minera	7%	3	0,21
	Maquinaria y Equipo	11%	3	0,32
	Mantenimiento	11%	3	0,32
	Tecnología	14%	3	0,43
Origen Extrínseco	Geología	11%	4	0,43
	Cambios de mercado	11%	3	0,32
	Problemas cambiarios	7%	3	0,21
	Importación de maquinaria y equipos	4%	3	0,11
	Cambios financieros	7%	3	0,21
		100%		**3,29**

Nota: Calificación Muy Bueno (4), Bueno (3), Mala (2) y Muy Mala (1)

Fuente: el autor

Figura 49

Vector escenario optimista



Fuente: el autor

9.10.2 Escenario Normal

Un escenario normal ocurre cuando la producción se ajusta al pronóstico de la curva, en ese caso los indicadores se aproximan a la meta, pero basado en la realidad no se han conseguido porque hay una diferencia con lo teórico, pero son relativamente menores a los obtenidos en el escenario optimista.

Sin embargo en las variables ambientales se cambiaron las calificaciones, porque la productividad es menor, las condiciones de seguridad son negativas basadas en el riesgo, el mantenimiento es una preocupación constante, la geología es muy dinámica debido a la posición geográfica, y la dinámica de mercado genera un gran impacto en las operaciones. De esta forma, el ambiente es calificado con 2,43 es decir que se ubica en un punto un poco superior al “malo”.

Figura 50

Escenario Normal

Variable		Escenario Optimista			Escenario Normal		
Número de trabajadores		50			50		
Producción (t)		2.028			1.844		
Costos de Operación		244.297.521			297.582.391		
Indicador		Meta	Real		Meta	Real	
Rendimiento (RHT)		2	1,69		2	1,54	
Costo Unitario (CU)		150.000	120.468		150.000	161.379	
Costo Hombre Turno (CHT)		250.000	203.581		250.000	247.985	
Origen	Item	Peso Específico	Calificación	Impacto	Peso Específico	Calificación	Impacto
Origen Intrínseco	Productividad	18%	4	0,71	18%	3	0,54
	Seguridad Minera	7%	3	0,21	7%	2	0,14
	Maquinaria y Equipo	11%	3	0,32	11%	2	0,21
	Mantenimiento	11%	3	0,32	11%	3	0,32
	Tecnología	14%	3	0,43	14%	3	0,43
Origen Extrínseco	Geología	11%	4	0,43	11%	3	0,32
	Cambios de mercado	11%	3	0,32	11%	2	0,21
	Problemas cambiarios	7%	3	0,21	7%	1	0,07
	Importación de maquinaria y equipos	4%	3	0,11	4%	1	0,04
	Cambios financieros	7%	3	0,21	7%	2	0,14
		100%		**3,29**	100%		**2,43**

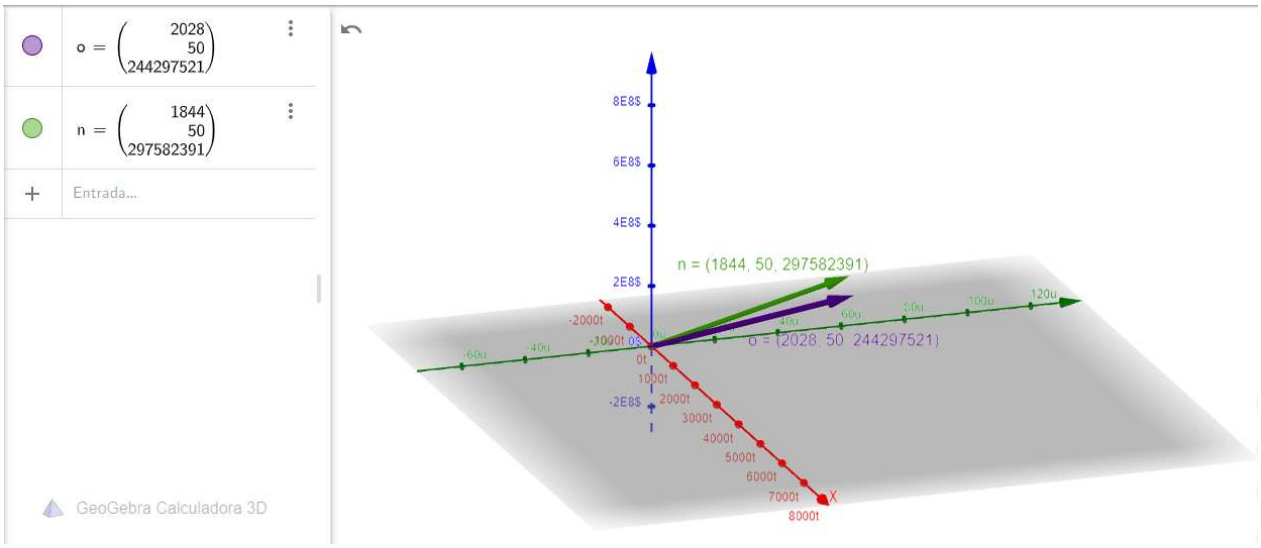
Nota: Calificación Muy Bueno (4), Bueno (3), Mala (2) y Muy Mala (1)

Fuente: el autor

En la comparación gráfica se aprecia como el vector es mayor en el eje z y menor en el eje X, de esta manera se puede tomar una decisión rápida sobre la condición de la mina y se entiende que los costos están altos y la producción baja.

Figura 51

Vector escenario normal



Fuente: el autor

9.10.3 Escenario pesimista

El tercer escenario es el pesimista, que supone que la producción sea un 10% menor, con el mismo personal y los mismos costos, pero las condiciones extrínsecas sean adversas, es decir que la situación geológica sea adversa y que el mercado tenga problemas. Como se puede concluir de la tabla, los indicadores son muy negativos, porque el rendimiento cae a 1,38 t/HT, el costo se sube hasta $179310/t, esto hace estrecho el margen con el precio y el costo por hombre se mantiene alto.

Pero a su vez, la calificación del ambiente es de 2,14 claramente una situación mala para la empresa y que demanda recortes de costos fijos y políticas de escasez con los variables, éste escenario es muy habitual cuando el mercado está restringido por oferta y la tasa cambiaria es adversa al peso colombiano.

Figura 52
Escenario pesimista

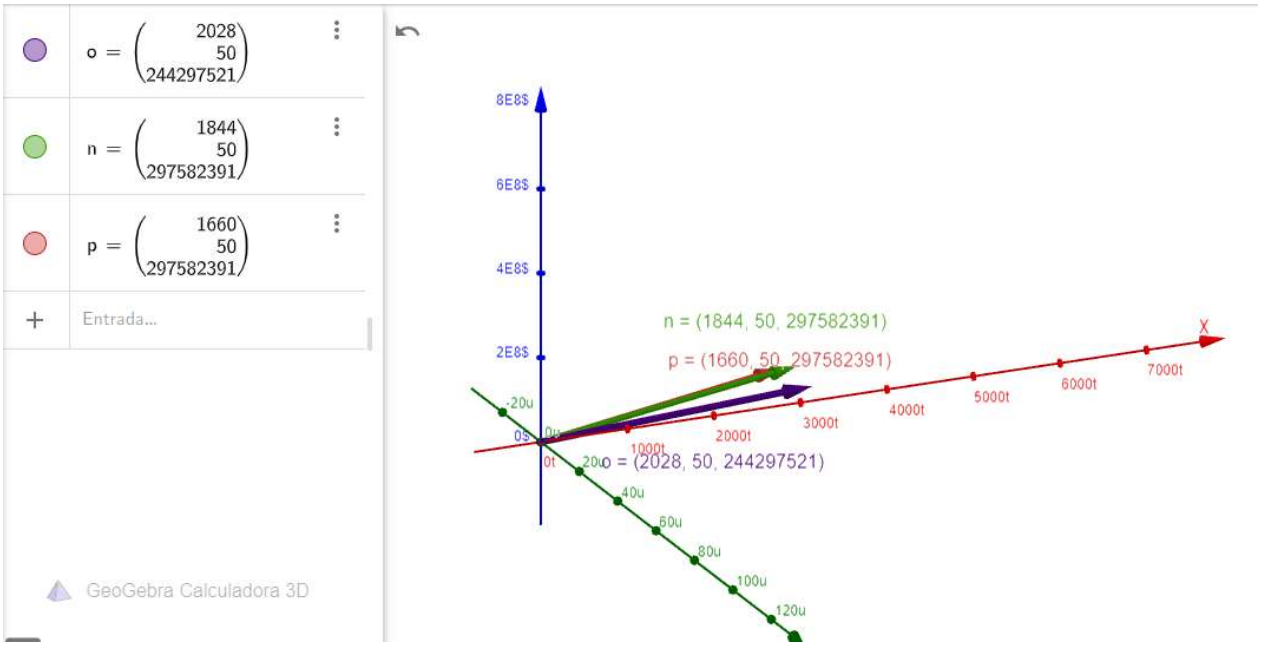
Variable		Escenario Optimista			Escenario Normal			Escenario Pesimista		
Número de trabajadores		50			50			50		
Producción (t)		2.028			1.844			1.660		
Costos de Operación		244.297.521			297.582.391			297.582.391		
Indicador		Meta	Real		Meta	Real		Meta	Real	
Rendimiento (RHT)		2	1,69		2	1,54		2	1,38	
Costo Unitario (CU)		150.000	120.468		150.000	161.379		150.000	179.310	
Costo Hombre Turno (CHT)		250.000	203.581		250.000	247.985		250.000	247.985	
Origen	Item	Peso Específico	Calificación	Impacto	Peso Específico	Calificación	Impacto	eso Específic	Calificación	Impacto
Origen Intrínseco	Productividad	18%	4	0,71	18%	3	0,54	18%	3	0,54
	Seguridad Minera	7%	3	0,21	7%	2	0,14	7%	2	0,14
	Maquinaria y Equipo	11%	3	0,32	11%	2	0,21	11%	2	0,21
	Mantenimiento	11%	3	0,32	11%	3	0,32	11%	3	0,32
	Tecnología	14%	3	0,43	14%	3	0,43	14%	3	0,43
Origen Extrínseco	Geología	11%	4	0,43	11%	3	0,32	11%	2	0,21
	Cambios de mercado	11%	3	0,32	11%	2	0,21	11%	1	0,11
	Problemas cambiarios	7%	3	0,21	7%	1	0,07	7%	1	0,07
	Importación de maquinaria y equipos	4%	3	0,11	4%	1	0,04	4%	1	0,04
	Cambios financieros	7%	3	0,21	7%	2	0,14	7%	1	0,07
		100%		**3,29**	100%		**2,43**	100%		**2,14**

Nota: Calificación Muy Bueno (4), Bueno (3), Mala (2) y Muy Mala (1)

Fuente: el autor

Figura 53

Vector escenario pesimista



Fuente: el autor

En la gráfica se comparan los tres escenarios que determinan las decisiones de la operación, pero la utilidad del modelo le permite al líder de la producción hacer los cambios basados en datos sólidos de la operación y en un análisis técnico muy rápido de las condiciones de la mina.

9.11 Análisis de causas y efectos.

9.11.1 Incumplimiento de personal

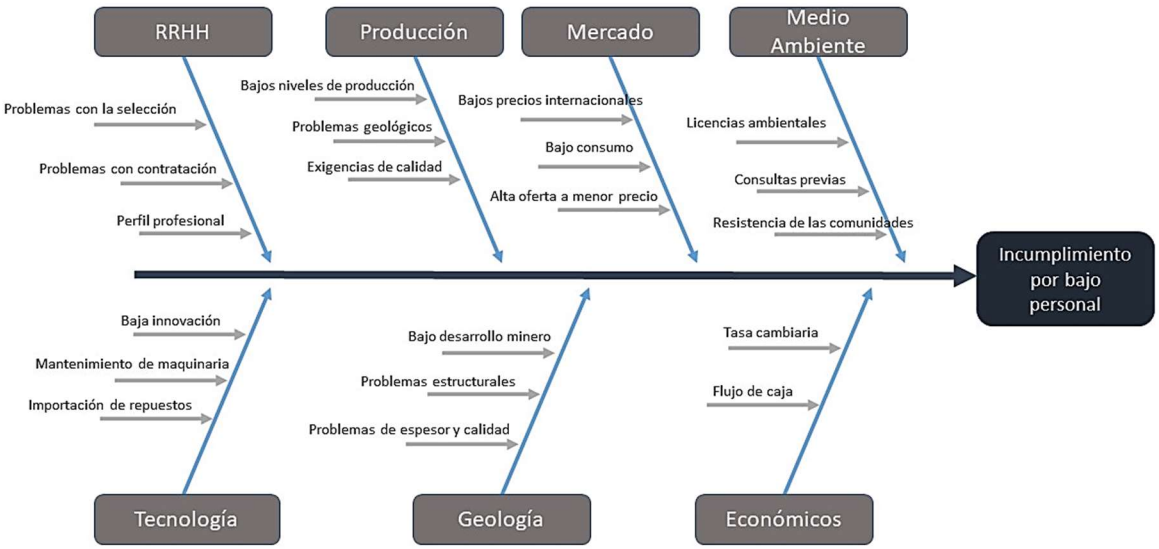
Los problemas que ocurren en la operación, como se ha venido explicando dependen de la cantidad de mano de obra asociado a la explotación bajo tierra, la complejidad del mercado de mano de obra nace en las condiciones de escasez misma de personal capacitado o con experiencia en el sector, esto genera una dinámica de rotación de personal muy alta, superior al 15% mensual.

Entonces el departamento de recurso humano tiene que dedicarse a buscar perfiles que se ajusten a las necesidades de la operación, lo que implica que a las personas que no tienen la experiencia necesaria se debe capacitar una vez contratado y a los que la tienen se debe compensar económicamente para generar retención de mano de obra.

Por otro lado, la producción misma requiere una dinámica para retener personal, puesto que los pagos se hacen por destajo, la cantidad producida, la condición geológica y las restricciones de calidad debido a las propiedades geológicas son fundamentales para garantizar la estabilidad del personal. Pero a su vez, lo solicitado depende del mercado y específicamente del acero en términos internacionales, puesto que esto provoca la demanda del coque, el precio, la cantidad y calidad que pide el mercado y que se termina reflejando en las minas.

Figura 54

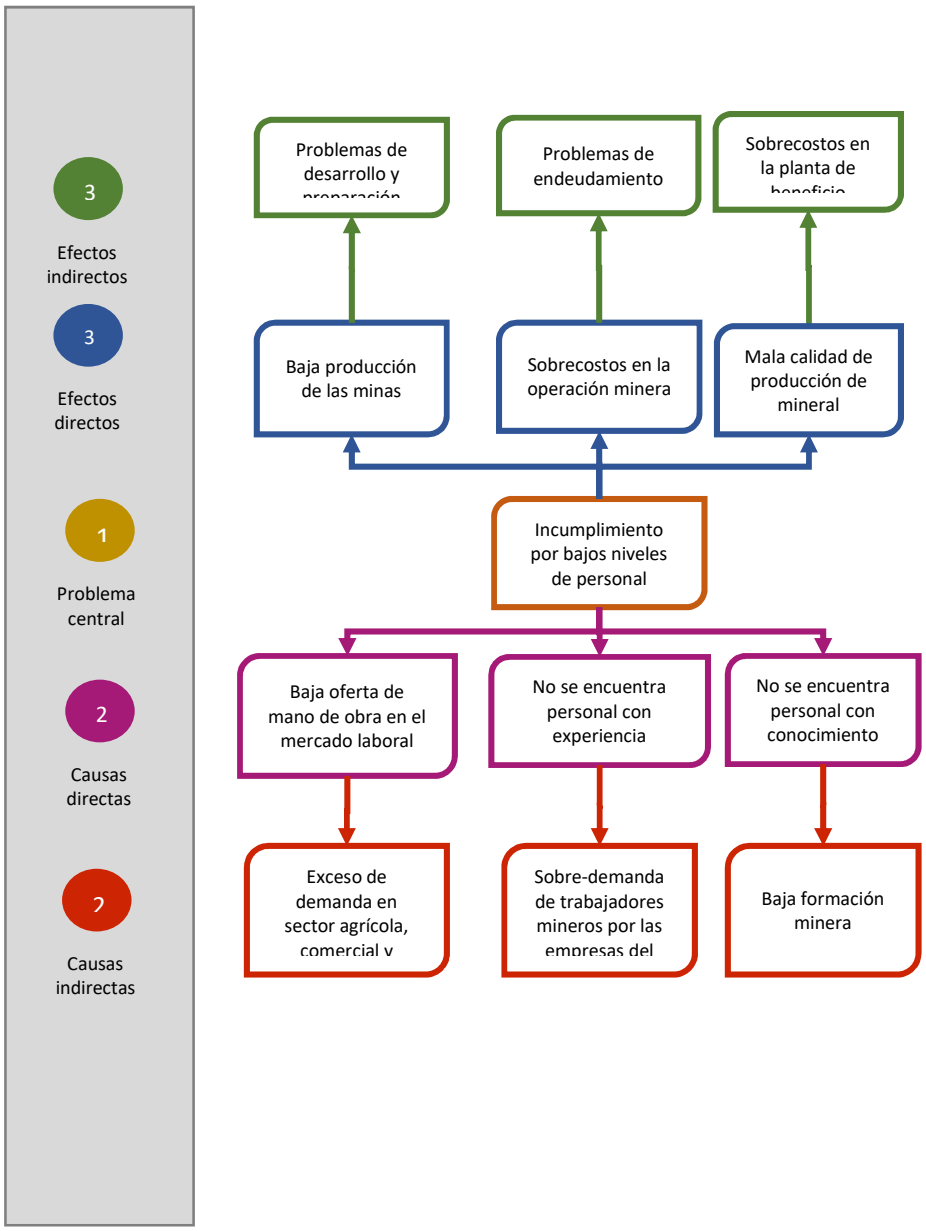
Diagrama de Ishikawa para incumplimiento por bajo personal



Fuente: el autor

Figura 55

Árbol de problemas incumplimiento por bajos niveles de personal



Fuente: el autor

Pero el sector minero se mueve en medio de condiciones de mercado que produce "bonanzas" temporales ocasionadas por pico de consumo y por tanto de demanda del mineral y que se comportan de manera cíclica, todo impacta a las minas y a los trabajadores, quienes saben

que debido la inestabilidad de empleabilidad exigen la mejora de las condiciones de compensación económica.

De esta manera, se plantea un árbol de problemas que se llevan a que se incumpla por problemas de bajos niveles de personal, entendidos como menor cantidad de trabajadores a los incluidos en el plan minero, primero porque el sector minero compite en contratación con los demás sectores de la economía, este punto es fundamental dentro del planeamiento minero, porque debido a los altos grados de accidentalidad de todas las minas bajo tierra en el país, hay una resistencia por parte de los nuevos trabajadores a ingresar a la industria minera, pero el origen está en la proliferación de la minería informar e ilegal, y la imposibilidad de separar la situación de estas minas con la de las empresas formales.

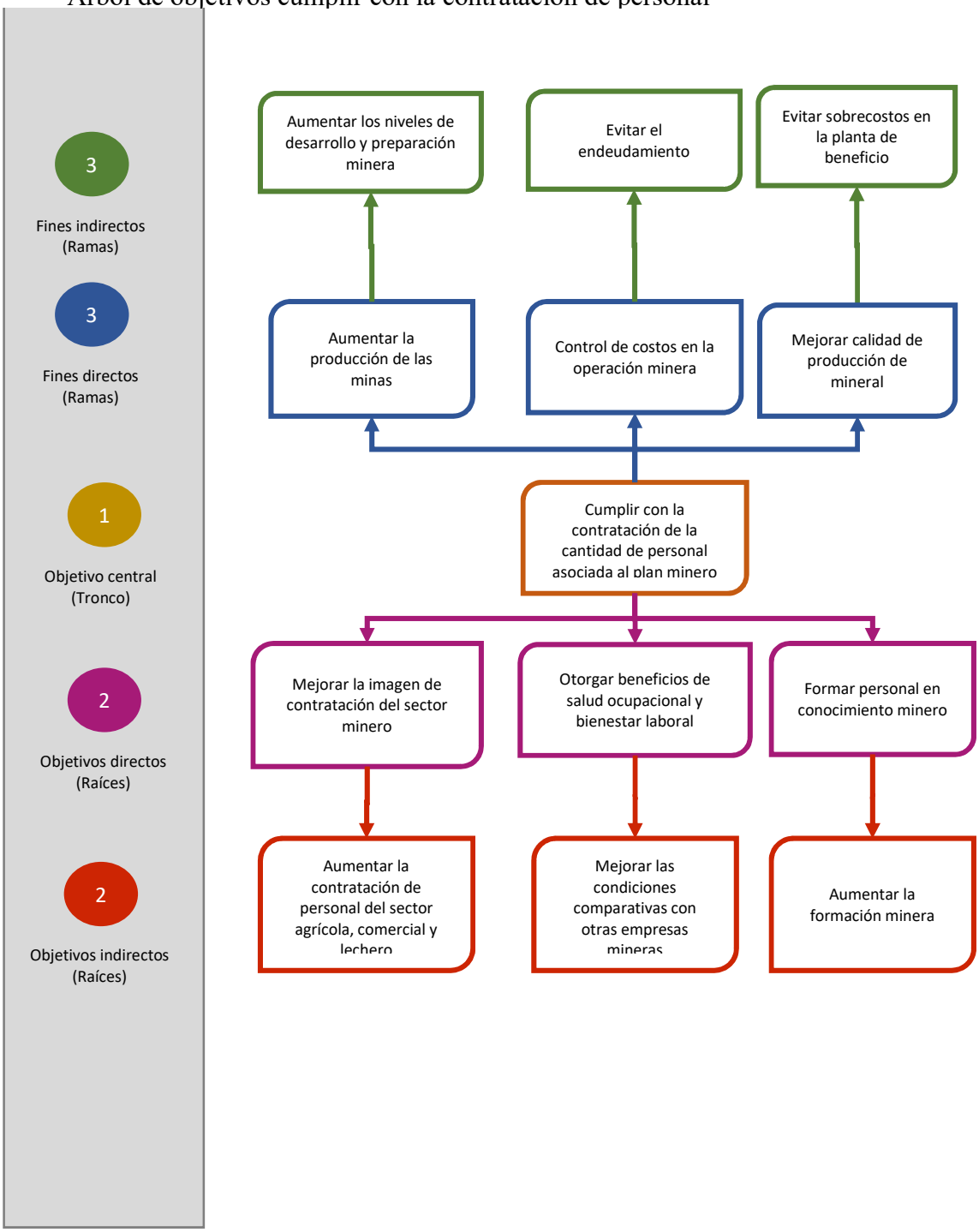
Por otro lado, la empresa busca mano de obra con experiencia, el conocimiento en minería es crucial para los resultados y es un punto diferenciador, frente al proceso de contratación, en términos generales esta situación se compensa con planes de formación pero es insuficiente.

Y en tercer lugar, el conocimiento minero, es decir, la tecnología, el uso de herramienta, maquinaria y equipos, la formación en procesos y seguridad que hace que un trabajador tenga que pasa por un proceso de capacitación en trabajo en alturas, trabajo en caliente, trabajo en espacio confinado, capacitación en manejo y uso de explosivos, etc. Todos propios del sector y que cuando sale un trabajador de la empresa toda la inversión en su capacitación termina perdiéndose para la empresa.

Como consecuencia, el no contar con el personal suficiente hace que no se cumpla con las metas de producción, se caiga en sobrecostos para la producción y se comprometa la calidad de lo producido.

Figura 56

Árbol de objetivos cumplir con la contratación de personal



Fuente: el autor

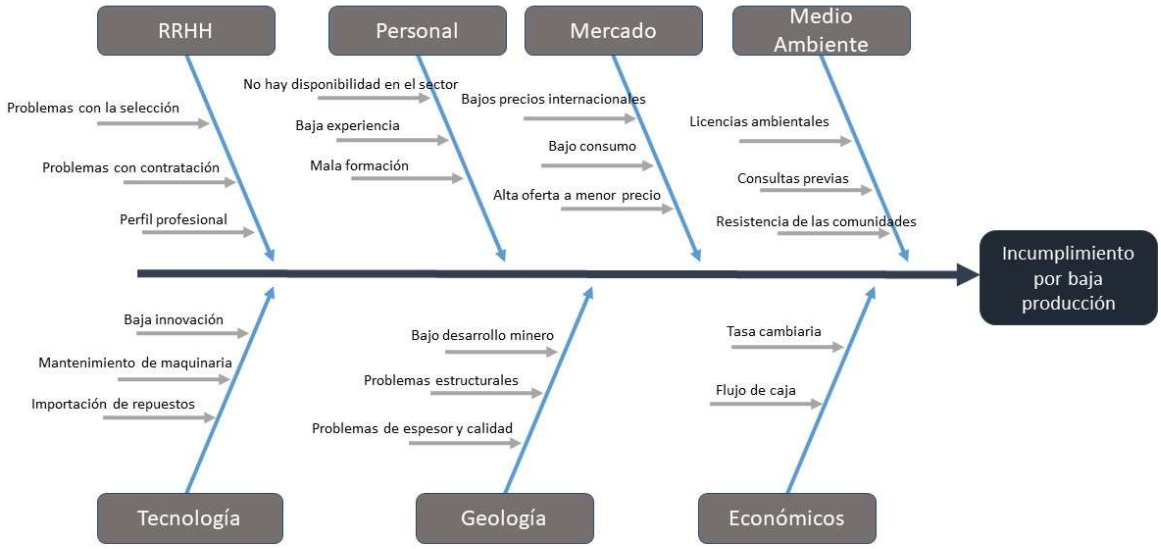
En respuesta de lo anterior, se deben hacer un plan de mejora del sector minero formalizado, mejorar las condiciones comparativas de la contratación y aumentar el impacto del

programa de formación minera de la empresa. La preocupación se mantiene en torno a la alta rotación que hace que estas inversiones de recursos para el personal se terminen perdiendo, pero la política interna contempla que es una manera de hacer gestión social y con esta interpretación se espera que haya compensación de los resultados.

9.11.2 Incumplimiento por baja producción

Figura 57

Diagrama de Ishikawa para incumplimiento por baja producción



Fuente: el autor

El segundo tipo de incumplimiento es el que se da propiamente en la producción minera, es decir que se atribuye a que por componentes intrínsecos de la operación no se cumplió con la meta trazada para la mina, como se ha venido explicando la primera razón es el personal que se describió ampliamente en el numeral anterior, pero adicionalmente puede producirse por las condiciones geológicas del yacimiento, es decir que se desconozcan fallamientos locales, lo cual ocurre con frecuencia debido a que la génesis de la disposición estructural es por el levantamiento de la cordillera de los Andes, una situación tan violenta en términos de la fuerza de que lo

produce hace que en una formación como Guaduas, las fallas locales con desplazamientos menores a 50 metros y los plegamientos que afectan el espesor de los mantos conlleve mucha incertidumbre.

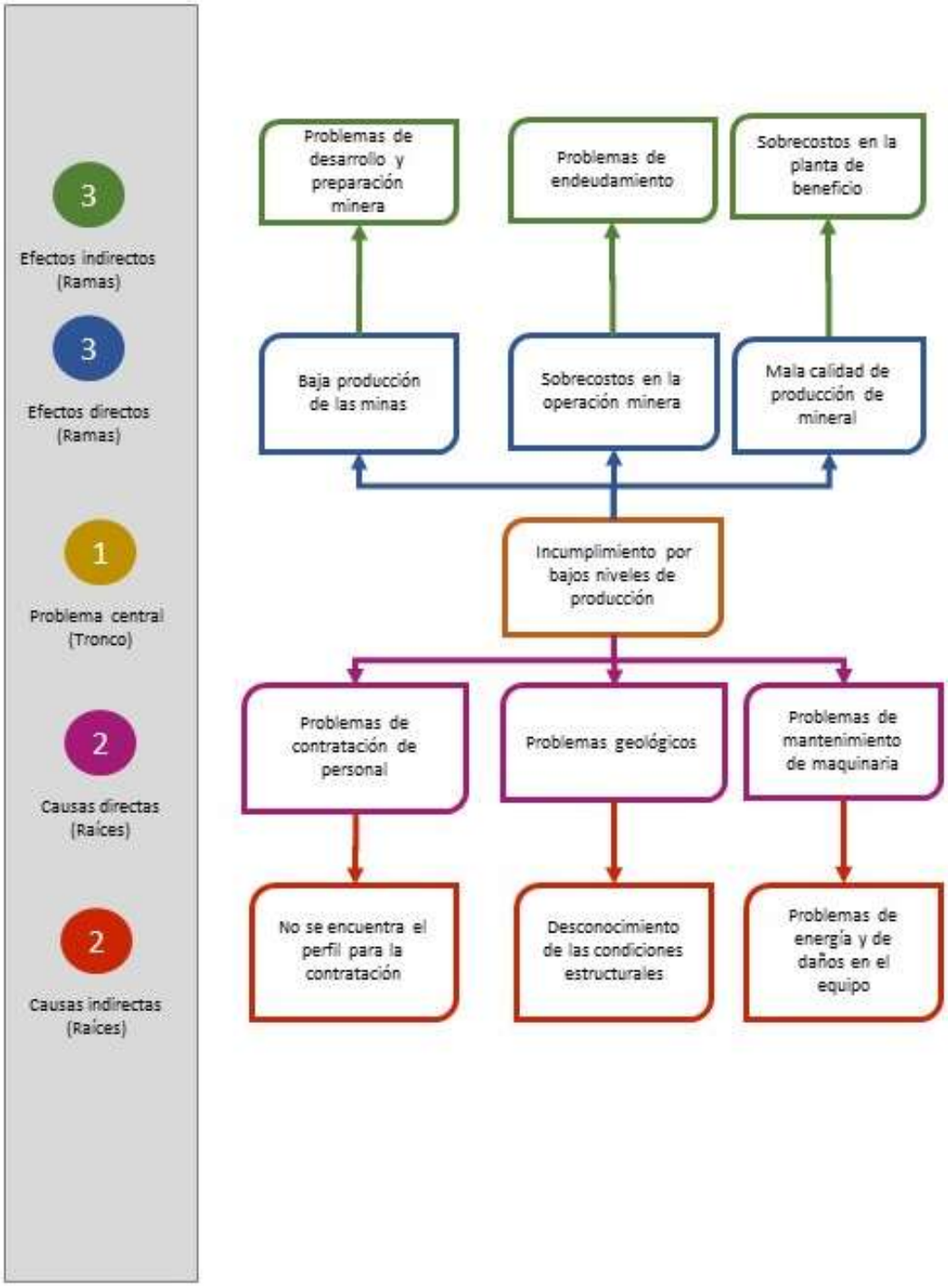
Por otro lado, Colombia tiene uno de los peores sistemas eléctricos de la región, basado en conexiones locales que hacen que la trasmisión de energía sea muy complicada, las caídas de tensión, la instabilidad con el suministro y la cantidad de conducción, hace que sea muy frecuente la pérdida de tiempo porque no se pueden prender los equipos, este tiempo no se puede reponer y genera un doble impacto, por los sobrecostos de mano de obra y por baja producción de mineral.

La maquinaria y equipo están sometidas a unas condiciones extremas, con problemas de suministro eléctrico, con alto grado de polución y de humedad, hace que las reparaciones sean constantes y que la disponibilidad no sea total. De esta manera los problemas de la producción están planteados sin incluir los que se refieren a las exigencias de las plantas de consumo y que restringen la calidad y cantidad de la demanda.

El árbol de problemas resume lo arriba expuesto, es muy similar al numeral anterior, pero incluye los impactos ocasionados por la situación geológica y de mantenimiento, y los objetivos van en la misma línea de la operación, puesto que los planes de correctivos y preventivos sobre maquinaria y equipo son muy relevantes y la necesidad de invertir en desarrollo del yacimiento parece ser el único camino razonable desde el punto de vista geológico.

Figura 58

Árbol de problemas para bajos niveles de producción



Fuente: el autor

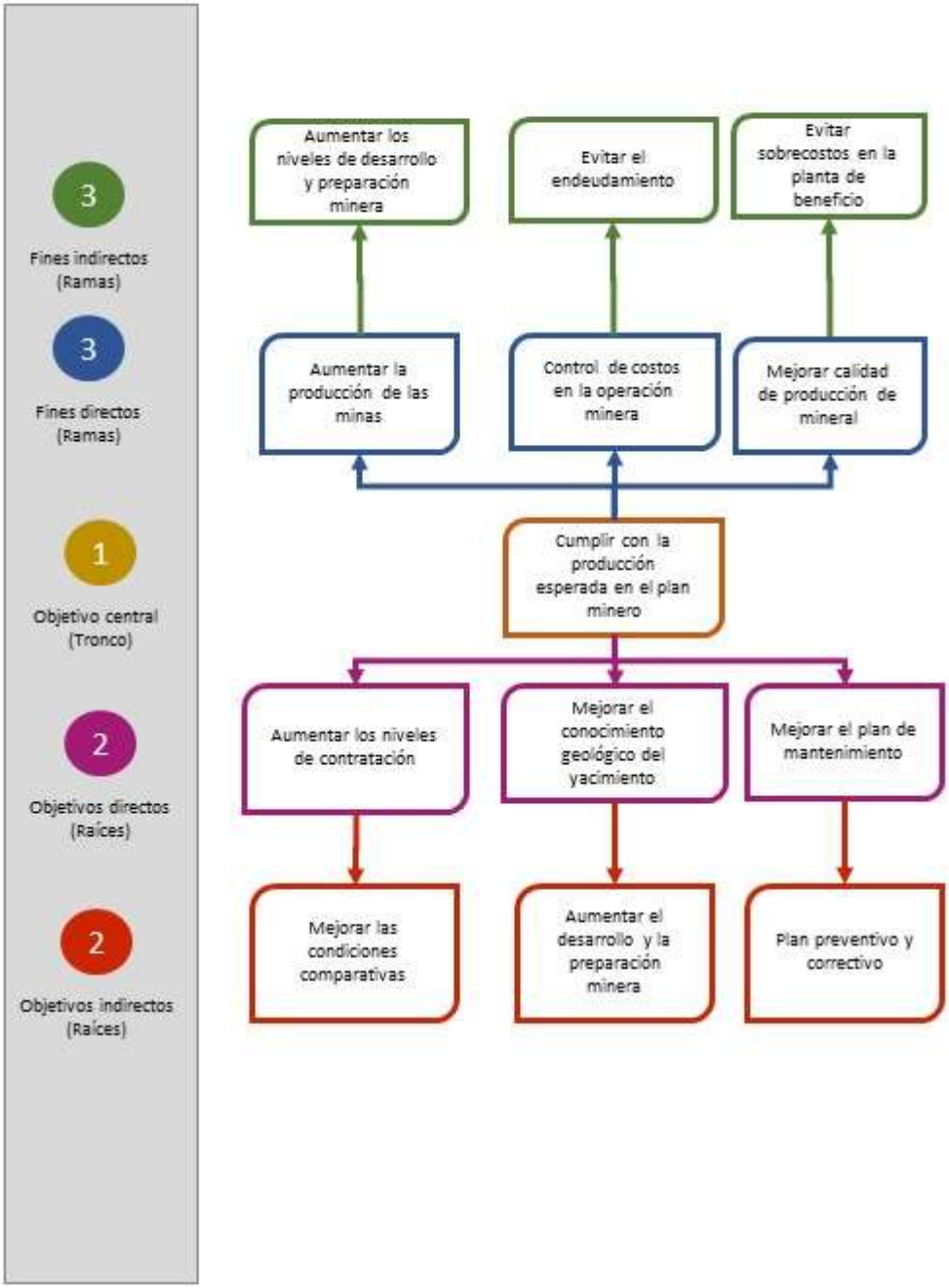
Entonces los objetivos para evitar que este problema de incumplimiento ocurra debido a bajas en la cantidad producida, se deben enfocar en el conocimiento del yacimiento minero, si bien, el primer periodo del contrato minero está en la exploración geológica, los detalles estructurales locales solamente se van conociendo en la medidad que se hacen labores de desarrollo y preparación, es decir con la tunelería de transporte y de servicios a los frentes de explotación, acelerar el proceso de desarrollo del yacimiento convierte a las reservas estimadas en probadas y con esto aumenta el valor mismo del yacimiento y en un largo plazo el de la empresa minera.

El control de costos en las minas es un reto, porque debe existir un equilibrio entre tener inventarios que garanticen la continuidad de la operación y el compromiso del flujo de caja, muchos de los repuestos y suministros son importados con lo que el desafío es mayor, puesto que adicionalmente está el impacto del costo de no tener repuesto que pueden conllevar una parada del equipo por más de dos meses.

Y la calidad del mineral es otro factor fundamental en los planes de producción, puesto que genera diferenciadores de precio para la estructura de la operación, esto debería ser suficiente motivación para mantener un estricto control de calidad y hacer una minería sujeta a que el mineral extraído venga asociado a la calidad y los mejores rangos de retribución.

Figura 59

Árbol de objetivos para incumplimiento por baja producción



Fuente: el autor

9.12 Plan de Gestión por Compromisos y Seguimiento.

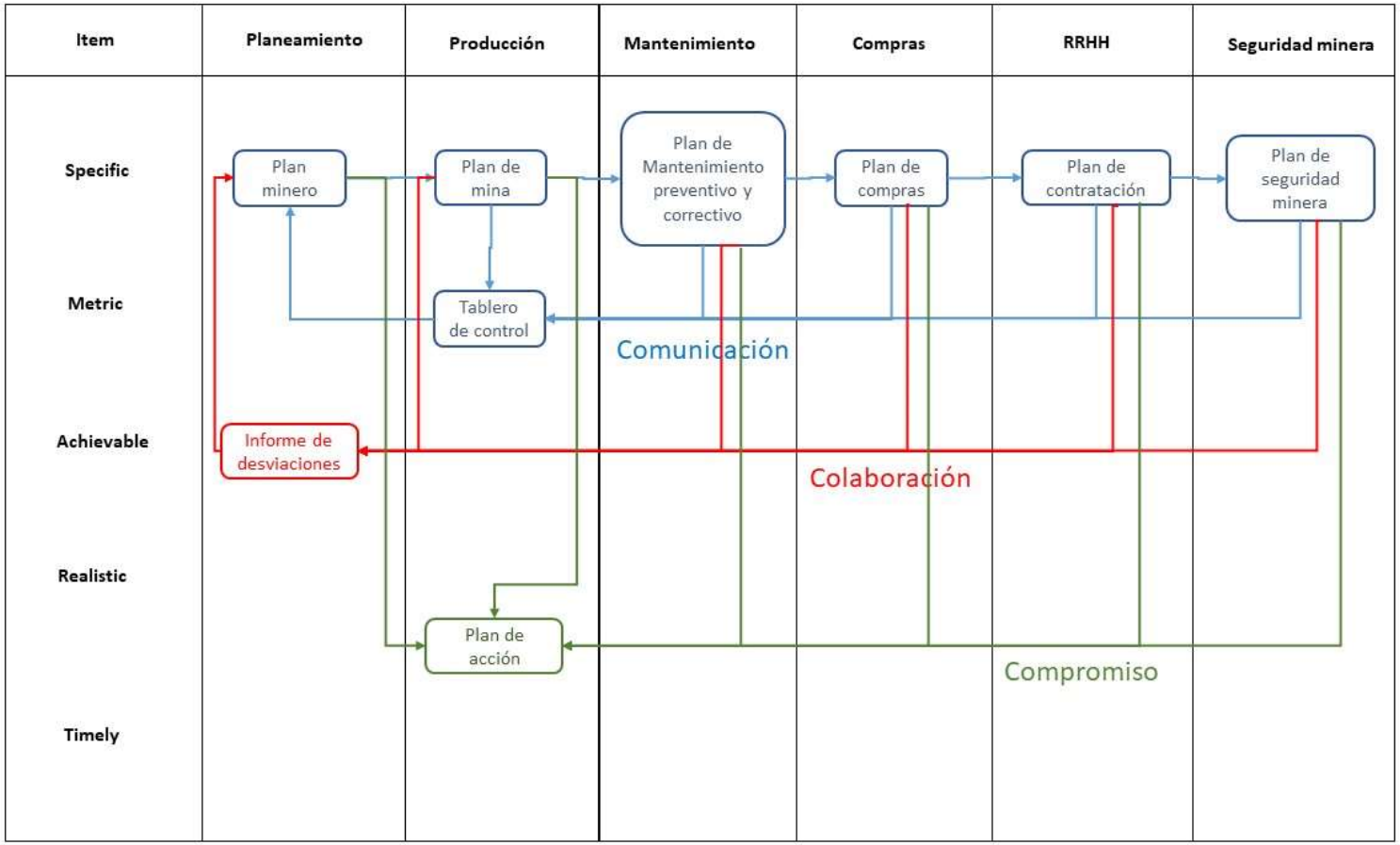
Se escogió como proceso de Gestión por compromisos y seguimiento el de SMART, el diseño incorpora al esquema de áreas funcionales tres elementos: el Tablero de Control, el informe de desviaciones y plan de acción. El Tablero de control resume los indicadores gráficos y vectoriales que se han presentado a lo largo del presente documento, las curvas de cada plano y los indicadores de dos dimensiones con un indicador de posicionamiento de la mina, lo que permite entender rápidamente la situación de la mina y tomar las medidas necesarias para acercarse a la meta.

El Informe de desviaciones lo elabora el departamento de Planeación y se socializa en cada reunión periódica de las áreas, lo que busca es interpretar las desviaciones positivas y negativas y buscar alternativas de cumplimiento. Finalmente, el plan de acción, resume las medidas necesarias para corregir las desviaciones y alcanzar la meta.

De esta manera, se articulan los tres principios rectores del modelo de gestión por compromisos: Colaboración, Comunicación y Compromiso. El instrumento de la comunicación son los planes de cada área que permite que se transmita con detalle las metas de la operación; la comunicación, a su vez converge en el Tablero de control que debe ser el lenguaje común de la operación y el compromiso que busca tomar los correctivos construyendo planes de acción efectivos.

Figura 60

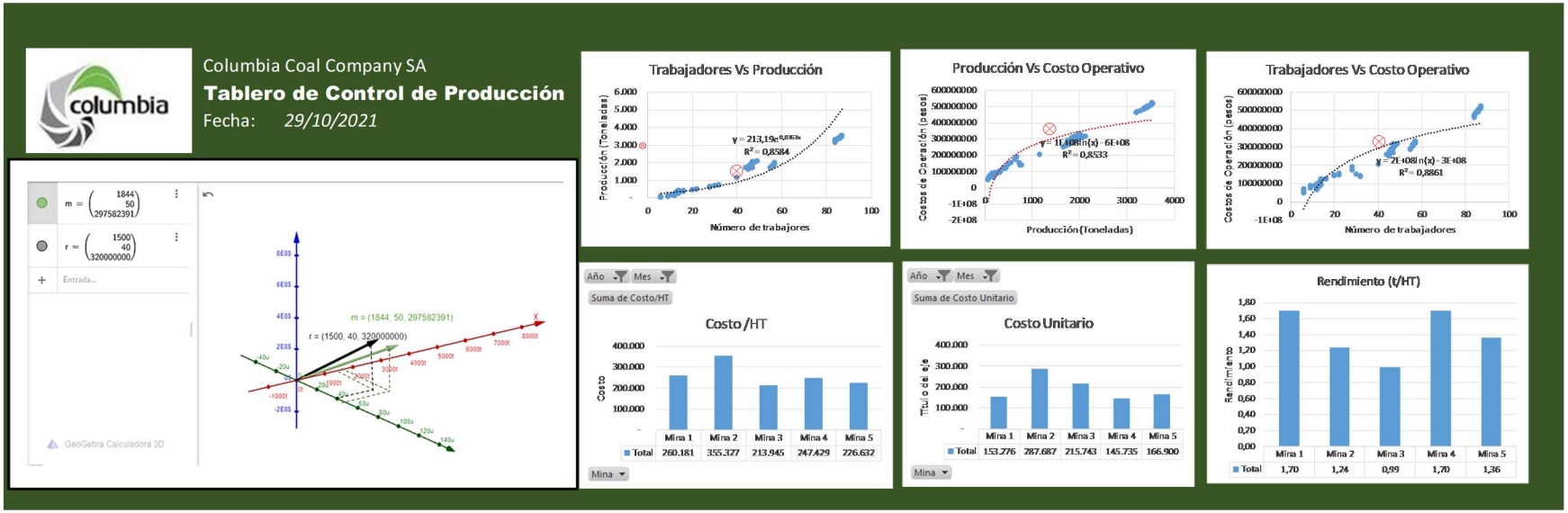
Plan de gestión por compromisos SMART



Fuente: el autor

Figura 61

Tablero de control



Fuente: el autor

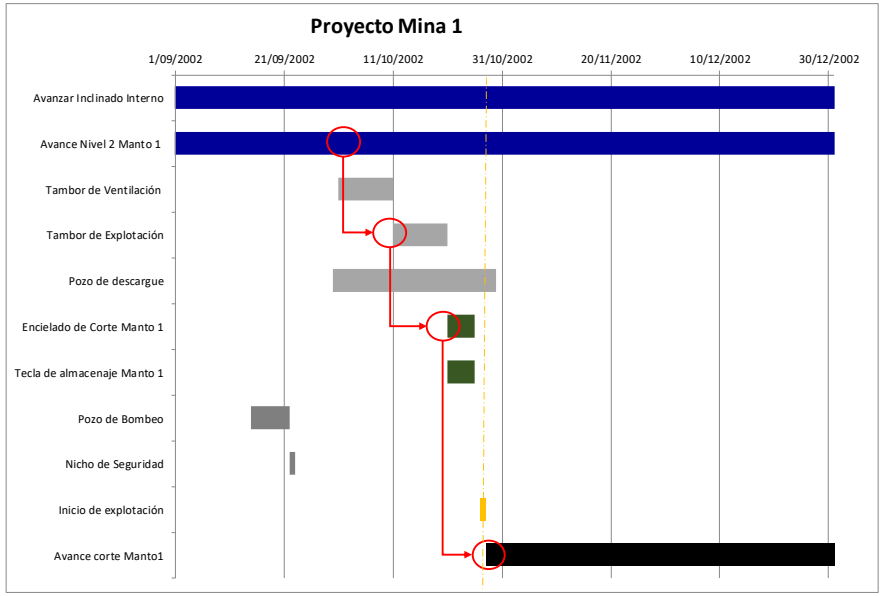
Figura 62

Plan de acción de la mina

Plan de acción Mina 1

lunes, 2 de septiembre de 2002

Labor	Fecha de inicio	Fecha final	Duración (días)	Metros	sep-02	oct-02	nov-02	dic-02
Avanzar Inclinado Interno	**1/09/2002**	**31/12/2002**	**121**					
Avance Nivel 2 Manto 1	**1/09/2002**	**31/12/2002**	**121**	**120**	30	30	30	30
Tambor de Ventilación	1/10/2002	11/10/2002	10	100		100		
Tambor de Explotación	11/10/2002	21/10/2002	10	100		100		
Pozo de descargue	30/09/2002	30/10/2002	30	25		25		
Encielado de Corte Manto 1	**21/10/2002**	**26/10/2002**	**5**	**10**		10		
Tecla de almacenaje Manto 1	**21/10/2002**	**26/10/2002**	**5**	**12**		12		
Pozo de Bombeo	15/09/2002	**22/09/2002**	7	5	5			
Nicho de Seguridad	22/09/2002	**23/09/2002**	1	2		1		
Inicio de explotación	27/10/2002	28/10/2002	1	1		1		
Avance corte Manto1	**28/10/2002**	**31/12/2002**	**64**	**64**		3	31	30
			Total					

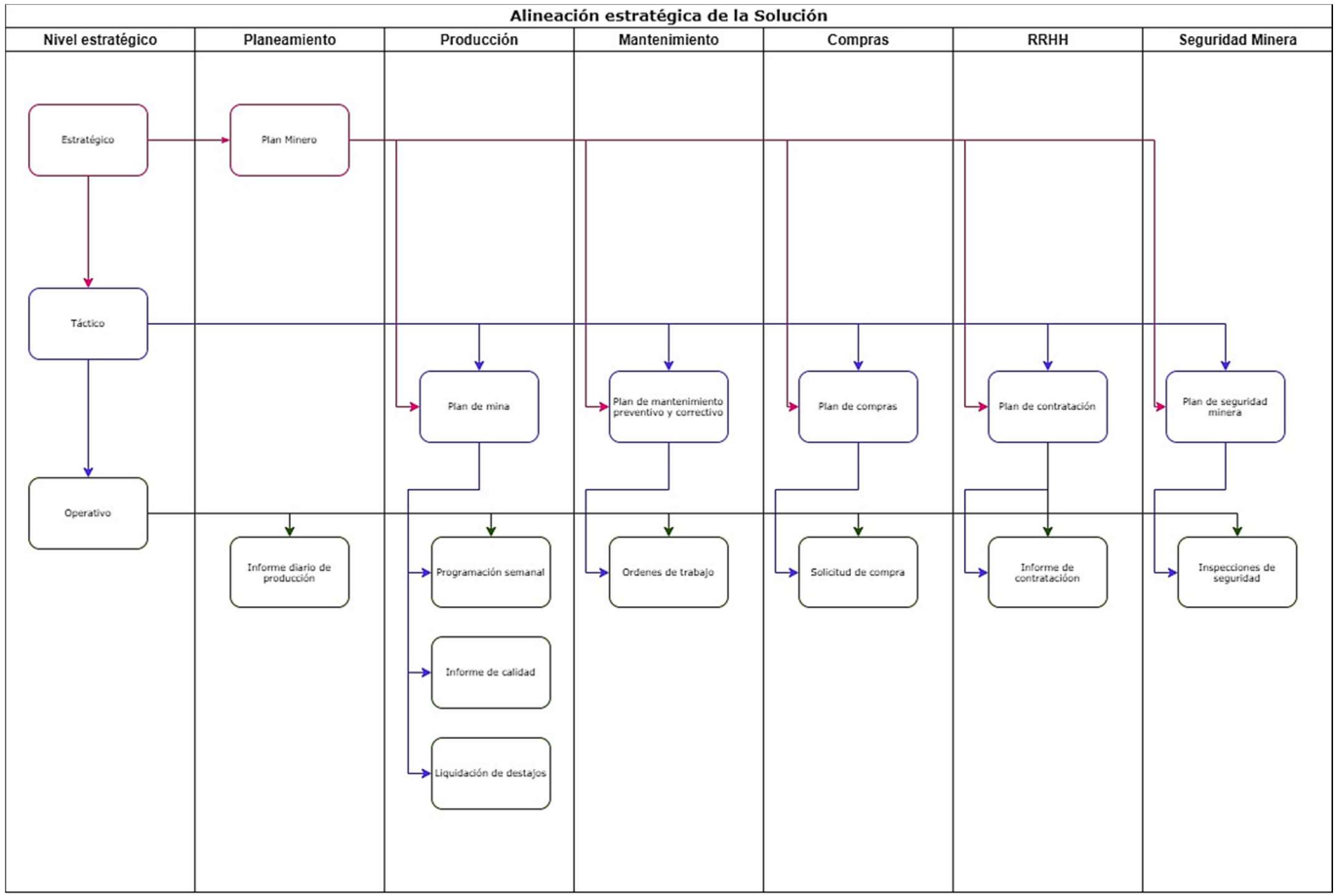


Fuente: el autor.

9.13 Verificar que la solución propuesta se alinee con las metas estratégicas de la compañía.

Figura 63

Alineación estratégica



Fuente: el autor

En la verificación de la situación de alineación estratégica de la propuesta se elaboró el mapa de alineación estratégica que integra los tres niveles: Estratégico, táctico y operativo, con los instrumentos de gestión de la empresa en cada área funcional, lo que permite evidenciar que existe una íntima relación entre la gestión y el cumplimiento de la estrategia operativa de la empresa.

9.14 Plan de comunicaciones

9.14.1 Análisis estratégico

9.14.1.1 Matriz de evaluación del Factor Interno (MEFI)

Figura 64

Matriz de evaluación del factor interno

Matriz MEFI	Sistema de Indicadores para la Producción minera			
Fortalezas (F)	Peso	Calificación	Peso Calificado	Total
Capacidad Directiva				
Equipo capacitado	20%	4	0,80	
Capacidad Competitiva				
Producción base para planta de coquización	20%	4	0,80	
Capacidad Financiera				
Estabilidad financiera	10%	4	0,40	**3,50**
Capacidad Tecnológica				
Proceso semimecanizado	15%	3	0,45	
Capacidad de Talento humano				
Planes de capacitación	15%	3	0,45	
Buen nombre en política de pago	20%	3	0,60	
	100%			

Matriz MEFI	Sistema de Indicadores para la Producción minera			
Debilidades (D)	Peso	Calificación	Peso Calificado	Total
Capacidad Directiva				
Perfil operativo	15%	2	0,30	
Capacidad Competitiva				
Inestabilidad del mercado del acero	20%	1	0,20	
Capacidad Financiera				
Instabilidad de precios de coque	25%	1	0,25	**1,55**
Capacidad Tecnológica				
Proceso manual	20%	2	0,40	
Capacidad de Talento humano				
Escacez de mano de obra	20%	2	0,40	
	100%			

Nota:
Debilidad Mayor (<1), Debilidad Menor (1-2), Fortaleza Menor (2-3), Fortaleza Mayor (>4)

Fuente: el autor

9.14.1.2 Matriz de evaluación del Factor Externo (MEFE)

Figura 65

Matriz de evaluación del factor externo

Matriz MEFE	Sistema de Indicadores para la Producción minera			
Oportunidades (O)	Peso	Calificación	Peso Calificado	Total
Económicos				
Crecimiento en el mercado	14%	4	0,56	
Escacez de acero	14%	3	0,42	
Políticos				
Incentivos para la construcción	11%	3	0,33	
Sociales				
Promoción de vivienda	12%	4	0,48	
				3,26
Tecnológicos				
Tecnificación de procesos limpios	17%	3	0,51	
Competitivos				
Crecimiento en el mercado de coque	17%	3	0,51	
Geográficos				
Existecia de reservas mineras	15%	3	0,45	
	100%			

Matriz MEFE	Sistema de Indicadores para la Producción minera			
Amenazas (A)	Peso	Calificación	Peso Calificado	Total
Económicos				
Inestabilidad de precios	15%	2	0,30	
Políticos				
Restricciones en la política minera	20%	**2**	0,40	
Restricciones ambientales	20%	**1**	0,20	
Sociales				
Conflicto interno	10%	**2**	0,20	
Mala imagen de minería	10%	**2**	0,20	**1,75**
Tecnológicos				
Tecnologías sucias	5%	**1**	0,05	
Competitivos				
Sustitución de coque	5%	**2**	0,10	
Geográficos				
Problemas logísticos	15%	2	0,30	
	100%			

Nota

Amenaza Mayor (<1), Amenaza Menor (1-2), Oportunidad Menor (2-3), Oportunidad Mayor (>4)

Fuente: el autor

9.14.1.3 Matriz DOFA

Figura 66

Matriz DOFA

Matriz DOFA Sistema de Indicadores de Producción minera		Debilidades										Oportunidades												
		Capacidad Directiva	Perfil operativo	**Capacidad Competitiva**	Inestabilidad del mercado del acero	**Capacidad Financiera**	Instabilidad de precios de coque	**Capacidad Tecnológica**	Proceso manual	**Capacidad de Talento humano**	Escacez de mano de obra	**Económicos**	Crecimiento en el mercado	Escacez de acero	**Políticos**	Incentivos para la construcción	**Sociales**	Promoción de vivienda	**Tecnológicos**	Tecnificación de procesos limpios	**Competitivos**	Crecimiento en el mercado de coque	**Geográficos**	Existecia de reservas mineras
Fortalezas	**Capacidad Directiva** Equipo capacitado **Capacidad Competitiva** Producción base para planta de coquización **Capacidad Financiera** Estabilidad financiera **Capacidad Tecnológica** Proceso semimecanizado **Capacidad de Talento humano** Planes de capacitación Buen nombre en política de pago	Crear un sistema de control de operaciones basados en la insfraestructura de la organización										Mejorar los procesos semimecanizados y la calidad de la producción												
Amenazas	**Económicos** Inestabilidad de precios **Políticos** Restricciones en la política minera Restricciones ambientales **Sociales** Conflicto interno Mala imagen de minería **Tecnológicos** Tecnologías sucias **Competitivos** Sustitución de coque **Geográficos** Problemas logísticos	Mejorar la eficiencia de la operación y el uso de recursos para tener un costo controlado										Mejorar las mediciones de la operación con un plan de seguimiento a los indicadores de operación												

Fuente: el autor

9.14.2 Definición de objetivo

El objetivo de comunicaciones es la capacitación de los responsables de la operación minera sobre el uso adecuado del sistema de indicadores, la interpretación del Tablero de Control y el sistema de gestión de la producción con el sustento del modelo de tres dimensiones.

9.14.3 Mensaje

Existe un sistema técnico que permite tomar decisiones usando tres variables: Cantidad de producción en toneladas, número de personas operativas y costos de operación en pesos, que permite pronosticar las consecuencias de una acción en una variable sobre las otras dos, de tal manera que antes de tomar una decisión se deben prever sus impactos.

9.14.4 Alcance

Todas las decisiones de orden operacional que conlleven cambios en la cantidad de personal, modificaciones en producción y costos operacionales, deberán ser analizadas con el modelo matemático propuesto.

La planeación minera y los planes de operación debe incluir los indicadores esperados.

El seguimiento y control de las operaciones se debe hacer usando el Tablero de Control y el Sistema de Gestión propuesto por el presente estudio.

9.14.5 Canales

El departamento de Recursos Humanos creará los canales de capacitación para la promoción del modelo, separando por niveles de toma de decisiones y explicando las consecuencias de la implementación y las responsabilidades de cada uno.

9.14.6 Seguimiento y evaluación

Se usará la infraestructura de recursos humanos, para abrir espacios de retroalimentación de la implementación del sistema de indicadores.

Aspectos administrativos

10.1 Presupuesto de Implementación del Sistema de Indicadores

Figura 67

Presupuesto de implementación

Presupuesto Proyecto implementación de los Indicadores de Gestión

lunes, 14 de febrero de 2022

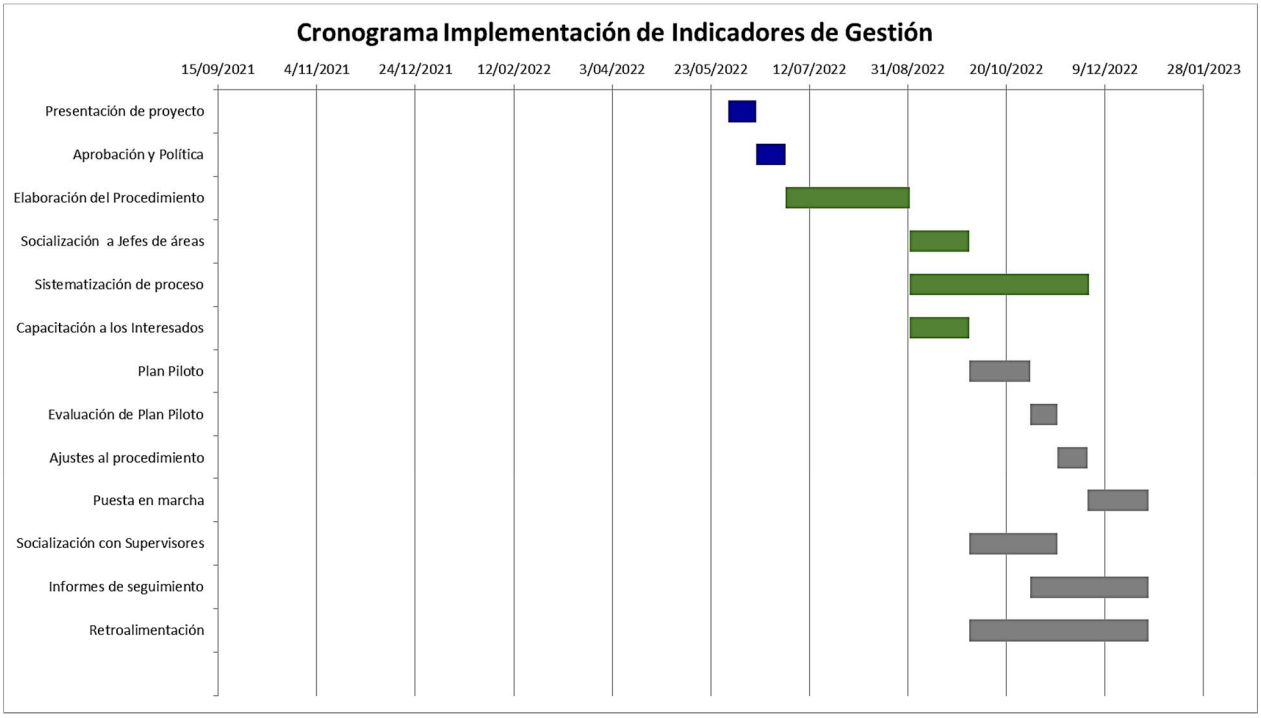
Area	Actividad	Fecha de inicio	Fecha final	Duración (días)	Valor
Administrativa	Presentación de proyecto	1/06/2022	15/06/2022	14	$ 2.000.000
Administrativa	Aprobación y Política	15/06/2022	30/06/2022	15	$ 2.000.000
Sistemas	Elaboración del Procedimiento	30/06/2022	1/09/2022	63	$ 5.000.000
RRHH	Socialización a Jefes de áreas	1/09/2022	1/10/2022	30	$ 5.000.000
Sistemas	Sistematización de proceso	1/09/2022	1/12/2022	91	$ 5.000.000
RRHH	Capacitación a los Interesados	1/09/2022	1/10/2022	30	$ 10.000.000
Producción	Plan Piloto	1/10/2022	1/11/2022	31	$ 2.000.000
Producción	Evaluación de Plan Piloto	1/11/2022	15/11/2022	14	$ 2.000.000
Producción	Ajustes al procedimiento	15/11/2022	30/11/2022	15	$ 3.000.000
Producción	Puesta en marcha	30/11/2022	31/12/2022	31	$ 2.000.000
RRHH	Socialización con Supervisores	1/10/2022	15/11/2022	45	$ 10.000.000
Planeación	Informes de seguimiento	1/11/2022	31/12/2022	60	$ 5.000.000
Planeación	Retroalimentación	1/10/2022	31/12/2022	91	$ 5.000.000
				0	
				Total	$ 58.000.000

Fuente: el autor

10.2 Cronograma de Implementación del Sistema de Indicadores.

Figura 68

Cronograma de implementación



Fuente: el autor

Lecciones aprendidas.

11.1 Producción

El proceso de producción minera está íntimamente relacionado con la capacidad productiva de personal y tiene impacto con los costos de operación, por eso la implementación del modelo de indicadores vectoriales, permite proyectar metas basadas en la productividad del equipo de producción entendida como la relación entre la carga producida respecto del número total de personal asociado a la mina; respecto de los costos de operación, definidos como el valor económico de la operación principalmente concentrada en la nómina de los trabajadores en relación con la cantidad de toneladas producidas.

11.2 Personal

La escasez de mano de obra para minería, la mala imagen del sector debido a la accidentalidad y la tendencia de los nuevos trabajadores a preferir empleos donde no se concentre el pago en el esfuerzo físico, hacen que se deban optimizar los proceso trasladando la producción minera de una evidentemente manual a una mecanizada que permita que los trabajadores tengan menos riesgos y aumenten el nivel de resultados.

Sin embargo, el mercado laboral del sector minero es una fuente importante de distribución de la riqueza, en una tendencia a que la educación y la experiencia son compensadas económicamente, los trabajadores mineros con bajos niveles de formación y experiencia mínima tienen compensaciones mensuales en el orden de dos veces el salario mínimo, lo cual debe ser motivo de estudio, pues es un hallazgo que evidencia un potencial desconocido para mejorar la calidad de vida en las regiones.

11.3 Costos

Los costos de las operaciones mineras como la mayoría de las industrias del primer sector, son evidentemente de mano de obra superando el 60% de la composición, y son la consecuencia del montaje de los entes productivos. Por eso es fundamental, que en la toma de decisiones referentes a la extracción se entienda claramente el impacto de definir la cantidad de personal destinado a la mina y las metas de extracción que se pueden esperar con los recursos asignados.

Es decir, que usando el modelo matemático propuesto se puede hacer un análisis financiero realista de la empresa minera, con proyecciones ajustadas y presupuestos que faciliten la dirección de la compañía.

11.4 Comunicación

Un proceso de comunicación que se sustente en el modelo de indicadores propuesto, permite interpretar de manera técnica la situación de la mina, presentar alternativas basadas en un diagnóstico objetivo y simplificar las metas asociadas a la operación minera.

Conclusiones

Este proyecto aplicado se trazó como objetivo general el diseño y construcción de un modelo de indicadores vectorial de tres dimensiones que correlaciona tres variables que fueron identificadas mediante el Método Delphi como determinantes en el desarrollo de las operaciones de minería de carbón bajo tierra: La cantidad de personal asociado a la operación, la cantidad de producción medida en toneladas y los costos operativos.

Se determinó como problema crítico la definición de un modelo de gestión para el control de costos de producción que permita la toma de decisiones sustentada, mediante la cuantificación del comportamiento de las variables determinantes de la operación usando la Matriz de Vester.

Usando la Matriz PEST se hizo un diagnóstico del ambiente general de la operación minera en Colombia que la identifica con una imagen negativa y políticas estatales adversas producto de una coyuntura en la que se debe redireccionar el sector minero con la responsabilidad social y ambiental.

El modelo de tres dimensiones permite que de manera gráfica se cuantifiquen las variables de personal, producción y costos operativos, representado en un sistema de tres ejes asociados a cada una y definiendo tres planos principales: Producción – Costos que tiene como relación el indicador de costos unitarios en un curva de comportamiento logarítmico; Producción – Personal que es una curva exponencial que da como indicador la productividad por trabajador y finalmente el tercer plano Personal – Costos que da una relación logarítmica de costos por trabajador.

El Modelo vectorial es una herramienta gráfica que sintetiza un comportamiento de la operación y que consignado en un Tablero de Control permite la toma de decisiones rápidamente, por ser una medida escalar facilita la interpretación de la conducta de la producción y hacer proyecciones de resultados de la producción minera.

Para instrumentalizar los indicadores se usó el Método SMART en la elaboración de los indicadores vectoriales y el tablero de control, eso permite mecanizar el modelo de interpretación de los vectores y la facilidad de la interpretación y la toma de decisiones de las minas.

Para el desarrollo de los problemas que se puedan presentar en cada variable, es decir las variaciones positivas o negativas en el eje, se hizo un modelo de árbol de problemas y árbol de objetivos, y diagrama de Ishikawa que dio lugar a las recomendaciones de cada escenario que se planteó para el modelo: uno optimista, uno normal y uno pesimista.

Finalmente, se hizo un análisis de alineación estratégica en los distintos niveles que le permite a la mina tomar decisiones Estratégicas, tácticas y operativas basadas en el nuevo modelo de interpretación de la operación.

Recomendaciones

El modelo de vectores de tres dimensiones es un concepto desarrollado sobre las bases de la operación del sector minero Colombiano, la metodología para ser aplicada a otro tipo de industria debe ser validada usando el Método Delphi para confirmar las correlaciones estadísticas entre variables y posteriormente se recomienda usar el mismo análisis estadístico propuesto antes que su extrapolación directa.

El modelo vectorial es un sistema de representación de magnitudes escalares, pero no existe ninguna interpretación sobre operaciones entre vectores como sumas acumuladas de resultados de varios meses consecutivos o producto punto por aplicación de cambios tecnológicos en la producción de la mina, el alcance está en la representación espacial de tres variables y su interpretación para la toma de decisiones.

Se recomienda utilizar la metodología propuesta en otros sectores industriales del primer sector de la economía y hacer un estudio sobre su viabilidad en sectores comerciales y de servicios.

Referencias Bibliográficas.

AENOR. Asociación española de normalización y certificación. (2003). *Sistema de gestión de calidad.*

Alvarez, M. (2016). *El método Delphi*. http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/110707/1/654735.pdf

Astigarraga, E..(2019). *El Método Delphi*. Universidad de Deusto. http://www.prospectiva.eu/zaharra/Metodo_delphi.pdf

Buendía, E. (2013). *Análisis Económico*. No. 69. Vol. XXVIII. El papel de la ventaja competitiva en el desarrollo económico de los países. [Versión electrónica]. http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/lo gin.aspx?direct=true&db=zbh&AN=97416855&lang=es&site=eds-live

Castro, A. de. (2014). Comunicación organizacional : técnicas y estrategias. Universidad del Norte. https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?dir e ct=true&db=nlebk&AN=813082&lang=es&site=eds-live&scope=site

Díaz Cáceres, N., & Castaño Quintero, C. A. (2015). *Stakeholders*: Base de la Sostenibilidad Empresaria. (Spanish). Revista Daena (International Journal of Good Conscience), 10(2), 94– 108..

https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?dire ct=true&db=hus&AN=116295336&lang=es&site=eds-live&scope=site

FENALCARBON. (2020). *El Carbón Sigue Siendo El Mineral Estrella De Colombia*. https://fenalcarbon.org.co/el-carbon-sigue-siendo-el-mineral-estrella-de-colombia/#:~:text=El%20pa%C3%ADs%20es%20el%20principal,6%25%20de%20las%20exportaciones%20mineras.

Fernandez, A. (2004). *Indicadores de gestión y cuadro de mando integral*. Centro para la calidad de Asturias. http://files.yomaira-orozcocorrea.webnode.es/200000366-def56e0e94/MANDO%20INTEGRAL.pdf

Fernández, R. A. (2007). *Creatividad e innovación en empresas y organizaciones: técnicas para la resolución de problemas*. (pp. 18-42). Madrid, ES: Ediciones Díaz de Santos. https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/53011?page=18

Gallego, R. (2021). *Estadística descriptiva*. https://www.academia.edu/8022636/Estad%C3%ADstica_Descriptiva

Gobble, M. M. (2016). *Defining Disruptive Innovation. Research Technology Management*, 59(4), 66-71. doi:10.1080/08956308.2016.1185347 http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2969/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=116285911&lang=es&site=ehost-live

Hernández, S. F. E. (2007). *Conocimiento organizacional*: la gestión de los recursos y el capital humano. La Habana, CU: Scielo Cuba. https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=20837781&lang=es&site=eds-live&scope=site

Mazurkiewicz, I. (2019). *Competencias Gerenciales De Gestión De Proyectos en La Pequeña Y Mediana Empresa.* Revista Negotium, 15(44), 5–19. https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=143792884&lang=es&site=eds-live&scope=site

Mendoza, C., & Ortiz, O. (2018). *Contabilidad financiera para contaduría y administración* (pp.40-60). Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte. https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/69980

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. Bogotá D.C. https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/DOCUMENTO_ReglamentoSeguridadMineriaSubterranea.pdf/774e58ab-d35d-4d92-8e7e-fd63ec127216

Moreno, E. (2008). *Predicciones con series de tiempo y regresiones*. file:///C:/Users/elking/Downloads/Dialnet-PrediccionConSeriesDeTiempoYRegresion-4780125.pdf

Murray, S. (2009). *Análisis Vectorial*. Segunda edición. Mc Graw Hill.

Prieto, H. J. E. (2012). *Gestión estratégica organizacional* (4a. ed.). Bogotá, CO: Ecoe Ediciones. https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=547340&lang=es&site=eds-live&scope=site

Pucheu Moris, A. (2014). *Desarrollo y eficacia organizacional* : cómo apoyar la creación de capacidades en individuos, grupos y organizaciones. Ediciones UC. https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1725237&lang=es&site=eds-live&scope=site

Red iberoamericana e interamericana de indicadores de ciencia y tecnología - RICYT (2020). Manuales de I & D. http://www.ricyt.org/category/manuales/

Romero, Á. (2018). *Principios de contabilidad* (6a. ed., pp. 109-139). McGraw-Hill Interamericana. http://www.ebooks7-24.com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=5897&pg=132

Rosario, J. (2017). *Gestión financiera* (pp.7-151) Almería, Spain: Editorial Universidad de Almería. https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/44578

Ross, A., Westerfield, R., Jaffe, J., Jordan, B. (2018). *Finanzas corporativas* (11a. ed., pp. 48-55). McGraw-Hill Interamericana. http://www.ebooks7-24.com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=5903&pg=84

Sánchez, M. (2005). Acimed. 13 (6). *Breve inventario de los modelos para la gestión del conocimiento en las organizaciones*. http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/lo gin.aspx?direct=true&db=zbh&AN=20417634&lang=es&site=eds-live

Schnarch, K. A. (2008). *Creatividad aplicada: cómo estimular y desarrollar la creatividad a nivel personal, grupa y empresarial* (pp. 65-82) (2a. ed.). Bogotá, CO: Ecoe Ediciones. https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/69070?page=65

Spiegel, M. (2009). *Estadistica*. Cuarta Edición. Colección Shaum. Mc Graw Hill.

Suarez, M. (2021). *Regresión exponencial mediante el método de los mínimos cuadrados*. https://www.monografias.com/trabajos89/regresion-exponencial-metodo-minimos-cuadrados/regresion-exponencial-metodo-minimos-cuadrados.shtml

Tarziján M., J. (2013). *Fundamentos de estrategia empresarial*: Vol. Cuarta edición. Ediciones UC. https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?dir e ct=true&db=nlebk&AN=1718622&lang=es&site=eds-live&scope=site

Tello, L. (2019). *Herramientas financieras y valoración de activos y pasivos financieros bajo NIIF* (pp.15-216). Editorial Universidad Icesi. https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/130247

Zartha, J. (2014). Método Delphi - *Propuesta para el cálculo del número de expertos en un estudio Delphi sobre empaques biodegradables al 2032*. https://www.revistaespacios.com/a14v35n13/14351310.html