Análisis de bases de datos operativas y financieras para la identificación y solución de problemáticas en el proceso de conminución de materiales pétreos en las canteras explotadas para el proyecto vial Autopista Río Magdalena 2 (Remedios, Antioquia - Cimitarra, Santander)

Paula Muñoz Morales

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Civil.

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesor

Jorge Armando Castro, Magister en Ingeniería Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Muñoz Morales, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	(Muñoz, 2025). *Análisis de bases de datos operativas y financieras para la identificación y solución de problemáticas en el proceso de conminución de materiales pétreos en las canteras explotadas para el proyecto vial Autopista Río Magdalena 2 (Remedios, Antioquia – Cimitarra, Santander).* Trabajo de grado profesional. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

creative commons BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen 7

Abstract 8

Introducción 9

1. Planteamiento del problema 11

1.1 Antecedentes 19

2. Justificación 21

3. Objetivos 22

3.1 Objetivo general 22

3.2 Objetivos específicos 22

4. Marco teórico 23

5. Metodología 36

6. Resultados 38

7. Análisis de resultados 50

8. Conclusiones 54

Referencias 57

Lista de tablas

Tabla 1 Costos planeados vs costos ejecutados para el mes de junio en la producción de materiales pétreos en el proyecto Magdalena 2 17

Tabla 2 Equipos de carga con su volumen 38

Tabla 3 Proporciones de los resultados a triturar 39

Tabla 4 Análisis de resultados septiembre 43

Tabla 5 Análisis de resultados Diciembre 44

Tabla 6 Proyecciones de las plantas para el mes de diciembre respecto a los rendimientos y horas trabajadas 45

Tabla 7 Registro de la causa de las paradas, varadas y de la producción ejecutada para la planta Móvil km 39+600 46

Tabla 8 Registro de la causa de las paradas, varadas y de la producción ejecutada para la planta Fija km 39+600 46

Tabla 9 Cantidad faltante por causa de las paradas de la planta Móvil del km 39, escenario 1 ... 47

Tabla 10 Cantidad faltante por causa de las paradas de la planta Móvil del km 39, escenario 2 . 47

Tabla 11 Validaciones de equipos y mano de obra que se contemplaban en el APU vs los que se está cargando con algún costo en el Advance 48

Lista de figuras

Figura 1 Cantidades y costos por metro cúbico para el mes de junio 12

Figura 2 Cantidades y costos por metro cúbico para el mes de junio 13

Figura 3 Evidencia sobre errores en el horómetro para la planta fija del km 39+600 para el mes de junio 14

Figura 4 Evidencia sobre errores en el horómetro para la planta fija del km 53+800 para el mes de junio 15

Figura 5 Horas trabajadas vs rendimientos de la planta de producción del km 39+600 16

Figura 6 Horas trabajadas vs rendimientos de la planta de producción del km 53+900 16

Figura 7 Cumplimiento plan de acción para junio 2024 18

Figura 8 Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2 25

Figura 9 Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2 26

Figura 10 Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2 26

Figura 11 Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2 27

Figura 12 Pasos para la obtención de agregados pétreos 28

Figura 13 División del proyecto Magdalena 2 por Unidades Funcionales 30

Figura 14 Plantas de trituración para las UF 1 Y 2 31

Figura 15 Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 69+000 32

Figura 16 Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 53+800 33

Figura 17 Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 28+500 34

Figura 18 Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 39+600 35

Figura 19 Formato propuesto para ingresar la información de las plantas de trituración 40

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AN	Agregados Naturales
APU	Análisis de Precios Unitarios
AR	Agregados Reciclados
EC	Economía Circular
PDA	Plan de Acción
UF	Unidades Funcionales

Resumen

Este informe se enfoca en identificar las problemáticas existentes de la producción de materiales pétreos por medio de un análisis exhaustivo de los costos y rendimientos asociados a los procesos llevados a cabo en las plantas de disminución de tamaño de materiales que se dispusieron para el proyecto Autopista Río Magdalena 2. Se realizó la evaluación cuantitativa de operación de los equipos, la mano de obra y aspectos relacionados con el almacenamiento y transporte del material.

Se realizó una descripción detallada de los procesos llevados a cabo en las canteras o fuentes de material, se plantearon nuevas bases de datos para obtener información más ordena y verídica por parte de los operarios y el personal técnico encargado en cada una de las plantas, y así no presentarse retrocesos o errores en la información a analizar. El ordenamiento y análisis de estos procesos proporcionaron una visión integral de todas las áreas y gracias a esto se determinó en qué etapas de producción se están generando incrementos significativos en los costos y el incumplimiento con los rendimientos programados en el plan de acción (PDA).

Se identificaron errores en la asignación de costos para las diferentes actividades que generaban un aumento significativo en los costos de producción de materiales pétreos. Con la implementación de bases de datos integradas, desarrolladas en colaboración con todo el equipo, fue posible detectar y corregir estas inconsistencias. Esto permitió tomar acciones correctivas y oportunas, mejorando significativamente los procesos de producción y optimizando la gestión de costos.

Palabras clave: *Trituración, plantas de producción, material granular, conminución, costos, rendimientos, plan de acción, optimización, mejora.*

Abstract

This document focuses on identifying the challenges in the production of stone materials through a comprehensive analysis of the costs and performance associated with the processes carried out in the material size reduction plants assigned to the Río Magdalena 2 Highway project. A quantitative evaluation was conducted on the operation of the equipment, the workforce, and factors related to material storage and transportation.

A detailed description of the processes performed at the quarries or material sources was provided, and new databases were designed to ensure more organized and accurate information from the operators and technical staff in charge at each plant. This approach aimed to avoid setbacks or errors in the data analysis. Organizing and analyzing these processes offered a comprehensive understanding of all areas, enabling the identification of production stages where significant cost increases are occurring and where performance goals outlined in the action plan (PDA) are not being met.

Errors were found in the cost allocation for various activities, leading to a considerable rise in the production costs of stone materials. The implementation of integrated databases, developed collaboratively with the entire team, made it possible to identify and resolve these inconsistencies. As a result, corrective measures were taken in a timely manner, significantly improving production processes and optimizing cost management.

Keywords: Crushing, production plants, granular material, comminution, costs, performance, action plan, optimization, improvemen.

Introducción

Este trabajo se realizó en el marco de la práctica académica en la empresa Construcciones el Cóndor S.A, en la sede principal, ubicada en la ciudad de Medellín. Esta compañía, con más de 45 años de trayectoria ha contribuido de manera significativa al país en el sector de la infraestructura vial, generando innovaciones de concesiones viales, cumpliendo con proyectos urbanísticos, ferroviales, hidroeléctricos y mineros. Durante la práctica académica, se brindó apoyo a varios proyectos, entre ellos el de la autopista Río Magdalena 2, donde se identificaron diversas problemáticas relacionadas con el cumplimiento de los planes de acción. Por esta razón, resultó fundamental realizar un análisis detallado de las fuentes de información manejadas por la compañía, con el objetivo de contribuir al diseño e implementación de soluciones orientadas a mejorar sus procesos y resultados.

La construcción de infraestructura vial ayuda en gran medida al crecimiento económico de una región, ya que estos megaproyectos permiten la conectividad, seguridad y bienestar entre la población. Proyectos como Autopista Río Magdalena 2 son cruciales para el avance de una sociedad ya que son diseñados para brindar mejoras y nuevas alternativas a infraestructuras ya existentes, estos proyectos requieren una ejecución precisa y eficiente, ya que cualquier desviación puede traer consigo consecuencias significativas.

Esta propuesta se enfocará en un análisis exhaustivo de la producción actual de materiales pétreos empleados en el proyecto Autopista Río Magdalena 2, el cual inicia en Remedios, Antioquia y se extiende hasta el municipio de Cimitarra, Santander. Estos materiales son aquellos que provienen de la trituración de la roca, donde se inicia a partir de la explotación e intervención de canteras o ríos donde se extrae el material. Se pueden obtener diferentes tipos de materiales pétreos a través del proceso de conminución de la roca, donde el material reducido es clasificado en diferentes tamaños como triturado de 1”, triturado de ¾” y arena triturada de $\frac{3}{8}$”, según las necesidades específicas para este proyecto. Cada uno de estos materiales cumple un factor fundamental a la hora de ejecutar infraestructuras como puentes, carreteras, pavimentos y edificios, enfocándose en este caso, para la realización de vías. Estos materiales pétreos brindan a las mezclas, ya sean de concreto o asfalto, resistencia, durabilidad, estabilidad, y soporte, así que de

esta manera la calidad de estos materiales influye de manera significativa en la vida útil y el desempeño de una infraestructura.

En estos proyectos cada una de sus etapas es crucial para el éxito de este, desde el momento de la explotación del material, hasta el punto de la colocación de los materiales ya procesados para la realización de las vías. Sin embargo, se ha identificado una problemática clave en donde no se están cumpliendo con los costos y los rendimientos programados para la mayoría de las etapas de la construcción de la vía. Las desviaciones en los costos y rendimientos programados no solo implican sobrecostos y retrasos, sino que también pueden comprometer la viabilidad económica del proyecto, ya que la sostenibilidad del proyecto se ve amenazada cuando los costos se aumentan más allá de lo previsto afectando también el cumplimiento de los plazos establecidos y los estándares de calidad requeridos.

Durante el desarrollo del trabajo, se identificaron importantes vacíos de información y errores en la asignación de costos y de horas trabajadas. Al analizar esta problemática, se evidenció que los costos reportados en ciertas plantas de trituración eran significativamente más altos de lo real, y que las horas trabajadas por cierta maquinaria también tenía incongruencias con lo verdaderamente trabajado. Esto se debía a la asignación errónea de valores que correspondían a otras plantas, equipos y hasta mano de obra. Esta situación generaba un aumento de los costos, ya sea porque una planta asumía gastos que en realidad pertenecían a una adicional, o porque se le asignaban costos de trabajo no realizados, pero si cobrados, lo cual afectaba la precisión y eficiencia del control financiero y operativo.

En este trabajo se presenta un análisis detallado de las bases de datos operativas y financieras relacionadas con el proceso de conminución de materiales pétreos en el proyecto vial Autopista Río Magdalena 2, con el fin de entender las ineficiencias que han surgido a la hora de los cumplimientos de las metas proyectadas para el proyecto, identificando y describiendo a lo largo del documento las principales problemáticas encontradas. Adicionalmente, se presenta el planteamiento de soluciones de mejora y la ejecución de estas para poder mitigar las problemáticas, garantizando la información solicitada para un correcto análisis y cálculo del precio por el cual se produce el material pétreo.

1. Planteamiento del problema

En el proyecto Autopista Río Magdalena 2, así como en otros proyectos relacionados a la construcción, se ha identificado una problemática recurrente que afecta directamente la gestión de costos y tiempos programados. Esta problemática radica principalmente en la mala práctica de la asignación de costos y la falta de control en la información reportada. Se han evidenciado horas de trabajo cobradas que no corresponden con las horas realmente trabajadas, errores en la asignación de costos de producción y diferencias entre los datos suministrados por varias fuentes dentro del mismo proyecto. Estas inconsistencias generan un aumento significativo en los costos de producción de materiales pétreos y, por ende, comprometen la sostenibilidad económica de las constructoras.

Los sobrecostos que se generan debido a errores en la imputación de costos y reportes inconsistentes impactan no solo el presupuesto inicial del proyecto, sino también la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos programados para la entrega de este. Aunque al principio de cualquier proyecto se contemplan ciertos imprevistos, a lo largo de la construcción surgen más problemáticas, dificultando la ejecución eficiente del proyecto.

El análisis de estas problemáticas surge para poder regular costos y tiempos de trabajo para que se puedan cumplir los plazos y los presupuestos requeridos por medio de los cuales la empresa se encuentra destinada a realizar un proyecto, proponiéndole entonces mantener la información más centralizada, para poder evitar de esta manera retrocesos y el análisis de información incorrecta para la toma de decisiones con respecto al proyecto, ya que a lo largo de todo el análisis se logró identificar la falta de un buen manejo de herramientas y de un control adecuado de los procesos por parte del personal encargado, generando desinformación y desorden.

Inicialmente, los ingenieros gestionaban diferentes archivos para una misma asignación de costos, lo que resultaba en la repetición constante de tareas para una misma actividad. Esto generaba discrepancias y errores entre los archivos, lo que provocaba una gran incertidumbre en la información. No se podía determinar con certeza el precio real por metro cúbico, ni la cantidad

producida por metro cúbico, ya que se observaban diferencias, ya fueran mínimas o significativas, entre los datos de los distintos archivos.

Para el proyecto Magdalena 2, se cuenta con varios puntos geográficos destinados a la producción de materiales pétreos, identificados como km 28+500, km 39+600, km 53+800 y km 69+000. En cada uno de estos puntos operan una o varias plantas de producción, encontrando en el km 28+500 la planta *SEMI-MOVIL KM 28 (PT-15, ZR-06, CT-05)*, en el km 39+600 las plantas *FIJA KM 39 (PT-25, CT-11, PT-14), MOVIL KM 39 (PT-22, CT-15, ZR-15)* y la *LATINCO ROLLER*, en el km 53+800 la planta *FIJA KM 53 (PT-17, CT-06) y* en el km 69+000 la planta de *LATINCO*.

El proyecto requiere un análisis detallado de cada planta, basado en la información recopilada a través de diversos informes elaborados por ingenieros. Esta información se consolidaba diariamente para validar las cantidades de arena y de triturado producidas. No obstante, se detectaron inconsistencias en los datos reportados, evidenciándose variaciones en las cantidades producidas según los diferentes informes. A continuación, se presentan los detalles de dos plantas de producción (**Figura 1**), en el informe obtenido desde la oficina técnica como en el informe obtenido directamente desde la planta de trituración, donde se evidencian dichas inconsistencias.

Figura 1

Cantidades y costos por metro cúbico para el mes de junio

01/08/202	ANALISIS COSTOS PRODUCCION	
	Mes	jun-24
165.03.32	Producciòn materiales granulares LATINCO	$ 118.656
165.03.32	Cantidad	5.102 m3
165.03.32	Costo mes ($/Ha)	$ 118.656
165.03.34	Producciones materiales granulares K53+800	$ 88.152
165.03.34	Cantidad	8.503 m3
165.03.34	Costo mes ($/Ha)	$ 88.152

Fuente: Informe de oficina técnica.

Figura 2

Cantidades y costos por metro cúbico para el mes de junio

	CANTIDADES PRODUCIDAS JUNIO/2024 (m3)	
	LATINCO "Fija K39"	TRITURADORA FIJA K53+800
Sub Base granular		-
Base granular	5,736.33	7,769.85
Material Procesado Grueso (Afirmado)		-
Triturado 1"		1,026.80
Triturado 3/4"		
Arena triturada 3/8"		1,283.50
Piedra filtro		-
Filtro 3" Scalper		
Roca Scalper		
Terraplen		
Desperdicio y/o difrencia (m3)	637.37	1,166.35
TOTAL	5,736.33	10,080.15

Fuente: Planta de producción.

En el análisis de las producciones realizadas durante el mes de junio para las dos plantas seleccionadas, se observaron diferencias notables en los registros. En primer lugar, para la planta de trituración Latinco, el registro suministrado directamente desde la planta de producción (**Figura 2**) muestra que la producción de materiales cerró con un total de 5 736.33 metros cúbicos. Sin embargo, el informe proporcionado por la oficina técnica (**Figura 1**) reporta una producción de 5 101 metros cúbicos, lo que genera una diferencia de 634.33 metros cúbicos.

Por otro lado, en la planta de trituración fija del km 53+800, el informe de la planta de producción registró 10 080.15 metros cúbicos, mientras que el informe de la oficina técnica reportó 8 503 metros cúbicos, mostrando una diferencia de 1 577.15 metros cúbicos. Esta diferencia es considerablemente mayor que la observada en Latinco. Sin embargo, al evidenciar estas inconsistencias no solo en estas plantas seleccionadas, sino también replicadas en las demás plantas de trituración, afectan de manera significativa la confiabilidad de los datos reportados.

Además, se identificaron errores de las horas de producción de las máquinas, cada máquina está equipada con un horómetro, el cual registra el tiempo de operación. El inicio de un turno debe coincidir con el valor final registrado por el horómetro en el turno anterior. Sin embargo, como se ilustra en la **Figura 3**, se identificaron inconsistencias en los valores registrados por el horómetro.

Figura 3

Evidencia sobre errores en el horómetro para la planta fija del km 39+600 para el mes de junio

Fecha	Turno (Dia - Noche)	Planta	Equipo Producción	Horómetro Inicial	Horómetro Final	Horas trabajadas en producción (h)
31/05/2024	Nocturno	FIJA K-53		8345	8354	9.00
01/06/2024	Dia	FIJA K-53	PT-17/CT-06/ZR-19	8354	8535	181.00
01/06/2024	Nocturno	FIJA K-53		8355	8355	0.00

Fuente: Planta de producción.

El 6 de junio, en la planta de trituración fija del km 39+600 durante el turno diurno, el horómetro finalizó con un conteo de 2 185. Sin embargo, en lugar de iniciar en este mismo valor durante el turno nocturno, el registro muestra un inicio en 2 179, evidenciando un retroceso de horas que resulta ilógico. Además, al final del turno nocturno, el horómetro volvió a marcar 2 185, el mismo valor con el que comenzó la jornada diurna.

El 7 de junio, el problema persiste, ya que el registro del horómetro no inicia en los 2 185 correspondientes a la finalización del turno anterior, sino en 2 194, lo que genera dudas sobre la precisión de las horas trabajadas realmente registradas. Estas inconsistencias generan incertidumbre respecto a la fiabilidad de los datos y dificultan un control adecuado de las operaciones.

No obstante, a estos errores también se evidenciaron horas trabajadas muy elevadas por malas prácticas en la digitación, generando una cantidad irreal de horas trabajadas para un turno de producción como se puede observar en la **Figura 4**. Para el 1 de junio en la planta de producción fija del km 53+800 se tienen 181 horas trabajadas para un turno que normalmente dura 10 horas, provocando malos cálculos en el trabajo realizado para la producción de materiales.

Figura 4

Evidencia sobre errores en el horómetro para la planta fija del km 53+800 para el mes de junio

Fecha	Turno (Dia - Noche)	Planta	Equipo Producción	Horómetro Inicial	Horómetro Final	Horas trabajadas en producción (h)
06/06/2024	Dia	FIJA K-39	PT-15 CT-11-18/ZR-22-12	2185	2185	0.00
06/06/2024	Nocturno	FIJA K-39		2179	2185	6.00
07/06/2024	Dia	FIJA K-39	PT-15 CT-11-18/ZR-22-12	2194	2198	4.00

Fuente: Planta de producción.

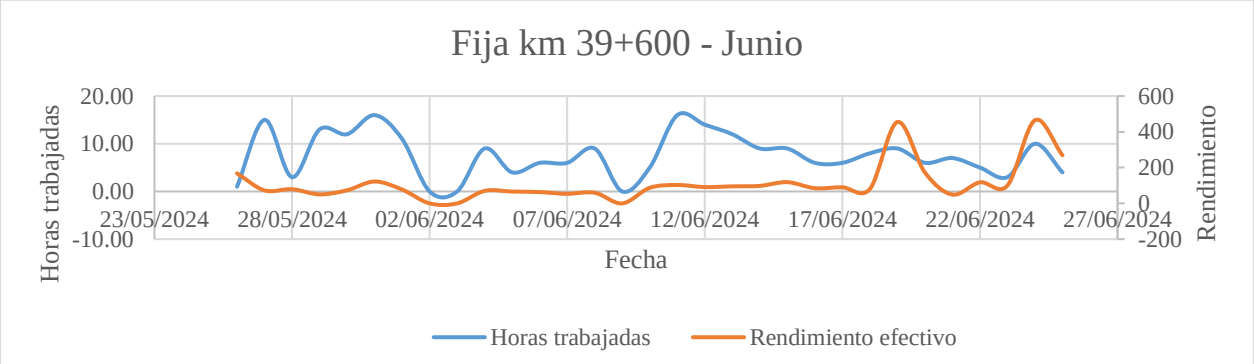
Así como se muestran estos errores para ciertas plantas en cierto periodo de tiempo, se lograron identificar una gran cantidad de estas inconsistencias mes a mes. Los errores identificados generaban retroceso en la información solicitada para el cierre del mes, lo cual provocaba retrasos en la consolidación de la información requerida generando aumento en los costos por desinformación y valores incorrectos de los rendimientos de las máquinas.

En las **Figuras 5 y 6** se presenta un análisis realizado a las plantas fijas ubicadas en el km 39+600 y km 53+800, se toman como muestra estas dos plantas, ya que para el mes de junio fueron las dos plantas que más material produjo, sin embargo, fueron a su vez las que presentaron mayores brechas en la información. Estas gráficas se sacaron para el mes de junio ya que al hacer el análisis del cierre del mes se evidenciaron varias inconsistencias y problemas en digitación y en la información proporcionada por varios ingenieros, como se mencionó anteriormente, así que se realizó un análisis más detallado con estas gráficas, las cuales facilitaron la visualización correcta de las incongruencias.

Estas figuras muestran una gráfica, en donde se hace la comparación entre las horas trabajadas (representadas por las curvas azules) y el rendimiento efectivo de la planta (curvas naranjas). Para este análisis, se tomaron las horas trabajadas en cada jornada a lo largo del mes y se compararon con el rendimiento efectivo, medido como la cantidad de metros cúbicos producidos por hora.

Figura 5

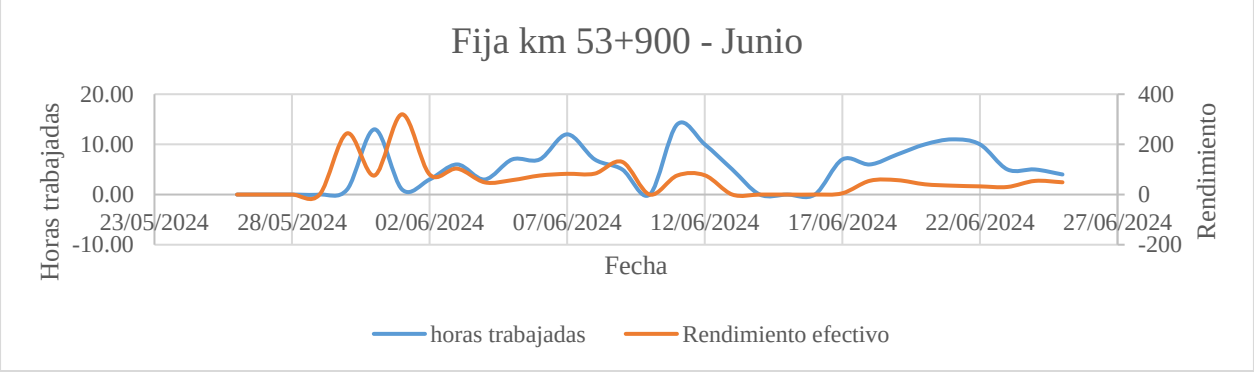
Horas trabajadas vs rendimientos de la planta de producción del km 39+600



Fuente: Presentación análisis del proyecto Magdalena 2.

Figura 6

Horas trabajadas vs rendimientos de la planta de producción del km 53+900



Fuente: Presentación análisis del proyecto Magdalena 2.

Como se puede observar en las gráficas se tienen unos picos y unos valles. Los picos reflejan para la curva azul altas horas de trabajo, y para las curvas naranja altos rendimientos, sin embargo, los valles hacen alusión a una caída significativa en las horas trabajadas y en los rendimientos de las máquinas. El objetivo de este análisis es evidenciar la relación esperada entre el tiempo de operación y la producción, donde un mayor número de horas trabajadas debería traducirse en un mayor rendimiento, es decir, en una mayor producción de materiales. Sin embargo, los datos evidencian un comportamiento inconsistente: en algunos momentos, el rendimiento es

proporcional a las horas trabajadas; en otros, el rendimiento es más alto que las horas trabajadas; y, en varios casos, es sorprendentemente bajo en comparación con el tiempo invertido. Estas fluctuaciones indican un problema significativo en la eficiencia operativa, ya que no hay una correlación clara ni coherente entre las horas trabajadas y la producción obtenida.

Además del análisis de la cantidad producida, también se realiza un estudio del costo por metro cúbico por hora (m^3/h) en la producción de materiales pétreos. Este análisis incluye los valores planeados (PDA), los cuales se establecen desde la oficina técnica con base en estudios previos para cada actividad, el valor ejecutado y el cumplimiento del PDA, la recopilación de estos datos se presenta en la **Tabla 1**, y a su vez, para mayor comprensión, en la **Figura 7**.

Tabla 1

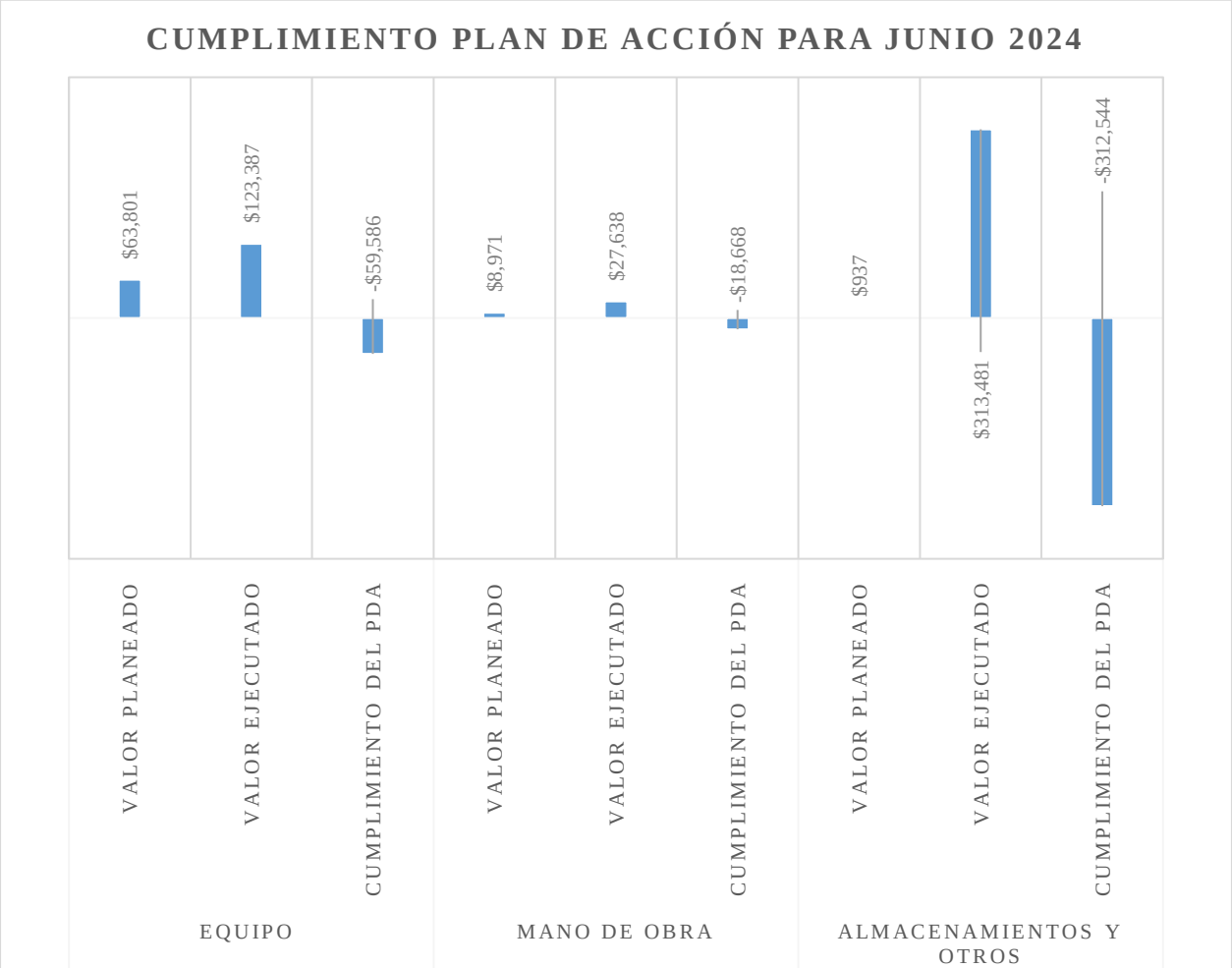
Costos planeados vs costos ejecutados para el mes de junio en la producción de materiales pétreos en el proyecto Magdalena 2

		Jun-24								
		Equipo			**Mano de Obra**			**Almacenamientos y otros**		
		Valor planeado	Valor ejecutado	Cumplimiento del PDA	Valor planeado	Valor ejecutado	Cumplimiento del PDA	Valor planeado	Valor ejecutado	Cumplimiento del PDA
PLANTAS	Maceo K4+600	$ 21,763	$ 36,433	**-$ 14,670**	$ 2,975	$ 10,263	**-$ 7,288**	$ 121	$ 99,785	**-$ 99,664**
	Plataforma K 39+600	$ 24,361	$ 44,138	**-$ 19,776**	$ 2,960	$ 9,497	**-$ 6,537**	$ 151	$ 57,583	**-$ 57,433**
	Latinco	$ -	$ 14,700	**-$ 14,700**	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 103,956	**-$ 103,956**
	K 53+800	$ 17,676	$ 28,116	**-$ 10,440**	$ 3,035	$ 7,879	**-$ 4,843**	$ 666	$ 52,157	**-$ 51,492**
	Totales	$ 63,801	$ 123,387	**-$ 59,586**	$ 8,971	$ 27,638	**-$ 18,668**	$ 937	$ 313,481	**-$ 312,544**

Fuente: Presentación análisis del proyecto Magdalena 2.

Figura 7

Cumplimiento plan de acción para junio 2024



Fuente: Presentación análisis del proyecto Magdalena 2.

Como se evidencia la siguiente **Tabla 1**, en los resultados del mes de junio, ninguno de los costos se ajustó a lo planeado. Los costos de producción se dividen en diferentes destinos como equipos, mano de obra y almacenamiento, donde se observaron variaciones significativas para cada uno de estos. Se destaca un incremento de hasta $312,544 COP por metro cúbico por hora, en costos relacionados con almacenamiento y otros, lo que representa una desviación crítica debido a su impacto financiero, además, se pueden validar precios excesivamente altos revelando inconsistencias frente a los valores previamente estimados.

1.1 Antecedentes

La producción de materiales pétreos es una de las actividades más preocupantes para la sostenibilidad en el entorno de la construcción, por lo tanto, se han realizado estudios para la optimización de los costos relacionados a estas actividades. Un estudio muestra la importancia de maximizar el ciclo de vida de los materiales de construcción y mejorar el reciclaje de residuos de construcción y demolición *(FIGUEIREDO et al., 2024).* Además, el reciclaje de este material puede contribuir como fuente importante de áridos (arena y grava), materiales muy demandados y cuya producción es cada vez más difícil en muchos países (*FIGUEIREDO et al., 2024*). Esta producción de agregados reciclados (AR) es de gran utilidad ya que permite minimizar los costos utilizando bajo consumo de energía en un proceso denominado trituración selectiva, el cual consiste en utilizar un molino autógeno o un molino de bolas de baja carga para remover la pasta de cemento adherida a los agregados sin mucha trituración de los agregados en sí, es decir, en un mecanismo de pulido de grano (*FIGUEIREDO et al., 2024*).

El consumo agresivo de agregados naturales (AN) trae consigo grandes impactos a nivel ambiental y económicos para las empresas que se encuentran en el sector de la construcción, una gran problemática para las constructoras es la explotación y producción insostenible de AN, por cual, la sustitución de AN con alternativas adecuadas de otras industrias es muy recomendable para mejorar la sostenibilidad de la industria de la construcción (*Sinoh et al., 2023*). Para lograr la sostenibilidad ambiental, los gobiernos y las industrias están adoptando prácticas de economía circular (EC) para reducir la carga ambiental del desarrollo urbano continuo. La EC es un enfoque sistemático centrado en los aspectos restaurativos y regenerativos de la economía (*Sinoh et al., 2023*). Una práctica para la EC es la implementación de los AR. Dependiendo de las propiedades del AR utilizado, el reemplazo total o parcial de AN con AR puede proporcionar soluciones óptimas en términos de rendimiento estructural, impactos ambientales y costo financiero (*Sinoh et al., 2023*).

Una de las problemáticas vistas en la producción de AN es la posibilidad del acceso y las rutas de transportes para su obtención, lo cual provoca aumento en los costos para estas actividades,

por lo que el uso de estos AR permite mejorar las limitaciones financieras ayudando a la sostenibilidad de la construcción.

Más allá de las amplias posibilidades de la reducción de los costos con la implementación de alternativas como los agregados reciclados, una problemática importante es el aumento de estos debido a la carencia en la recopilación de los datos. Se han realizado estudios y avances tecnológicos que ayudan a evitar los retrocesos de información, mejorando la eficiencia y la eficacia de la gestión de proyectos en el ámbito de la construcción sostenible *(Waqar et al., 2025).* Esta tecnología es llamada LIDAR, la cual permite la recopilación y análisis de datos precisos y eficientes, para así lograr grandes ahorros de gastos y de mano de obra que muchas veces son calculados de manera errada en los proyectos de construcción.

Los sobrecostos y retrasos en los proyectos de construcción impactan negativamente la rentabilidad y calidad de este. Identificar las causas profundas de estos problemas es fundamental para encontrar soluciones prácticas. Estos factores son la planificación inadecuada del proyecto, la mala comunicación y coordinación, los cambios en el alcance del proyecto, la falta de mano de obra calificada, la asignación insuficiente de presupuesto y los retrasos en los pagos (*Daoud et al., 2023*). Se encontró un estudio “Investigation of critical factors affecting cost overruns and delays in Egyptian mega construction projects” el cual recomienda varias estrategias para mitigar los aumentos de costos y los incumplimientos de los cronogramas estipulados para la realización del proyecto. Entre estas recomendaciones se encuentran: involucrar a todas las partes interesadas en el proceso de planificación, usar herramientas de gestión de proyectos, establecer plazos realistas para mejorar la planificación y unas estimaciones de costos precisas para la programación del proyecto *(Daoud et al., 2023*). El éxito de un proyecto depende del cumplimiento de los costos, plazos y la calidad de este.

2. Justificación

El análisis e identificación de las problemáticas relacionadas al incumplimiento de las metas proyectadas de la producción de materiales pétreos es un proceso fundamental porque permite optimizar los procesos productivos y minimizar los problemas que afectan los costos y los rendimientos planeados para un proyecto. Identificar con claridad el motivo de las ineficiencias en la producción de materiales pétreos permite tomar acción en sus puntos específicos de mejora.

En los proyectos de infraestructura vial, la identificación y mejora de estas incongruencias en la información es de vital importancia ya que estos proyectos involucran grandes inversiones de dinero y de recursos, por lo que cualquier tipo de desviación trae consigo grandes problemáticas al proyecto. En este tipo de construcciones se tienen numerosas cantidades de dinero invertidos en equipos, materiales y en mano de obra. Cada decisión o medida tomada de manera errónea genera incrementos en los costos e incumplimientos de los cronogramas establecidos, ya que la falta de planificación adecuada y el desconocimiento de las actividades, pueden llevar a malas prácticas en la ejecución de tareas, generando usos ineficientes en maquinaria, duplicación de trabajo o hasta mala asignación de la mano de obra requerida.

Uno de los mayores desafíos identificados ha sido el retroceso de la información, ya que se evidencian inconsistencias en la asignación de costos para las diferentes actividades, lo cual genera incertidumbre y una mala práctica en la toma de decisión debido a que no se tiene claridad sobre el problema real, afectando la viabilidad y rentabilidad del proyecto, de esta manera el reconocimiento en las inconsistencia de la información permite mitigar problemáticas y optimizar la asignación de los recursos, garantizando un mejor manejo en la realización del proyecto.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar las bases de datos operativas y financieras para la identificación y solución de problemáticas por el incumplimiento del plan de acción en el proceso de conminución de materiales pétreos en las plantas de trituración del km 39+600, km 28+500, km 53+800 y km 69+000, para el proyecto de infraestructura vial Magdalena 2.

3.2 Objetivos específicos

- Describir las fuentes de materiales desde sus características geológicas, condiciones topográficas y el tipo de mina, para la identificación de los materiales pétreos actualmente explotados
- Documentar el proceso de conminución del material, abarcando la capacidad operativa y los volúmenes procesados en cada etapa, con el propósito de establecer un marco de referencia claro sobre que actualmente se lleva a cabo.
- Determinar los costos y rendimientos de los equipos para cada proceso involucrado en la obtención de los volúmenes de materiales requeridos por cada uno de los centros de producción.
- Identificar las problemáticas que generan los incumplimientos de metas programadas, con el propósito de implementar soluciones efectivas que optimicen los procesos y aseguren la veracidad y confiabilidad de la información.

4. Marco teórico

Los agregados pétreos son aquellos materiales provenientes de la roca y se utilizan sin apenas sufrir transformaciones, regularmente se encuentran en forma de macizo rocoso. Estos materiales se pueden clasificar por su modo de fragmentación, tamaño, color, composición mineralógica y por su masa unitaria *(Olguín, 2016).* Una de las clasificaciones más escuchada es el tamaño del material ya que de este depende la clasificación de sí es una arena, grava o un triturado, cada una de estas clasificaciones permite diferentes tipos de aplicaciones del material. La grava son fragmentos de roca que pasan por la malla de 3" y se retiene en una malla de 0.187", generalmente se utiliza este material en mezclas de concreto y asfalto. La arena son partículas de roca más finas que pasan por la malla de 0.187", y se retiene en la malla de 0.0029", se utiliza en la fabricación de concretos y morteros. El triturado es el resultado de la trituración de la roca, pero terminando en partículas grandes, el cual se utiliza para la producción de base y subbase de pavimentos y en la fabricación de mezclas de concreto *(Olguín, 2016).* Cada uno de estos materiales brindan a las infraestructuras viales resistencia, durabilidad, estabilidad y el soporte necesario para soportar las cargas vehiculares, por lo cual la obtención y producción de estos materiales es de suma importancia para la construcción de vías.

Una de las actividades más cruciales en la construcción de vías es la explotación del material. En este proyecto, las fuentes de material son de origen coluvial, lo que implica la extracción mediante perforaciones y voladuras en bloques de roca, cortes en media ladera y zonas licenciadas para explotación. Estos procedimientos se llevan a cabo en áreas como Manada (entre el km 4+600 y el km 28+500) y el km 53+800. Adicionalmente, existe una fuente llamada Moná, que es de origen aluvial. Aquí se extrae un crudo de las playas de una fuente hídrica, que contiene altos niveles de bloques de roca, permitiendo así su trituración para obtener materiales pétreos. A diferencia de las fuentes coluviales, estas se procesan principalmente para producir materiales granulares para la vía *(A. Berrio, comunicación personal, 20 de agosto de 2024)*. El material extraído en la zona de influencia del proyecto es predominantemente silíceo, lo que significa que se trata de una roca de dureza media a alta, adecuada para el procesamiento de materiales *(Tarriño,*

1998). Por otro lado, la arena utilizada en la producción de concretos proviene de una zona de explotación contigua a la fuente de Moná. Esta arena pasa por un proceso de lavado con agua a presión para reducir el contenido de impurezas y partículas finas, haciéndola apta para la producción de concreto, esta fuente es conocida como Playa Rica *(A. Berrio, comunicación personal, 20 de agosto de 2024).*

Después de la extracción de los materiales, se inicia una de las etapas más importantes en la construcción: El proceso de trituración. Este proceso se lleva a cabo utilizando una trituradora de mandíbula y dos trituradoras de cono, la función de estos equipos es fracturar y clasificar las partículas *(Yepes, 2014).* El proceso comienza con la trituración primaria en la trituradora de mandíbula, que rompe los grandes bloques mediante presión, después, el material pasa a un equipo de clasificación llamado zaranda, que separa el material en dos fracciones: pasante y retenido. El material retenido se dirige a una trituradora de cono, donde se reduce nuevamente su tamaño, el producto final de esta etapa es un material triturado que puede ser pasante de 1” o de ¾”, Cómo se puede observar a continuación en la **Figura 8**, se tiene encerrado en un círculo rojo la zaranda, que está clasificando en este caso tres tipos de materiales.

Figura 8

Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2



Fuente: Elaboración propia.

El material triturado que puede ser pasante de 1” o de ¾” se utiliza tanto en la producción de concreto como en mezclas asfálticas. El pasante del primer proceso se envía a un segundo cono, que forma parte de la línea de trituración terciaria, donde se obtiene arena triturada. Esta arena se utiliza en mezclas asfálticas y concreto lanzado, combinando la arena que es producto de la trituración con arena natural proveniente de Playa Rica *(A. Berrio, comunicación personal, 20 de agosto de 2024).* A continuación, en las **Figuras 9, 10** y **11** se encuentra evidencia fotográfica de este proceso.

Figura 9

Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2



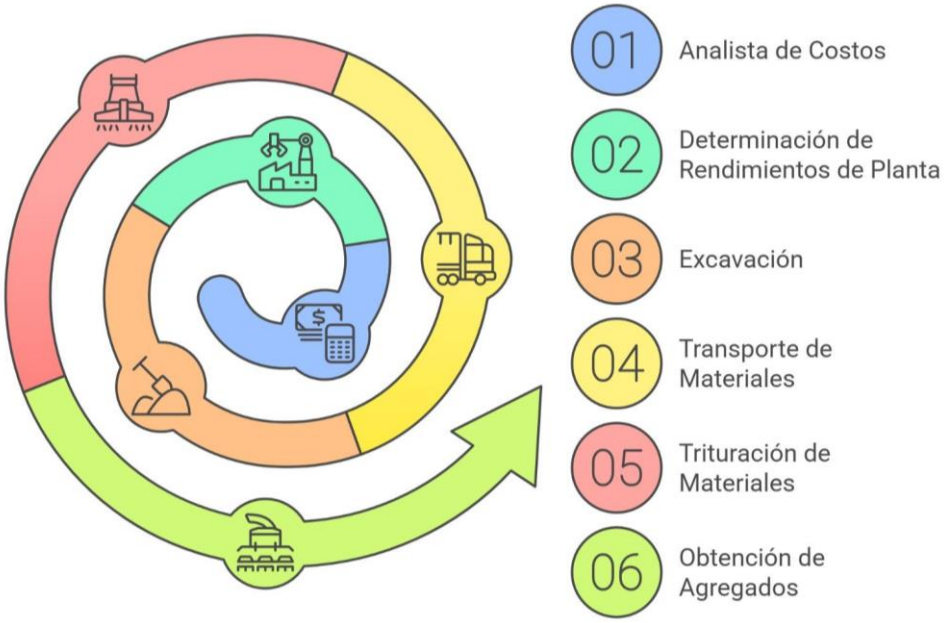
Fuente: Elaboración propia.

Todos los proyectos parten de un presupuesto inicial, este requiere de una programación para ejecutar dicho presupuesto, es allí cuando se hace necesario iniciar la elaboración de un programa de plan de acción (PDA), el cual es realizado por un Ingeniero de Oficina de Proyectos de obra o área corporativa, el cual debe contar con una experiencia general de 4 años y especifica de 2. Este plan de acción permite conocer los costos, facturación y un resultado (utilidad), el cual se proyecta cada mes durante la duración del proyecto, esto para validar la inversión sobre el producto final *(J. Montoya, comunicación personal, 27 de agosto de 2024)*. Se elabora una programación de todo el costo administrativo y a su vez se hacen los análisis de precios unitarios (APUS) de todas las actividades contractuales para confirmar los costos objetivos del presupuesto inicial frente a los reales en obra *(Nieto, 2021).* Es importante determinar si la inversión está

cumpliendo con las expectativas que se proyectaron en la licitación y tener claro que los resultados si corresponden a los esperados. Para asegurar este cumplimiento los equipos cuentan con dispositivos de control del tiempo denominados horómetros, los cuales cuantifican las horas trabajadas por la máquina. Estos registros son esenciales, ya que permiten monitorear el tiempo efectivo de operación y detectar los períodos en los que las máquinas no estuvieron productivas debido a problemas mecánicos, mantenimientos o falta de materias primas. De esta manera, se pueden determinar los rendimientos reales en la producción de materiales granulares, ajustando las expectativas del proyecto a la realidad operativa *(L. Aguirre, comunicación personal, 20 de agosto 2024).*

A continuación, en la **Figura 12**, se presenta un esquema resumido que detalla los pasos necesarios para la obtención de agregados pétreos.

Figura 12
Pasos para la obtención de agregados pétreos



Fuente: Elaboración propia.

La construcción de infraestructura vial, tienen como objetivo proporcionar mejoras en conectividad y dinamizar el desarrollo económico de un país por medio de carreteras eficientes y modernas, en Colombia se vienen construyendo Autopistas de Cuarta Generación (4G) para la integridad de regiones.

En Antioquia algunos de mejores megaproyectos son: Proyecto Mar 1 y Mar 2, Pacifico 1,2 y 3, Túnel de Oriente, Autopista para la prosperidad la cual está conformada por varios corredores viales, los corredores más destacados en Antioquia son el Túnel del Toyo y Autopista Río Magdalena 2 *(ANI, s. f.).*

La Autopista Río Magdalena 2 la cual es una vía diseñada con calzada sencilla que conecta los municipios de Remedios en el departamento de Antioquia y Cimitarra en el departamento de Santander, proporcionando una conexión estratégica entre el sistema de carreteras de las Autopistas para la Prosperidad y la Troncal del Magdalena, dos arterias viales cruciales en la estructura de transporte nacional *(Autopista Río Magdalena, s. f.)*.

En diciembre de 2014, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) suscribió un contrato de concesión con el consorcio encargado de desarrollar este proyecto, en donde una de las empresas participantes es Construcciones el Cóndor. Este contrato tiene como objetivo la realización de los estudios y diseños definitivos, la financiación, la gestión ambiental, predial y social, la construcción, el mejoramiento y la eventual reversión de la concesión de la Autopista Río Magdalena 2. El proyecto cubre una longitud total de aproximadamente 153.3 kilómetros, dividida en cuatro Unidades Funcionales (UF) con intervenciones específicas *(Autopista Río Magdalena, s. f.)* (Ver **Figura 13**)*:*

- **UF-1: Remedios - Vegachí (35.5 km)**: Esta sección comprende trabajos de construcción de la vía.
- **UF-2: Vegachí - Alto de Dolores (34.8 km)**: Similar a la UF-1, esta unidad también involucra trabajos de construcción.
- **UF-3: Alto de Dolores - Puerto Berrío (49.0 km)**: En esta sección se realizarán mejoras puntuales y rehabilitación de la calzada existente.

- **UF-4: Puerto Berrío - Conexión Troncal del Magdalena (34.0 km)**: Esta unidad funcional se enfoca en la operación de la variante de Puerto Berrío hasta su conexión con la Troncal del Magdalena.

Figura 13

División del proyecto Magdalena 2 por Unidades Funcionales



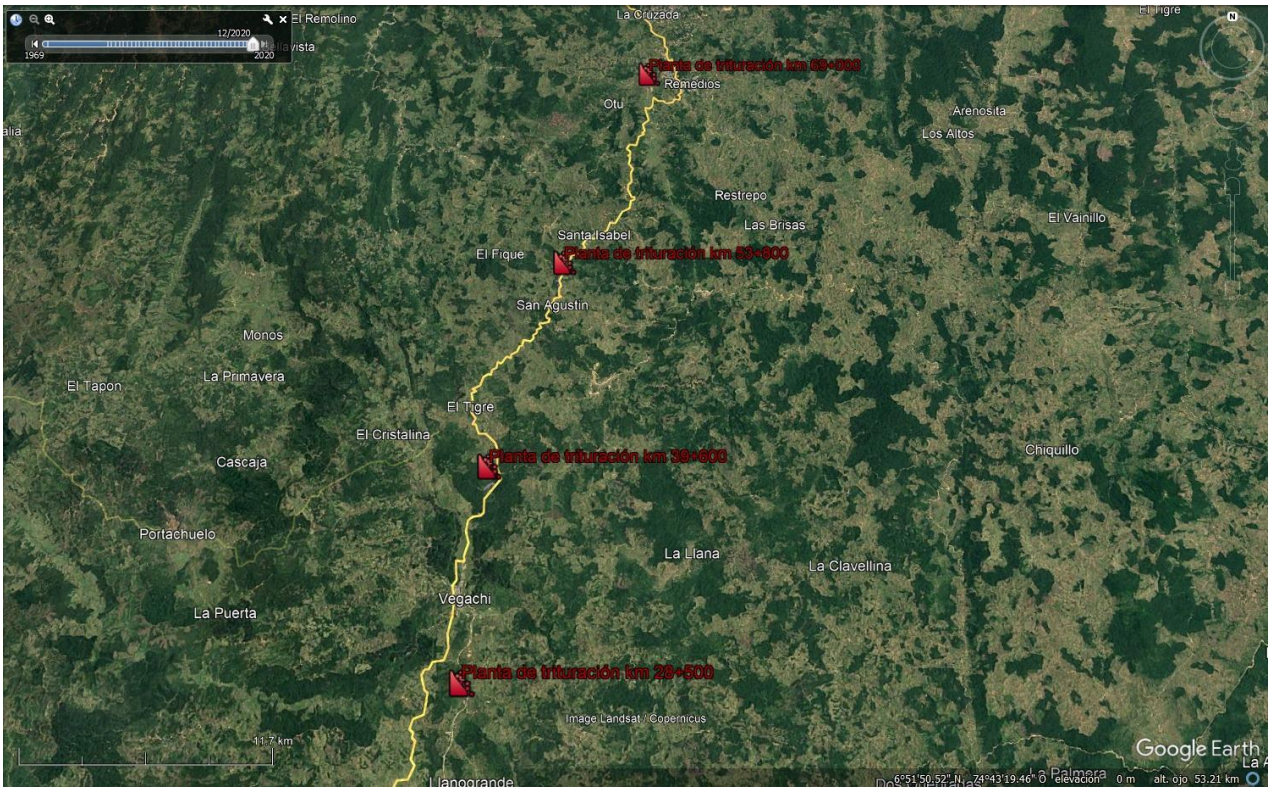
Fuente: AutopistaRíoMagdalena.

La constructora El Cóndor participa en la ejecución de los tramos de vía nueva correspondientes a las UF-1 y UF-2. En estos tramos, la empresa cuenta con plantas de trituración de materiales pétreos denominadas de la siguiente manera para la compañía: planta en el km 28+500 (coordenadas: 6.731245, -73.204010), planta en el km 39+600 (coordenadas: 6.823325, -74.785561), planta en el km 53+800 (coordenadas: 6.925381, -74.758789) y planta en el km 69 (coordenadas: 7.025610, -74.716820).

En cada una de estas plantas se realizan los procesos de conminución de materiales pétreos, obteniéndose los diferentes tipos de agregados requeridos para el proyecto. Estas plantas están ubicadas estratégicamente para abarcar grandes zonas y garantizar la disposición eficiente de los materiales necesarios. A continuación, en la **Figura 14**, se presenta un mapa detallado con la ubicación específica de cada planta de trituración en los tramos de vía correspondientes a la UF-1 y UF-2.

Figura 14

Plantas de trituración para las UF 1 Y 2



Fuente: Elaboración propia.

De forma más detallada se presenta cada uno de los puntos de trituración, en su zona geográfica y en su vista satelital, con ayuda de la herramienta Google Earth (**Figuras 15, 16, 17 y 18**).

Figura 15

Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 69+000



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 53+800



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 28+500



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Vista en planta y ubicación geográfica de la planta del km 39+600



Fuente: Elaboración propia.

5. Metodología

Para determinar las problemáticas en el proceso de trituración de materiales se iniciará recolectando información de las bases de datos actualizadas mensualmente de cada una de las plantas de trituración a partir del mes de junio hasta la finalización de diciembre, estas bases de datos se pueden obtener ya sea por los ingenieros encargados en cada planta o en un drive compartido para la compañía. En estas bases se encontrarán los costos y rendimientos sobre la operación de los equipos, y los m^3 producidos por cada material granular obtenido. Adicionalmente a esto se tendrá información sobre los tiempos muertos de los equipos y las razones de estas paradas o varadas, para que de esta manera se tengan los motivos de los retrasos en la producción.

El análisis consta de una validación día a día, y al cierre de cada mes, de la producción de los diferentes materiales pétreos que se producen. Para el proyecto de Magdalena 2 se tienen cuatro zonas geográficas en donde se cuentan con plantas de trituración, estas zonas están denominadas: la planta del kilómetro 28+500, del kilómetro 39+600, del kilómetro 53+900 y la del kilómetro 69. Estos puntos cuentan con una o más plantas de trituración encontrando en el km 28+500 la planta SEMI-MOVIL KM 28 (PT-15, ZR-06, CT-05), en el km 53+900 la planta FIJA KM53 (PT-17, CT-06), en el km 69+000 la planta de LATINCO y en el km 39+600 las plantas FIJA KM 39 (PT-25, CT-11, PT-14), MOVIL KM 39 (PT-22, CT-15, ZR-15) y la LATINCO ROLLER. Para cada una de ellas se tiene el personal encargado de la recolección de la información, en donde se valida, lo producido, las horas trabajadas, y los motivos de la inactividad de cada una de las plantas.

Lo que se pretende hacer con la información recolectada es realizar un comparativo para ver si se está cumpliendo con el plan de acción proporcionado por los analistas, quienes validan cualquier tipo de variaciones en el ambiente, en equipos y en mano de obra, para así de esta manera poder determinando una cantidad viable y posible del material producido.

El análisis del rendimiento de cada una de las plantas de trituración inicia mediante la obtención de las horas trabajadas por medio de un dispositivo llamado horómetro el cual indica las horas de operación de cada una de estas, con estos datos, junto con la producción registrada, se calcula el rendimiento de la máquina, expresado en m3/h, indicando cuántos metros cúbicos se

están produciendo por una hora de trabajo, este dato es crucial ya que permite evaluar la capacidad para cumplir con las metas programadas.

Los analistas también son los encargados de validar cuánta mano de obra, y la cantidad de equipos que se requieren para la actividad de la producción de materiales pétreos. Por ello, es fundamental verificar si estas solicitudes se están cumpliendo, ya que un aumento en mano de obra o en equipos implica un aumento en los costos de producción. Esta verificación se realiza por medio de la recolección de información desde la oficina técnica como desde las plantas de trituración, verificando si los excedentes en equipos o en personal son realmente necesarios debido a los requerimientos de la obra y los plazos establecidos.

Después de la recolección de datos, se realizará un análisis cuantitativo de los rendimientos y los costos operativos de los equipos, utilizando herramientas como tablas en Excel, haciendo una comparación con el plan de acción, esto permitirá tener una visión más clara sobre los procesos en donde se encuentren las desviaciones más significativas. Teniendo esta revisión se determinarán los motivos que más impacto tienen en la producción de los materiales granulares dándole cierta prioridad para su optimización.

Finalmente, la idea de todo este estudio es generar propuestas de mejora, para esto se desarrollarán estrategias de optimización en donde se presentan recomendaciones para mejorar la eficiencia, reducir los costos y los tiempos inactivos de los equipos en la producción de los materiales.

6. Resultados

A partir del 26 de agosto se desarrolló una base de datos compartida para cada uno de los ingenieros asociados a la producción de materiales pétreos para el proyecto de Magdalena 2, esta base de datos tiene como objetivo principal proporcionar una fuente confiable y actualizada de información sobre la cantidad de materiales pétreos que se producen día a día para cada una de las plantas de trituración. La creación de esta base de datos surgió a raíz de los problemas identificados en meses anteriores. Por ello, se decidió implementar este sistema para realizar un seguimiento detallado a partir del mes de septiembre. Cabe aclarar que el análisis de cada mes abarca el período comprendido entre el 26 del mes previo y el 25 del mes en curso. Por este motivo, al inicio del mes de septiembre (26 de agosto) se implementaron soluciones para poder mitigar los problemas que se venían presentado en los meses anteriores.

Esta base de datos cuenta con varias columnas en donde se puede validar de forma clara la fecha de análisis, las horas trabajadas por la planta, la cantidad alimentada que se traduce como el número de viajes que realiza el equipo cargado con roca, se especifica el equipo de alimentación utilizado, como retroexcavadoras (RO), volquetas (VD), cargador (CA) o minicargador (MC), cada uno con una capacidad de carga distinta, como se detalla a continuación en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Equipos de carga con su volumen

Equipo	m^3 de capacidad de cargue
VD	11.00
VD-2	12.50
RO-150	1.19
RO152-2	0.90
RO159	0.90
RO160	1.19
CA67	3.00
MC32	0.44

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente a esto se desarrolló un análisis del resultado del material producido, dando diferentes tipos de proporciones según las necesidades de la producción, estas proporciones se clasifican por tipos para cada uno de los sitios de producción como se puede observar a continuación en la **Tabla 3**:

Tabla 3

Proporciones de los resultados a triturar

	PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN											
1	Roca Scalper	Filtro 3" Scalper	Terraplén	Base granular	Material Procesado Grueso	Sub-Base Granular	Triturado 1"1/2	Triturado 3/4"	Triturado 1"	Arena triturada 3/8"	Piedra filtro	Desperdicio y/o diferencia (m3)
TIPO	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
TIPO 1 K39+600				55%					23%	11%		11%
TIPO 2 K39+600				40%					30%	20%		10%
TIPO 3 K39+600				50%							40%	10%
TIPO 4 K39+600				90%								10%
TIPO 5 K39+600									60%	30%		10%
TIPO 6 K39+600								50%		40%		10%
TIPO 7 K39+600									43%	47%		10%
TIPO 8 K39+600								25%	25%	40%		10%
TIPO 1 MOVIL				90%								10%
TIPO 1 K28 SEMI-MOVIL				90%								10%
TIPO 1 SCALPER	25%	30%				45%						
TIPO 2 SCALPER	35%		65%									
TIPO 3 SCALPER	20%	35%	45%									
TIPO 4 SCALPER	40%		60%									
TIPO 5 SCALPER		90%										10%
TIPO 1 MOVIL				42%							48%	10%
TIPO 2 MOVIL				55%							35%	10%
TIPO 3 MOVIL								45%		45%		10%
TIPO 4 MOVIL				85%								15%
TIPO 5 MOVIL												
TIPO 1 TRI-FIJA K53				90%								10%

TIPO 2 TRI-FIJA K53					45%	45%		10%
TIPO 3 TRI-FIJA K53	50%			40%				10%
TIPO 4 TRI-FIJA K53			50%	40%				10%
ZR15/CT15 K28	90%							10%
TIPO 5 TRI-FIJA K53	60%						30%	10%
LATINCO ROLLER						90%		10%
LATINCO KM 28	60%						30%	10%
LATINCO KM 28 TIPO 1	90%							10%
LATINCO KM 69 TIPO 1	90%							10%
LATINCO KM 69 TIPO 2	30%						60%	10%

Fuente: Elaboración propia.

Con la ayuda de esta tabla, la información se carga de manera automática en la base de datos principal.

Además, se registra en la base de datos principal las horas y los motivos de las varadas y paradas de cada planta de trituración, facilitando y agilizando la identificación de las causas detrás de una baja productividad en las operaciones. A continuación, se muestra una parte del formato que se empezó a implementar para la recopilación de la información (**Figura 19**).

Figura 19

Formato propuesto para ingresar la información de las plantas de trituración

Kilometro	Planta producción	Planta Produccion 2	Fecha	Turno (Dia - Noche)	Horómetro Inicial	Horómetro Final	Horas trabajadas producción	Cantidad alimentada	equipo Alimentacion	Volumen alimentado	Proporciones
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))	MOVIL KM39 (PT-22, CT-15, ZR-15)	23/09/2024	NOCHE	10621	10629	8	538	RO164*	575,66	TIPO 4 K39+600
K39+600	KM39 LA TINCO	LATINCO KM39	23/09/2024	DIA	13824	13826	2	74	RO159	66,6	TIPO 6 K39+600
K39+600	KM39 LA TINCO		23/09/2024	NOCHE						0	
K53+900	KM53	FIJA KM53 (PT-17, CT-06)	23/09/2024	DIA	15745	15751	6	595	RO160	708,05	TIPO 1 TRI-FIJA K53
K53+900	KM53	FIJA KM53 (PT-17, CT-06)	23/09/2024	NOCHE	15751	15755	4	361	RO160	429,59	TIPO 1 TRI-FIJA K53
SCALPER K69	ZR-30	SCALPER ZR-30	23/09/2024	DIA	1858	1860	2	334	RO161	334	TIPO 3 SCALPER
SCALPER K69	ZR-30	SCALPER ZR-30	23/09/2024	NOCHE	1860	1865	5	1049	RO161	1049	TIPO 3 SCALPER
K39+600	KM39	FIJA KM39 (PT-25, CT-11, PT-14)	24/09/2024	DIA	2824	2829	5	26	VD	364	TIPO 8 K39+600
K39+600	KM39	FIJA KM39 (PT-25, CT-11, PT-14)	24/09/2024	NOCHE	2829	2831	2	13	VD	182	TIPO 8 K39+600
K39+600	ROLLER	LATINCO ROLLER	24/09/2024	DIA	28221	28230	9	522	MC32	229.68	LATINCO ROLLER
K39+600	ROLLER		24/09/2024	NOCHE						0	
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))	MOVIL KM39 (PT-22, CT-15, ZR-15)	24/09/2024	DIA	10629	10635	6	493	RO164-2	586.67	TIPO 4 K39+600
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))	MOVIL KM39 (PT-22, CT-15, ZR-15)	24/09/2024	NOCHE	10635	10640	5	481	RO164-2	572.39	TIPO 4 K39+600
K39+600	KM39 LA TINCO	LATINCO KM39	24/09/2024	DIA	13826	13827					
K39+600	KM39 LA TINCO		24/09/2024	NOCHE						0	
K53+900	KM53	FIJA KM53 (PT-17, CT-06)	24/09/2024	DIA	15755	15755	0				
K53+900	KM53	FIJA KM53 (PT-17, CT-06)	24/09/2024	NOCHE	15755	15755	0				
SCALPER K69	ZR-30	SCALPER ZR-30	24/09/2024	DIA	1865	1871	6	815	RO161	815	TIPO 3 SCALPER

Kilometro	Planta producción	Sub Base Granula	Triturado 1"1/2	Triturado 3/4"	Triturado 1"	Arena triturada 3/8"	Piedra filtro	Desperdicio y/o difrencia (m3)
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))	0	0	0	0	0	0	57,566
K39+600	KM39 LA TINCO	0	0	33,3	0	26,64	0	6,66
K39+600	KM39 LA TINCO	0	0	0	0	0	0	0
K53+900	KM53	0	0	0	0	0	0	70,805
K53+900	KM53	0	0	0	0	0	0	42,959
SCALPER K69	ZR-30	0	0	0	0	0	0	0
SCALPER K69	ZR-30	0	0	0	0	0	0	0
K39+600	KM39	0	0	91	91	145,6	0	36,4
K39+600	KM39	0	0	45,5	45,5	72,8	0	18,200
K39+600	ROLLER	0	0	0	0	207	0	22,968
K39+600	ROLLER	0	0	0	0	0	0	0,000
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))	0	0	0	0	0	0	58,667
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))	0	0	0	0	0	0	57,239
K39+600	KM39 LA TINCO	0	0	0	0	0	0	0
K39+600	KM39 LA TINCO	0	0	0	0	0	0	0
K53+900	KM53							
K53+900	KM53							

Kilometro	Planta producción	Horas varadas atascamiento	Horas varadas falla hidráulica	Horas varadas falla eléctrica	Horas varadas falla mecánica	Horas varadas soldadura	Horas varadas daño bandas	Horas varadas mallas	Horas varadas elementos de desgaste	Horas paradas alistamiento	Horas paradas cargue	Horas paradas lluvia	Horas paradas decisión técnica
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))						2,5			0,5			
K39+600	KM39 LA TINCO		3		5								
K39+600	KM39 LA TINCO												
K53+900	KM53					1	0,5						2,5
K53+900	KM53	0,5						0,5		1			4
SCALPER K69	ZR-30										8		
SCALPER K69	ZR-30									2	3		
K39+600	KM39												
K39+600	KM39				9								
K39+600	ROLLER									1.5			
K39+600	ROLLER												
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))						2			1			1
K39+600	KM39 (PT-22, ZR-15, CT-15))		5	5									
K39+600	KM39 LA TINCO				10								
K39+600	KM39 LA TINCO												
K53+900	KM53				10								
K53+900	KM53												

Fuente: Archivo compartido para todos los ingenieros.

Teniendo la información consolidada en un mismo archivo se propuso realizar un análisis de cada mes, para poder determinar si se estaba cumpliendo o no con los volúmenes requeridos diarios, el cual cuenta con información importante como: la meta del mes, la meta diaria, la meta proyectada del mes, la producción diaria y la meta proyectada a la fecha.

La meta proyectada a la fecha representa el volumen que debería haberse alcanzado al momento del análisis. Este valor se compara con lo ejecutado acumulado a la fecha, y si se está por debajo de la meta proyectada, se genera una alerta indicando incumplimiento. Del mismo modo, si la producción diaria está por debajo de la meta establecida para ese día, también se emite una alerta, ya que alcanzar al menos la meta diaria es fundamental para cumplir los objetivos. Además, el análisis permite visualizar el porcentaje de cumplimiento acumulado a la fecha y el del mes en

curso, así como proyectar la producción faltante, estimar el cumplimiento mensual, y calcular la diferencia respecto a la meta mensual.

Como se puede ver a continuación en la **Tabla 4**, se tiene el cierre del mes de septiembre en donde se tuvo incumplimiento en la producción de materiales tanto para base granular, arena y triturado. Con respecto a estos resultados se hicieron varios análisis de los motivos del incumplimiento y se ajustaron nuevas metas para los meses siguientes.

Tabla 4

Análisis de resultados septiembre

Septiembre - Magdalena 2											
Material requerido	Meta Diaria	Producción diaria	Meta proyectada a la fecha (25-Sep)	Ejecutado acumulado a la fecha	Cumplimiento a la fecha	Meta Noviembre	Cumplimiento Mes	Proyección producción faltante	Proyección de Cumplimiento mes		Diferencia (proyección mes)
Base granular (m3)	**1 342**	**1 592.46**	**41 614**	**43 198**	**104%**	**53 199**	**81%**				
K28+000	833	0	25 833	13 035	50%	25 000	52%				
K53+900	209	64.26	6 481	11 234	173%	6 272	179%				
Base K39 Móvil		1 285.2	-	4 953	-						
Base K39 Fija						12 927					
Base Latinco	300	-	9 300	-	0%	9 000	0%				
Base Scalper		243	-	13 976	-		-	-1 328	41 870	**no cumple**	-11 329
Arena triturada (m3)	**407**	**625.7**	**12 610**	**12 301**	**98%**	**12 203**	**101%**				
K39+600 + Latinco	407	625.7	12 610	12 301	98%	12 203	101%	0	12 301.35	**cumple**	98
Triturado 1" y 3/4" (m3)	**385**	**553**	**11 933**	**13 221**	**111%**	**11 548**	**114%**				
K39+600 + Latinco	385	553	11 933	13 221	111%	11 548	114%	0	13 221.08	**cumple**	1 673

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla (**Tabla 5**) se puede observar cómo va la producción de materiales pétreos al mes de diciembre, cumpliendo con la mayoría de las metas programadas, esto es debido a que se tomó acción con respecto a los análisis de los meses anteriores y se ajustaron las proyecciones de trituración para el mes, teniendo proyecciones más lógicas y variables para la producción.

Tabla 5

Análisis de resultados Diciembre

Diciembre - Magdalena 2											
Material requerido	Meta Diaria	Producción diaria	Meta proyectada a la fecha (19-dic)	Ejecutado acumulado a la fecha	Cumplimiento a la fecha	Meta Septiembre	Cumplimiento Mes	Proyección producción faltante	Proyección de Cumplimiento mes		Diferencia (proyección mes)
Base granular (m3)	**1 050**	**1 173.1**	**25 191**	**26 670.2**	**106%**	**31 488**	**85%**				
K28+500	247	0	5 919	3 103	52%	7 398	42%				
K53+900	453	532.64	10 864	14 343	132%	13 580	106%;				
Base K39 Móvil	42	0	1 013	-	0%	1 266	0%				
Latinco km 69	308	640.46	7,395	9 224	-	9 224	-	5 022	31 692	**cumple**	204
Arena triturada (m3)	**284**	**1 641.874**	**6 812.01**	**9 575.30**	**141%**	**8 515**	**112%**				
Fija km 39	181	263.67	4 346	6 383	147%	5 433	117%				
Latinco Roller	84	1 378.204	2 025	3 192	158%	2 531	126%	1 753	11 328.38	**cumple**	2 813
Triturado 1" y 3/4" (m3)	**263**	**241.23**	**6 314**	**7 084.01**	**112%**	**7 893**	**90%**				
Móvil km 39	37	0	881	-	0%	1 102	0%	2 184	9 268.01	**cumple**	1 375
Fija km 39	226	241.23	5 433	7 084.01	130%	6 791	104%				

Fuente: Elaboración propia.

También se evalúo el rendimiento de cada planta y se registraron las horas trabajadas diariamente en cada una de ellas, esto con el fin de poder validar de forma más precisa la capacidad de producción de las plantas, brindándonos la proyección en metros cúbicos de lo que se podría producir hasta el momento del cierre, y de esta manera validar si es alcanzable la meta o no.

Tabla 6

Proyecciones de las plantas para el mes de diciembre respecto a los rendimientos y horas trabajadas

Planta de producción - Dic	Proyección m^3	Horas efectivas por día	Rendimiento m^3/h
Fija km 39	2 184	7	52
Móvil km 39	0	0	68
Latinco Roller	1 050	7	25
Latinco km 69	1 500	10	25
km 53+900	5 022	9	93
km 28+500	0	6	0

Fuente: Elaboración propia.

Tras realizar este ejercicio y llevar a cabo diversas validaciones, se identificó la necesidad de un análisis más detallado sobre las causas de las paradas y varadas de las máquinas, análisis que se inició a desarrollar en el mes de octubre, dado que este factor tiene un impacto significativo en el rendimiento y la producción de los equipos. Para ello, se creó un archivo adicional en Excel, donde se recopiló toda la información de la base de datos relacionada con las paradas y varadas de las máquinas. En este archivo se efectuó un análisis diario que permitió identificar y clasificar las razones específicas detrás de cada evento.

Este tema es de suma importancia para ponerle un ojo a la no productividad de esos días ya que hay paradas que se deben por falta de material, por lluvia, por alistamiento o por paros mineros. En este último caso, se trata de situaciones fuera de control de los ingenieros. Por ello resulta fundamental registrar y controlar estas interrupciones, como se muestra en las **Tablas 7 y 8**, no solo para identificar oportunidades de ajuste, sino también para respaldar y validar ante las entidades correspondientes los cobros realizados a la compañía.

Tabla 7

Registro de la causa de las paradas, varadas y de la producción ejecutada para la planta Móvil km 39+600

	Parado por alistamiento			**Parado por alistamiento**			**Parado por alistamiento**			**Por alistamiento y lluvia**		
	18/10/2024			19/10/2024			20/10/2024			21/10/2024		
K M39 MÓVIL	T1	T2	**Total**	T1	T2	**Total**	T1	T2	**Total**	T1	T2	**Total**
Horas trabajadas	9	8	**17**	5	7	**12**	7		**7**	3	8	**11**
Horas varadas			**0**			**0**			**0**	7.5		**7.5**
Horas paradas	1	1	**2**	3	1	**4**	1		**1**	0.5	2	**2.5**
Volumen producido	649.4	663.5	**1 312.9**	374.3	509.8	**884.1**	540.1	0.0	**540.1**	115.2	424.8	**540.0**
Rendimiento	72.2	82.9	**77.2**	74.9	72.8	**73.7**	77.2		**77.2**	38.4	53.1	**49.1**
Base (m3)	649.4	663.5	**1 312.9**	374.3	509.8	**884.1**	540.1		**540.1**	115.2	424.8	**540.0**
Desperdicio	114.6	117.1	**231.7**	66.0	90.0	**156.0**	95.3		**95.3**	20.9	77.2	**98.2**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Registro de la causa de las paradas, varadas y de la producción ejecutada para la planta Fija km 39+600

	Paradas por decisión técnica			**Parado por alistamiento**						**Por alistamiento y lluvia**		
	18/10/2024			19/10/2024			20/10/2024			21/10/2024		
K M39 FIJA	T1	T2	**Total**	T1	T2	**Total**	T1	T2	**Total**	T1	T2	**Total**
Horas trabajadas	3	10	**13**	6	5	**11**	8	8	**16**	8	7	**15**
Horas varadas	2	0.5	**2.5**		3	**3**			**0**		2	**2**
Horas paradas	5		**5**	2		**2**			**0**	2.5	1	**3.5**
Volumen producido	170.1	507.6	**677.7**	367.2	302.4	**669.6**	0	0	**0**	410.4	356.4	**766.8**
Rendimiento	56.7	50.76	**52.13**	61.2	60.48	**60.87**	0	0	**0**	51.3	50.91	**51.12**
Arena (m3)	75.6	225.6	**301.2**	163.2	134.4	**297.6**			**0**	182.4	158.4	**340.8**
Triturado (m3)	94.5	282	**376.5**	204	168	**372**			**0**	228	198	**426**
Desperdicio	18.9	56.4	**75.3**	40.8	33.6	**74.4**			**0**	45.6	39.6	**85.2**

Fuente: Elaboración propia.

A su vez teniendo la capacidad teórica de cada una de las plantas se determina la cantidad de producción faltante como se puede observar en las siguientes tablas (**Tablas 9 y 10**).

Tabla 9

Cantidad faltante por causa de las paradas de la planta Móvil del km 39, escenario 1

Escenario 1				
KM 39 MÓVIL	18/10/2024	19/10/2024	20/10/2024	21/10/2024
Horas paradas [h]	17	12	7	11
Rendimiento Teórico [m3/h]		60		
Cantidad que se produjo [m3]	312.9	884.1	540.1	540
Cuánto se debía haber producido [m3]		1 200		
Cuánto se dejó de producir [m3]	**887.1**	**315.9**	**659.9**	**660**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Cantidad faltante por causa de las paradas de la planta Móvil del km 39, escenario 2

Escenario 2				
KM 39 MÓVIL	18/10/2024	19/10/2024	20/10/2024	21/10/2024
Horas paradas [h]	17	12	7	11
Rendimiento Teórico [m3/h]		80		
Cantidad que se produjo [m3]	312.9	884.1	540.1	540
Cuánto se debía haber producido [m3]		1 600		
Cuánto se dejó de producir [m3]	**1 287.1**	**715.9**	**1 059.9**	**1 060**

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se realizó un análisis de los costos asignados a cada una de las plantas de producción identificando un incremento en los costos debido a que algunos equipos, que deberían estar dedicados a la producción en las plantas de trituración, realizaban labores ajenas a esta actividad. Sin embargo, los costos de estos equipos seguían siendo asignados a la producción de materiales pétreos. Para abordar esta situación, se realizó un análisis comparativo

entre los equipos previstos inicialmente en el APU y los equipos realmente imputados en Advance, el programa utilizado por la empresa para la recepción de costos (Ver **Tabla 11**).

Tabla 11

Validaciones de equipos y mano de obra que se contemplaban en el APU vs los que se está cargando con algún costo en el Advance

	EQUIPOS	APU	ADVANCE	Horas trabajadas al 16-oct
TRITURAR				
	Excavadora	EXCAVADORA 320	RO-160	1
	Cargador	Cargador 950	GC-CA-398	171
	Planta Eléctrica	Planta Eléctrica 3306	PL-73	114
	Planta de trituración	PT-17	PT-15	41
	Cono Triturador	CT-06	CT-06	67
	Zaranda	-	ZR-19	67
	Volqueta	Volqueta Doble Troque	-	
	Luminaria	Luminaria	-	
EXPLOTAR				
	Excavadora	-	RO-155	149
			RO-156	105
			SK-RO-467	94
	Martillo Hidráulico	-	SK-MMT-291	65

MEZCLAR				
	Cargador	-	CA-60	45

Mano de Obra	APUS	CANTIDAD JORNADA	ADVANCE	CANTIDAD JORNADA	Horas trabajadas al 15-oct
	Ayudantes	6	Ayudante general	1	110
			Ayudante planta de trituración	3	361
	Operador triturador	2	Operador planta trituradora	3	393
			Operador planta trituradora en formación	1	38
	Operador Cargador	2	Operador Cargador	3	374
			Operador Cargador en entrenamiento	1	170
			Operador de minicargador	1	134
	Operador Excavadora	2	Operador Retroexcavadora	7	445
	Auxiliar de despacho	2	Auxiliar de despachos	1	198
			Encargado de Obra	1	18
	Operador Doble troque	2	-		

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis permitió determinar qué equipos estaban trabajando adicionalmente en las plantas, evaluando la necesidad de dichos equipos y validando las horas trabajadas de cada uno en relación con las plantas de trituración. De esta forma, se verificó si los equipos imputados a la producción de materiales granulares realmente estaban dedicando las horas registradas a esta actividad o si estaban siendo utilizados para otras tareas y así poder garantizar un análisis real de los costos para cada una de las plantas de producción.

7. Análisis de resultados

En la **Tabla 2** se presentan los equipos utilizados para el transporte y la colocación de la roca en las plantas de trituración del proyecto Magdalena 2. En esta tabla se detalla cada equipo junto con su capacidad de carga en metros cúbicos (m^3). Como se observa, las volquetas poseen una capacidad significativamente mayor en comparación con equipos como la retroexcavadora, el cargador y el minicargador. Esto se debe a que estos últimos cuentan con un accesorio denominado cuchara o balde, cuya capacidad de carga es visiblemente menor frente al volco de las volquetas, diseñado para transportar un mayor volumen de material.

Esta clasificación de capacidades es fundamental, ya que permite automatizar el cálculo del volumen total alimentado en la base de datos. El cálculo se realiza multiplicando la cantidad de viajes efectuados por cada equipo por su capacidad de carga, obteniendo así el volumen total de material transportado por cada equipo.

En cuanto a la **Tabla 3** se presentan las diferentes proporciones de material producido en cada planta de trituración, listando los porcentajes de participación, por porcentaje de participación se entiende que: Para la proporción de tipo 1 K39+600 tendrá para la construcción de bases un aporte del 55%, como se puede observar en la columna 5, en esta columna se reportan los porcentajes de participación de las bases granulares para cada una de las proporciones. Así mismo, se puede observar que en las columnas 8-9-10 se tienen los porcentajes de participación de los diferentes tamaños de triturado, teniendo entonces para la proporción mencionada anteriormente un porcentaje de participación del 23% para el triturado de 1”, y adicionalmente es esto un porcentaje de participación del 11% para la arena triturada de ⅜”.

En esta tabla se observa que las proporciones varían según el tipo de material producido. En ciertas ocasiones, la producción se enfoca exclusivamente en base granular, asignándole un 90% del total producido. En otras ocasiones, la planta puede centrarse en la producción de arena, también asignándole un 90%. En el caso de producciones combinadas, como arena y triturado, los porcentajes se asignan en función de la proporción de cada material obtenido como se explicó anteriormente para la proporción de tipo 1 km 39+600.

Adicionalmente, para cada producción se considera un 10% de desperdicio. Estas proporciones son de gran utilidad, ya que permiten calcular automáticamente, en la base de datos, la cantidad total de los diferentes materiales producidos en relación con el volumen total alimentado a la planta.

La **Figura 12** presenta el formato propuesto e implementado desde el cierre de septiembre. Este formato facilita la obtención de información actualizada en cualquier momento para cada planta, al centralizar todos los datos importantes y relevantes de la producción.

Las **Tablas 2 y 3** juegan un papel fundamental en este proceso, ya que están vinculadas a la base de datos mediante fórmulas, lo que permite mantener la base de datos optimizada y libre de sobrecarga de información. Este enfoque automatiza gran parte del proceso, reduciendo significativamente los errores de cálculo o digitación y mejorando la eficiencia en la gestión de los datos.

Para cada mes se implementó un cuadro de análisis como se puede observar en la Tabla 4 y 5. En la **Tabla 4** se muestra el cierre del mes de septiembre, para la base granular se alcanzó una producción de 43 198 m^3 frente a una meta de 53 199 m^3, lo que representa un incumplimiento con lo programado en un 19,0%; en arena se produjeron 12 301 m^3 para una meta de 12 203 m^3, logrando un cumplimiento ajustado, mientras que para el triturado se superó la meta con 13 221 m^3 frente a 11 548 m^3 proyectados. El objetivo de cada volumen planeado es no solo cumplir con las metas, sino superarlas. Esto permite reducir los tiempos de producción y adelantar los proyectos, optimizando los plazos establecidos.

Los resultados de la **Tabla 5** muestran el análisis para el mes de diciembre, con datos actualizados al 19 de diciembre, contemplando seis días antes del cierre del mes. Según las proyecciones realizadas, se estima que se alcanzará el cumplimiento de las metas de producción para cada material pétreo, la base granular muestra al momento un avance del 85,0% de lo planeado, lo cual corresponden a unos 4 818 m^3 producidos hasta el momento, con un ritmo de producción diaria de 1 610 m^3 asumiéndola así por la producción realizada el 19 de diciembre, con este estimado, se proyecta superar la meta; en arena se evidencia que a pensar de que aún no se haya cerrado el mes ya se registra un excedente de 1 060 m^3 adicionales a lo programado,

destacando una mejora significativa frente a septiembre, cuando solo se lograron 98 m^3 adicionales; finalmente analizando el triturado producido se tiene un 90,0% de cumplimiento, faltando 809 m^3 por producir, al ritmo actual, podrían completarse en tres días, según el análisis de la meta diaria.

Estos análisis reflejan una mejora notable en la eficiencia y cumplimiento de metas, destacando un desempeño más favorable en diciembre, con avances que permiten validar el cumplimiento general de cada material.

En la **Tabla 6** se tienen las proyecciones de m^3 posibles a alcanzar por cada una de las plantas, teniendo en cuenta los rendimientos calculados hasta el momento de cada una de las plantas, las horas trabajadas y los días faltantes al cierre del mes. Se puede observar que en promedio se están trabajando 7,8 horas al día, teniendo una proyección de 7 656 m^3 proyectados al cierre del mes, esto ayuda a validar si es posible o no lograr la meta proyectada.

En la **Tabla 7 y 8**, se muestra el registro de las causas de las paradas para la planta fija y móvil del km 39+600, para el 18 de octubre se tuvieron 2 horas paradas para la planta móvil por alistamiento que se le hizo a la máquina, este alistamiento consiste en la validación y prueba de que todo esté funcionando de una manera correcta. También se pueden ver paradas por lluvia o por decisión técnica, las cuales se deben a decisiones por los ingenieros mecánicos cuando ven una posible tendencia a fallas de las máquinas, así que detienen la producción para hacer una revisión más profunda, adicionalmente, se tienen paradas por cargue, por falta de material o por paros indígenas, básicamente este formato se implementó debido a que se presentaron en la obra ciertas paradas por paros indígenas, estos registros son de suma importancia ya se puede validar que en estas excepciones no es causa de las plantas el retraso en las obras.

Como se puede observar en la **Tabla 7 y 8**, se registra la producción de materiales pétreos y así, también se puede calcular la producción faltante por causa de las paradas como se puede observar en la **Tabla 9 y 10**. En estas tablas se tienen dos escenarios con variaciones en el rendimiento de una misma planta, un escenario óptimo siendo este de una producción de 80 m^3/h y un escenario un poco más realista de 60 m^3/h. Como se puede observar se presenta la producción faltante relaciona a las fechas mostradas en las **Tablas 7 y 8**, identificando una gran cantidad de material faltante por producir, como ejemplo para el día 18 de octubre, para ambos escenarios fue

el día en el cual se dejó de producir hasta 1 287.m^3 de material pétreo, retrasando en gran medida las metas proyectadas.

Finalmente analizando la **Tabla 11** se valida una comparación entre el APU vs el Advance, el APU se hace basándose en la necesidad de la actividad, desglosando y calculando todos los costos asociados con la ejecución de la trituración de materiales pétreos, por otro lado, el Advance es el Software utilizado por la empresa mediante el cual se cargan todos los costos que han tenido dichas actividades, este análisis se realizó para el mes de octubre. Esta tabla muestra el desglose de equipos y mano de obra cargados a la trituración de materiales pétreos, como se puede observar, se tienen equipos para la actividad de explotación y de mezcla del material, los cuales se han asignado a la trituración, se valida que estos equipos no están contemplados por el APU ya que se presenta un (-) en dicha columna, pero cuando se observa en la columna del Advance se valida que efectivamente hay equipos relacionados a otras actividades que se le han cargado los costos a la actividad de la trituración.

Adicionalmente, se incluyó una columna para registrar las horas reportadas que se han trabajado hasta el 16 de octubre, considerando que cada hora de operación de los equipos representa un costo significativo, por este motivo, los equipos que corresponden a la explotación y a la mezcla de material que están siendo cargado a la trituración suben de manera significativa los costos para la actividad de la trituración. La validación de las horas trabajadas permite verificar la coherencia entre estas y las horas de producción, asegurando que los tiempos reportados sean consistentes con los tiempos reportados para la planta de trituración. Así mismo, se realizó un análisis similar para la mano de obra, prestando especial atención a las horas trabajadas por cada operario, ya que en algunos casos se evidenció un número elevado de horas asignadas a un solo operador, lo cual requirió un seguimiento más detallado.

8. Conclusiones

Antes de cualquier análisis es fundamental, conocer con precisión la calidad y las condiciones específicas de los recursos que se van a explotar. Esto se debe a que la producción de materiales pétreos constituye la base fundamental de los procesos constructivos, debido a que estos aportan a las infraestructuras viales resistencia, durabilidad, estabilidad y soporte para las cargas vehiculares.

El trabajo destacó la necesidad de mejorar los controles en el registro de información mediante la implementación de un formato único y organizado para la recolección de datos. Anteriormente, los procesos se veían afectados por inconsistencias y retrocesos en la información, lo que dificultaba la toma de decisiones. Con la implementación de la nueva base de datos, se logró una organización más eficiente, permitiendo el acceso inmediato a la información por parte de todos los ingenieros involucrados. Esta herramienta permitió hacer un seguimiento diario de la producción de cada una de las plantas de trituración, lo que permitió identificar problemas antes del cierre mensual, para así de esta manera poder tomar medidas correctivas oportunas. Además, al realizar este análisis diario de las cantidades producidas y los rendimientos de cada una de las plantas, se obtuvieron proyecciones más claras para evaluar la viabilidad de las metas establecidas.

La implementación de este sistema de control evidenció mejoras significativas en el cumplimiento de las metas. Como se refleja en el análisis del mes de diciembre (**Tabla 5**), el seguimiento diario de la producción ayudó a superar las metas programadas gracias a un control eficiente y una gestión proactiva.

Adicionalmente a esto como solución a la problemática de las diferentes fuentes de información, se sugirieron medidas de control en donde se le asignó a una sola persona la responsabilidad de subir la información al formato, siendo una auxiliar de ingeniería que se encuentra en la planta de trituración del km 39+600, esta persona cuenta con la labor de verificar la veracidad de la información recolectada por las demás plantas de trituración, y adicionalmente la información suministrada por los ingenieros mecánicos encargados de la maquinaria, lo que hace más confiable la información encontrada en esta base de datos.

Como otra medida a soluciones se implementó en la nueva base de datos las columnas que hacen referencia a las horas relacionadas con respecto a las causas de las paradas y varadas que se presentaban por día, esto se puede observar en la última parte de la **figura 19**. Gracias a la colocación de estas columnas, se permitió validar día a día si la suma entre las horas trabajadas, las horas paradas y las horas varadas generaba un total de 10 horas por turno, que corresponden a lo que debe de trabajar la máquina por turno. Con la implementación de esta información se hizo más sencillo detectar errores de digitación de horómetros y demás inconsistencias entre las horas trabajadas en la jornada.

Por otro lado, la identificación de improductividades relacionadas con las paradas y varadas de las máquinas fue de gran ayuda para determinar las cantidades de material que se dejó de producir. Esto permitió priorizar acciones correctivas, minimizar los tiempos inactivos y, en casos necesarios, implementar medidas adicionales para recuperar el material faltante. También, se logró realizar un análisis más realista del rendimiento de las máquinas, considerando estos imprevistos para establecer metas más alcanzables y ajustadas a las condiciones reales de operación.

El análisis que se realizó a la asignación de costos en la producción de materiales pétreos también fue de suma importancia, ya que se detectaron inconsistencias que generaban un incremento significativo e irreal en el costo por metro cúbico producido, identificando que ciertos gastos adicionales, ajenos a la actividad de trituración, se estaban cargando erróneamente, lo que distorsionaba los costos reales y llevaba a decisiones equivocadas basadas en datos incorrectos. La corrección de estas asignaciones de costos fue esencial para los meses posteriores a la implementación del análisis, especialmente en noviembre y diciembre, proporcionando un valor claro y preciso del costo real de producción de los materiales pétreos.

Como solución a esta problemática se planteó una revisión periódica cada cinco días de la información cargada, lo cual permitió detectar y corregir cualquier inconsistencia de manera temprana, antes de que impacte en el cierre del mes. Adicionalmente se tenía conocimiento de que el personal que cargaba la información era poco calificado, dándole poca importancia o sentido a las implicaciones que estos errores pudieran generar, por lo que se recomendó que se prestara mayor atención a la asignación de costos de los equipos y de la mano de obra para las distintas

actividades, disponiendo un encargado o responsable directo que gestione y asuma todo tipo de responsabilidad respecto a este tema.

En conclusión, la identificación de las grandes problemáticas en el proceso de producción de materiales pétreos ayudó a presentar soluciones prácticas para optimizar los procesos, mejorar la asignación de costos, minimizar las paradas operativas y establecer un sistema de control más eficiente y confiable. Estas acciones son esenciales para garantizar la sostenibilidad y el éxito de los proyectos.

Referencias

ANÁLISIS VARIACIÓN PRECIOS UNITARIOS INVIAS EN CONTRATOS DE OBRA PUBLICA. (2021). En Repositorio Universidad de los Andes. Christian David Nieto Taborda. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/224930fa - a55b-4e1b-be7d-4ac662d50ddc/content

Daoud, A. O., El Hefnawy, M., & Wefki, H. (2023). Investigation of critical factors affecting cost overruns and delays in Egyptian mega construction projects. Alexandria Engineering Journal, 83, 326–334. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.052

FIGUEIREDO, P. O.; MUCSI, G.; BERGERMAN, M. G.; ULSEN, C. Production of high quality fine recycled aggregates using low energy grinding. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 24, e135205, jan./dez. 2024. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100781

Magnify. (2024, 22 julio). Inicio - Autopista Río Magdalena. Autopista Río Magdalena. https://www.autopistamagdalena.com.co/

Obras de Infraestructura en Antioquia logran un avance del 74,49%. (2021, 31 julio). Portal ANI. https://www.ani.gov.co/obras-de-infraestructura-en-antioquia-logran-un- avance-del-7449

Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad. (2016b). Diego Fernando Olguín de la Mora. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/11125/1/Proceso%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Agregados%20P%C3%A9treos%20y%20su%20Control%20de%20Calidad.pdf

Rocas silíceas sedimentarias. su composición mineralógica y terminológica. (1998). Andoni Tarriño Vinagre. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2733229.pdf

Sinoh, S., Othman, F., & Onn, C. (2023). Circular economy potential of sustainable aggregates for the Malaysian construction industry. Sustainable Cities And Society, 89. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104332.

Trituradora de cono – El blog de Víctor Yepes. (2014, 4 agosto). https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/08/04/trituradora-de-cono/

Waqar, A., Radu, D., Alsulami, B. T., Đorđević, B., Mohamed Salih Ebrahim, A. F., & R. Almujibah, H. (2025). Functional analysis of LIDAR technology in optimizing efficiency and sustainability in construction sector. Ain Shams Engineering Journal, 16(2), 103258. https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103258

Escuela Ambiental

Análisis de bases de datos operativas y financieras para la identificación y solución de problemáticas en el proceso de conminución de materiales pétreos en las canteras explotadas para el proyecto vial Autopista Río Magdalena 2 (Remedios, Antioquia - Cimitarra, Santander)

Paula Muñoz Morales

Asesora interna: Jorge Armando Castro - Asesor externo: Lina Marcela Aguirre

Construcciones el Cóndor S.A, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

2025-1

Introducción

La construcción de infraestructura vial ayuda en gran medida al crecimiento económico de una región, ya que estos megaproyectos permiten la conectividad, seguridad y bienestar entre la población. Durante la práctica académica, realizada en Construcciones el Cóndor S.A, se brindó apoyo a varios proyectos, entre ellos el de la autopista Río Magdalena 2, el cual inicia en Remedios, Antioquia y se extiende hasta el municipio de Cimitarra, Santander.

Estos proyectos requieren una ejecución precisa y eficiente, ya que cualquier desviación puede traer consigo consecuencias significativas. Por lo tanto esta propuesta presenta un análisis detallado de las bases de datos operativas y financieras relacionadas con el proceso de conminución de materiales pétreos en el proyecto, con el fin de entender las ineficiencias que han surgido a la hora de los cumplimientos de las metas proyectadas, identificando y describiendo las principales problemáticas encontradas, con el objetivo de contribuir al diseño e implementación de soluciones orientadas a mejorar sus procesos y resultados.





Figura 1 y 2: *Planta de producción km 39+600, proyecto Magdalena 2, lateral y en planta.* ***Fuente****: Elaboración propia.*

Objetivos

Objetivo general

Analizar las bases de datos operativas y financieras para la identificación y solución de problemáticas por el incumplimiento del plan de acción en el proceso de conminución de materiales pétreos en las plantas de trituración del km 39+600, km 28+500, km 53+800 y km 69+000, para el proyecto de infraestructura vial Magdalena 2.

Objetivos específicos

- Describir las fuentes de materiales desde sus características geológicas, condiciones topográficas y el tipo de mina, para la identificación de los materiales pétreos actualmente explotados.
- Documentar el proceso de conminución del material, abarcando la capacidad operativa y los volúmenes procesados en cada etapa, con el propósito de establecer un marco de referencia claro sobre que actualmente se lleva a cabo.
- Determinar los costos y rendimientos de los equipos para cada proceso involucrado en la obtención de los volúmenes de materiales requeridos por cada uno de los centros de producción.
- Identificar las problemáticas que generan los incumplimientos de metas programadas, con el propósito de implementar soluciones efectivas que optimicen los procesos y aseguren la veracidad y confiabilidad de la información.

Metodología

Para determinar las problemáticas en el proceso de trituración de materiales se plantean la siguiente metodología:



Figura 3: *Metodología implementada para el análisis de las problemáticas en el proceso de conminación de materiales pétreos* ***Fuente:*** *Elaboración propia.*

A partir de la recolección de datos, se realiza un análisis cuantitativo de los rendimientos y los costos operativos de los equipos, utilizando herramientas como tablas en Excel, permitiendo tener una visión más clara sobre los procesos en donde se encuentran las desviaciones más significativas. Teniendo esta revisión se determinarán los motivos que más impacto tienen en la producción de los materiales granulares dándole cierta prioridad para su optimización.

Resultados

Se identificaron problemas como:

- Falta de la asignación de un responsable que controle la canalización de la información de la cantidad producida de materiales pétreos y de las horas trabajadas que se reportan.
- Inconsistencia en los reportes de horas a cobrar, evidenciando errores en los horometros de las maquinas y registros en horas trabajadas del personal.
- Diferencias entre los datos suministrados por varias fuentes dentro del mismo proyecto.
- Errores en la asignación de costos de producción, poniendo el riesgo el cumplimiento del proyecto.

Kilometro	Planta producción	Planta Produccion 2	Fecha	Turno (Dia - Noche)	Horometro Inicial	Horometro Final	Horas trabajadas producción	Cantidad alimentadas	equipo Alimentador	Volumen alimentado	Proporciones
KM+000	KMSN (PT-22, ZP-15, CT-15)	MOVIL KMSN (PT-22, CT-15, ZP-15)	23/09/2024	NOCHE	13021	13028	8	338	RO160	573,46	TIPO 4 KSN+000
KM+000	KMSN LATINCO	LATINCO KMSN	23/09/2024	DIA	13024	13028	2	76	RO159	66,6	TIPO 4 KSN+000
KM+000	KMSN LATINCO		23/09/2024	NOCHE						0	
KM+000	KMSS	PLA KMSS (PT-27, CT-04)	23/09/2024	DIA	15745	15751	6	565	RO169	706,66	TIPO 1 TR-PLA KSS
KM+000	KMSS	PLA KMSS (PT-27, CT-04)	23/09/2024	NOCHE	15751	15755	4	381	RO169	420,59	TIPO 1 TR-PLA KSS
SCALPER 693	ZR-10	SCALPER ZR-10	23/09/2024	DIA	1858	1880	2	104	RO165	33A	TIPO 3 SCALPER
SCALPER 693	ZR-10	SCALPER ZR-10	23/09/2024	NOCHE	1880	1895	5	1340	RO165	1340	TIPO 3 SCALPER
KM+000	KMSN	PLA KMSN (PT-28, CT-14, PT-14)	24/09/2024	DIA	3824	3826	3	30	VO	30A	TIPO 8 KSN+000
KM+000	KMSN	PLA KMSN (PT-28, CT-14, PT-14)	24/09/2024	NOCHE	3826	3831	2	10	VO	10A	TIPO 8 KSN+000
KM+000	ROLLER	LATINCO ROLLER	24/09/2024	DIA	26521	26550	9	522	HC52	209,88	LATINCO ROLLER
KM+000	ROLLER		24/09/2024	NOCHE						0	
KM+000	KMSN (PT-22, ZP-15, CT-15)	MOVIL KMSN (PT-22, CT-15, ZP-15)	24/09/2024	DIA	13029	13035	6	483	RO160-2	590,67	TIPO 4 KSN+000
KM+000	KMSN (PT-22, ZP-15, CT-15)	MOVIL KMSN (PT-22, CT-15, ZP-15)	24/09/2024	NOCHE	13035	13043	6	481	RO160-2	573,19	TIPO 4 KSN+000
KM+000	KMSN LATINCO	LATINCO KMSN	24/09/2024	DIA	13026	13027					
KM+000	KMSN LATINCO		24/09/2024	NOCHE						0	
KM+000	KMSS	PLA KMSS (PT-27, CT-04)	24/09/2024	DIA	15755	15755					
KM+000	KMSS	PLA KMSS (PT-27, CT-04)	24/09/2024	NOCHE	15755	15755					
SCALPER 693	ZR-10	SCALPER ZR-10	24/09/2024	DIA	1908	2012	6	935	RO165	810	TIPO 3 SCALPER

Kilometro	Planta producción	Sub Base Granular	Triturado 1"1/2"	Triturado 3/4"	Triturado 1"	Arena triturada 3/8"	Piedra filtro	Desperdicio y/o diferencia (m3)

Kilometro	Planta producción	Horas variad - alcantarillas	Horas variad - falta hidráulica	Horas variad - falta electrica	Horas variad - falta mecánica	Horas variad - solidaridad	Horas variad - daño bandas	Horas variad - multas	Horas variadas elementos de desgaste	Horas paradas - alcantarilla	Horas paradas - cargar	Horas paradas - lluvia	Horas paradas decisión técnica

Figura 4: *Formato propuesto para ingresar la información de las plantas de trituración.* ***Fuente:*** *Archivo compartido para todos los ingenieros.*

Conclusiones

- Es fundamental conocer con precisión la calidad y las condiciones específicas de los recursos que se van a explotar.
- El trabajo resalta la necesidad de mejorar los controles en el registro de información mediante la implementación de un formato único y organizado para la recolección de datos.
- La herramienta implementada en este trabajo permitió evidenciar mejoras significativas en el cumplimiento de las metas.
- La importancia de una asignación debida de responsables para la recolección y digitalización de la información permite mitigar errores.
- La identificación de las problemáticas en el proceso de producción de materiales pétreos permite la obtención de un sistema de control más eficiente y confiable. Estas acciones son esenciales para garantizar la sostenibilidad y el éxito de los proyectos.

paula.munoz1@udea.edu.co

Medellín, Colombia

Escanea este QR para conocer más sobre el proyecto

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

1803

Facultad de Ingeniería