UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

APLICACIÓN DEL SISTEMA CONTROL SENSE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CARGUÍO Y ACARREO EN UNA UNIDAD MINERA DEL SUR DEL PERÚ, 2024

TESIS

Presentada por:

Bach. Harold Eduardo Geovanni Colque Murguia

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

"APLICACIÓN DEL SISTEMA CONTROL SENSE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CARGUÍO Y ACARREO EN UNA UNIDAD MINERA DEL SUR DEL PERÚ, 2024"

Tesis sustentada y aprobada el jueves 18 de diciembre de 2025, estando integrado el jurado calificador por:

PRESIDENTE	…… Dr. Dante Ulises Morales Cabrera
1er. MIEMBRO (SECRETARIO)	…… Dr. Julio Miguel Fernández Prado
2do. MIEMBRO (VOCAL)	…… MSc. Salomón Medardo Ortiz Quintanilla
ASESOR	…… Dr. Julio Miguel Fernández Prado

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Julio Miguel Fernández Prado, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 10166 de la tesis titulada:

"Aplicación del Sistema Control SENSE para la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024", presentada por el Bachiller Harold Eduardo Geovanni Colque Murguia con código Nº 2017-101020, para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Que, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual** Turnitin cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje** es 6% Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

Huella digital

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Dr. Julio Miguel Fernández Prado

DNI: 29400045

FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos: Bach. Harold Eduardo Geovanni Colque Murguia

DNI:70748146

Huella digital

DEDICATORIA

Reconozco, en primer término, a Dios por la vida, la fortaleza y la sabiduría que hicieron posible la culminación de este proyecto. Extiendo esta dedicatoria a quienes contribuyeron a mi formación profesional y me sostuvieron con su apoyo y confianza durante un proceso arduo cuyo impacto comienza a evidenciarse.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo no habría sido posible sin quienes confiaron en mí y apostaron por mi crecimiento. A todos los que me brindaron su apoyo, tiempo y conocimientos, gracias por la orientación y la confianza que me impulsaron en los momentos decisivos.

A mi familia, gracias por su amor incondicional, por la paciencia ante mis ausencias y por el aliento constante. Su ejemplo de perseverancia y honestidad ha sido el cimiento de cada logro.

A mis compañeros ingenieros, les debo la oportunidad de iniciar mi trayectoria en el mundo minero. Gracias por abrirme puertas, confiarme responsabilidades y enseñarme, en el campo y en la práctica, el valor de la seguridad, el trabajo en equipo y la mejora continua. También agradezco a quienes, desde operaciones, geología, seguridad, mantenimiento, y muchas más, aportaron con su experiencia y retroalimentación. A todos ustedes, gracias por creer en mis capacidades y acompañarme en este camino.

CONTENIDO

DEDICATORIA..... v
AGRADECIMIENTO.....vi
ÍNDICE DE TABLAS.....xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....xii
RESUMEN.....xv
ABSTRACT.....xvi
INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del problema a investigar. 2
1.2 Descripción del problema. 4
1.3 Formulación del problema (general y específicos). 5
1.3.1 Definición del problema:..... 5
1.4 Objetivos de la investigación (general y específicos)..... 7
1.5 Justificación e importancia de la investigación. 7
1.6 Limitaciones. 9
1.6.1 Disponibilidad de datos históricos 9
1.6.2 Variabilidad operativa 9
1.6.3 Duración del estudio 10
1.6.4 Factores externos..... 10
1.6.5 Acceso a información técnica del software 10
1.7 Viabilidad del estudio. 11
1.7.1 Acceso a datos operativos y técnicos..... 11
1.7.2 Infraestructura tecnológica disponible 11
1.7.3 Apoyo técnico y logístico 11
1.7.4 Recursos financieros suficientes 12
1.7.5 Experiencia previa en la aplicación del sistema 12
1.8 Formulación de hipótesis 12
1.8.1 Hipótesis general..... 12
1.8.2 Hipótesis específicas 13
1.9 Variables (Independientes, dependientes) 13
1.9.1 Variable independiente..... 13

1.9.2 Variable dependiente 13
1.10 Operacionalización de variables (Indicadores y dimensiones) 14

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del trabajo de investigación 15
2.1.1 Antecedentes internacionales 15
2.1.2 Antecedentes nacionales 17
2.2 Bases teóricas 19
2.2.1 Sistema Control Sense 19
2.2.2 Optimización del carguío y acarreo 25
2.2.3 Caracterización de equipos. 26
2.2.4 Medición de operaciones. 27
2.3 Definiciones conceptuales 29
2.3.1 Producción 29
2.3.2 Productividad 29
2.3.3 Disponibilidad 30
2.3.4 Utilización 30
2.3.5 Ciclo 31
2.3.6 Restricciones de operación 31
2.3.7 Centro de control 31
2.4 Equipos 31
2.4.1 Equipos de carguío 31
2.4.2 Equipos de acarreo 33
2.4.3 Equipos auxiliares 36

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Planteamiento metodológico (tipo, nivel y diseño de investigación) 37
3.1.1 Tipo de investigación 37
3.1.2 Nivel de investigación 37
3.1.3 Diseño de investigación 37
3.2 Población y muestra 38
3.2.1 Población 38

3.2.2 Muestra 38
3.3 Equipos y Materiales 39
3.4 Procedimiento de las pruebas experimentales 40
3.5 Técnicas de recolección de datos 40
3.5.1 Investigación Documental 40
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos 40
3.5.3 Trabajos de campo 41
3.6 Técnicas para el procesamiento de datos 41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Descripción de las pruebas experimentales 43
4.2 Registro de los tiempos de fallas, reparaciones, utilización, disponibilidad y productividad de los equipos con el Sistema Control Sense. 44
4.2.1 En equipos de carguío 44
4.3 Registro de los tiempos de fallas, reparaciones, utilización, disponibilidad y productividad de los equipos Sin el Sistema Control Sense 50
4.3.1 En equipos de carguío 50
4.3.2 En equipos de acarreo 53
4.4 Presentación y análisis de los resultados 56
4.4.1 Análisis comparativo del uso del Sistema Control Sense 57
4.4.2 Análisis comparativo de las características del Sistema Control Sense 79
4.5 Contrastación de hipótesis 91
4.5.1 Hipótesis general 91
4.5.2 Hipótesis específicas 92
4.5.3 Conclusión de la Contrastación de Hipótesis 94

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Pruebas de validación del modelo experimental 96
5.2 Aplicación de la tecnología encontrada 98
5.3 Contraste con trabajos de investigación similares 100
CONCLUSIONES 104
RECOMENDACIONES 107

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 108
ANEXOS 113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente.....14
Tabla 2: Operacionalización de la variable dependiente 14
Tabla 3: Determinación del muestreo de registros de estudio 39
Tabla 4: Equipos y materiales usados para la tesis.....39
Tabla 5: Cronograma de pruebas experimentales.....40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo Convencional y no convencional del carguío y acarreo 21
Figura 2: Formula para conseguir el % de utilización por equipo.....24
Figura 3: Ciclo de actividades de carguío 32
Figura 4: Ciclo de actividades de Acarreo 33
Figura 5: Formato instrumental para la recolección de tonelaje movido por equipo, y tiempo de ciclo..... 41
Figura 6: Formato instrumental para la recolección de paradas de equipos por fallas y/o paradas..... 41
Figura 7: Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense 44
Figura 8: Cuadro de tiempos de utilización de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense..... 45
Figura 9: Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense 45
Figura 10: Cuadro de producción total de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense..... 46
Figura 11: Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense..... 46
Figura 12: Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense 47
Figura 13: Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense..... 47
Figura 14: Cuadro de tiempos de utilización de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense..... 47
Figura 15: Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense 48
Figura 16: Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense 48
Figura 17: Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense 49

Figura 18: Cuadro de producción total de desmonte de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense 49
Figura 19: Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 50
Figura 20: Cuadro de tiempos de utilización de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 50
Figura 21: Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 51
Figura 22: Cuadro de producción total de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 51
Figura 23: Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 51
Figura 24: Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 52
Figura 25: Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense 52
Figura 26: Cuadro de tiempos de utilización de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense 53
Figura 27: Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense 54
Figura 28: Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 54
Figura 29: Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense 55
Figura 30: Cuadro de producción total de desmonte de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense 50
Figura 31: Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Pala BUC 495BI 58
Figura 32: Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Pala P&H 4100A 59
Figura 33: Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Cargador KOM WE1850 .. 60
Figura 34: Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Cargador KOM LTU 2350.61
Figura 35: Dashboard de Rendimiento del equipo de acarreo Volquete CAT 797F 62
Figura 36 Dashboard de Rendimiento del equipo de acarreo Volquete KOM 980E-4 63
Figura 37 Resultados comparativos de rendimiento de palas con y sin sistema Control Sense 64

Figura 38: Resultados comparativos de rendimiento de cargadores con y sin sistema Control Sense 68
Figura 39: Resultados comparativos de rendimiento de volquetes con y sin sistema Control Sense (1)..... 71
Figura 40: Resultados comparativos de rendimiento de volquetes con y sin sistema Control Sense (2)..... 72
Figura 41: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo CAT 797F….. 80
Figura 42: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo KOM 980E-4 81
Figura 43: Comparación con otras tesis..... 82

RESUMEN

La investigación tiene como propósito determinar de qué manera la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú durante el año 2024. Este sistema constituye una herramienta tecnológica de control y supervisión en tiempo real que permite gestionar flotas de equipos de manera más eficiente, mejorando la disponibilidad, utilización y productividad de las operaciones mineras.

El estudio es de tipo básico, con un nivel descriptivo y diseño experimental, empleando un enfoque cuantitativo. La población está constituida por registros operativos de los equipos de carguío y acarreo, y la muestra se seleccionó por conveniencia. La técnica utilizada fue el análisis documental y como instrumento se aplicó la ficha de análisis de datos.

Se plantea como hipótesis general que la implementación del Sistema Control Sense incide positivamente en la reducción de tiempos improductivos y en el incremento de la productividad del proceso de carguío y acarreo. Los resultados esperados contribuirán a la toma de decisiones estratégicas en la unidad minera, promoviendo una operación más eficiente, segura y sostenible.

Palabras clave: Sistema de Control Sense, optimización de carguío y acarreo, gestión de flotas mineras, Disponibilidad y utilización de equipos

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine how the application of the Control Sense System influences the optimization of loading and hauling at a mining unit in southern of Peru during 2024. This system is a real-time control and monitoring technology tool that allows for more efficient management of equipment fleets, improving the availability, utilization, and productivity of mining operations.

The study is basic in nature, with a descriptive level and experimental design, employing a quantitative approach. The population consists of operational records of the loading and hauling equipment, and the sample was selected by convenience sampling. The technique used was document analysis, and the data analysis form was used as the instrument.

The general hypothesis is that the implementation of the Control Sense System will positively impact the reduction of unproductive time and the increase in productivity of the loading and hauling process. The expected results will contribute to strategic decision-making at the mining unit, promoting a more efficient, safe, and sustainable operation.

Keywords: Control Sense System, loading and transportation optimization, Mining fleet management, Equipment availability and utilization

INTRODUCCIÓN

Esta tesis titulada “Aplicación del Sistema Control Sense para la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024” tiene como objetivo principal determinar de qué manera la implementación del Sistema Control Sense influye en la eficiencia del proceso de carguío y acarreo. Para ello, se realiza un análisis comparativo entre periodos de operación con y sin sistema, evaluando indicadores clave como tiempo de ciclo, horas de paradas y reparaciones, porcentaje de utilización, disponibilidad de equipos y producción total por pala, cargador y volquete. El estudio busca aportar evidencia cuantitativa que permita mejorar la gestión de la flota y la toma de decisiones operativas en minería a tajo abierto.

El trabajo consta de cinco capítulos:

El primer capítulo presenta el planteamiento del problema, la descripción de la realidad problemática en la unidad minera, la formulación del problema general y específicos, los objetivos, la justificación, la importancia, las limitaciones y la viabilidad del estudio. Se expone la necesidad de contar con información confiable en tiempo real para optimizar el desempeño del sistema de carguío y acarreo y reducir los costos asociados a tiempos improductivos.

El segundo capítulo desarrolla el marco teórico. Se describen los fundamentos del proceso de carguío y acarreo, los principales indicadores de gestión (producción, utilización, disponibilidad, tiempos de parada y tiempo de ciclo) y los conceptos de control de flota y monitoreo en tiempo real. Asimismo, se presenta la descripción del Sistema Control Sense, sus módulos y características, y se revisan antecedentes internacionales y nacionales de investigaciones que han aplicado sistemas similares en operaciones mineras.

El tercer capítulo está dedicado al material y métodos. Se caracteriza la unidad minera del sur del Perú, la configuración de la flota de palas, cargadores y volquetes, y se precisa la población y muestra del estudio. Se define el tipo y diseño de investigación, el periodo de análisis (seis meses con sistema y seis meses sin sistema), las técnicas e instrumentos de recolección de datos basados en la base de datos del Control Sense y en los registros del área de Operaciones Mina, así como los procedimientos de procesamiento y análisis de la información.

El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos. Se describen las pruebas experimentales y se muestran los dashboards elaborados en Power BI para cada tipo de equipo, comparando los indicadores operativos en los periodos con y sin Control Sense. Se analizan los cambios en tiempo de ciclo, utilización, disponibilidad, producción y horas de parada por equipo y por flota, identificando aquellos modelos que evidencian mejoras significativas y aquellos en los que el comportamiento se mantiene o se deteriora.

El quinto capítulo contiene la discusión, contrastación de hipótesis, conclusiones y recomendaciones. Se interpretan los resultados a la luz del marco teórico y de estudios previos, se evalúa el grado de influencia del Sistema Control Sense en la optimización del carguío y acarreo, y se plantean propuestas de mejora para la operación analizada. Finalmente, se presentan líneas de investigación futura orientadas a profundizar el uso de sistemas de monitoreo en tiempo real y herramientas de análisis de datos en la gestión de flotas mineras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la industria minera enfrenta el constante desafío de optimizar sus procesos operativos para responder a las exigencias de productividad, eficiencia y sostenibilidad. En particular, las actividades de carguío y acarreo representan una parte significativa de los costos operacionales y del rendimiento global de las unidades mineras. La unidad minera del sur del Perú, ubicada al sur del Perú, no es ajena a esta realidad, presentando diversos problemas asociados a paradas no programadas, baja disponibilidad de equipos, tiempos improductivos y deficiente seguimiento de los indicadores operacionales.

Frente a este escenario, la incorporación de tecnologías inteligentes se plantea como una estrategia clave para mejorar el control y la toma de decisiones en tiempo real. El Sistema Control Sense surge como una solución integral que permite monitorear, analizar y gestionar de manera automatizada los procesos de carguío y acarreo, proporcionando datos en tiempo real sobre el estado operativo de los equipos, su disponibilidad, utilización y eficiencia.

1.1 Antecedentes del problema a investigar

La industria minera desempeña un papel crucial en la economía mundial, representando aproximadamente el 10% de la actividad económica global. Este porcentaje incluye los ingresos de sectores como la minería de productos básicos,

las canteras y el petróleo. A nivel internacional, Estados Unidos destaca como un importante generador de empleo en la industria minera, con alrededor de 1 millón de puestos de trabajo, de los cuales 370 000 son directos, ofreciendo salarios competitivos. En la región de Galicia, España, la minería contribuye significativamente al PIB, representando un 5%, y al empleo, con un 6,5% según datos del gobierno autonómico (Minaría Sostible de Galicia, 2022).

En nuestro país, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) informa que en junio de 2023 se registró una disminución del 0,56% en el PBI respecto al mismo mes del año anterior. Sin embargo, en los últimos meses se observó un incremento acumulado del 0,74% en el PBI, destacando un crecimiento interanual del 3,7% en las exportaciones mineras, alcanzando los US$ 20 206 millones. Este aumento se atribuye principalmente al incremento en las exportaciones de cobre (+11,5%) y molibdeno (+53,8%).

En el artículo “Design of Loading and Transportation Fleet in Open-Pit Mines using Arena Simulation” (2021), los autores comparan métodos de despacho flexible y asignación fija en la mina de cobre Sungun, empleando simulación con Arena para evaluar la disposición de la flota. Encuentran que el método flexible de despacho incrementa la producción en un 20 % y mejora la productividad en 25 %. Este estudio es relevante para nuestra investigación porque evidencia que técnicas de simulación aplicadas al sistema de transporte pueden generar mejoras sustanciales en productividad, lo cual sirve de referencia al impacto esperado del Sistema Control Sense en la eficiencia de flotas.

1.2 Descripción del problema

La ingeniería de productividad ha surgido como una disciplina esencial en respuesta a la demanda y competitividad en un mundo globalizado y altamente competitivo. La permanencia en los mercados y la existencia misma de las empresas dependen directamente de su competitividad y productividad. En este contexto, los sistemas de control y automatización se vuelven vitales para garantizar la operación segura y eficiente de las explotaciones mineras (Revista Minería, s.f).

La automatización de los sistemas de control y las operaciones mineras no solo proporciona un control total sobre las flotas, sino que también conlleva beneficios significativos, como la reducción de costos de capital y mano de obra, y una mejora en la eficiencia energética. Los sistemas de control de minas permiten operar y supervisar diversas actividades mineras en tiempo real, ajustando la producción según la disponibilidad de recursos y abordando posibles problemas mediante sistemas de detección de fallos y alarmas (Tecnología Minera, 2023).

Los sistemas automatizados de control ofrecen mejoras sustanciales, tales como la mejora de la seguridad y condiciones laborales, aumento de la productividad, gestión eficiente de flotas móviles, operaciones de control remoto de la mina, análisis detallado de la producción, optimización del rendimiento y cumplimiento de normas medioambientales, sociales y de gobernanza (ESG). Además, se destaca que, aunque la implementación de equipos de minería automatizados reduce la necesidad de trabajadores no cualificados, podría generar oportunidades laborales para personal cualificado, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la industria minera.

En este sentido, la implementación de un sistema en una unidad minera del Sur del Perú se ve como algo necesario, ya que se ha podido observar algunos

problemas de eficiencia en las actividades de carguío y acarreo que podrían ser fácilmente solucionados con ayuda de un sistema, puesto que proporcionaría datos exactos de los equipos, los tiempos de uso, reparación, el estado en que se encuentran y la productividad obtenida.

1.3 Formulación del problema (general y específicos)

1.3.1 Definición del problema

El principal desafío identificado en esta investigación consiste en incrementar la productividad y eficiencia operativa de las operaciones de carguío y acarreo mediante el uso de información en tiempo real y el análisis de datos proporcionados por el Sistema Control Sense.

El propósito fundamental es superar los tonelajes planeados y optimizar los indicadores clave de desempeño (KPIs) a través de la implementación de una herramienta tecnológica que permita tomar decisiones precisas y oportunas sobre el rendimiento de cada equipo y las condiciones de la operación.

El aprovechamiento máximo del uso combinado de palas y volquetes de alta capacidad, junto con tecnologías avanzadas de monitoreo y simulación, constituye hoy un elemento indispensable en la gestión minera moderna. Estas herramientas permiten planificar la asignación de equipos, optimizar la secuencia de producción y gestionar el movimiento de material, reduciendo significativamente las pérdidas de tiempo y los costos operativos asociados a actividades ineficientes.

En este contexto, el Sistema Control Sense se consolida como una plataforma estratégica para la administración de la flota minera, integrando en un

solo entorno el control de estados operativos, la gestión del mantenimiento y el seguimiento de la productividad.

Su principal ventaja radica en la capacidad de maximizar la producción con menores costos y mayor confiabilidad operacional, convirtiéndose en un componente clave para la optimización integral del proceso de carguío y acarreo en la Unidad Minera del Sur del Perú.

Por ello, la aplicación y evaluación de este sistema justifica plenamente la realización del presente estudio, al contribuir directamente al cumplimiento de los objetivos de eficiencia, control y sostenibilidad en la operación minera.

- Problema general:

¿En qué medida la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización de los procesos de carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024?

- Problemas específicos:

¿En qué medida las características técnicas del Sistema Control Sense influyen en la optimización de los procesos de carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024?

¿De qué manera el uso operativo del sistema influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024?

1.4 Objetivos de la investigación (general y específicos)

- Objetivo general:

Determinar de qué manera la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.

- Objetivos específicos:

Determinar de qué manera las características del sistema influyen en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del sur del Perú, 2024

Determinar de qué manera el uso del sistema influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024

1.5 Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación se justifica por su contribución al mejoramiento de la eficiencia operativa en los procesos de carguío y acarreo mediante la aplicación del Sistema Control Sense, una herramienta tecnológica orientada a la supervisión, control y optimización del rendimiento de los equipos mineros. En la actualidad, las empresas del sector minero enfrentan el reto de reducir costos operativos, minimizar tiempos improductivos y maximizar el aprovechamiento de sus flotas, factores directamente relacionados con la productividad global de la operación.

De acuerdo con Agreda (2018), la implementación del sistema Control Sense en la Mina Constancia permitió identificar ineficiencias en los tiempos de espera, mejorar la programación de mantenimiento y elevar la productividad de las palas y camiones. De forma similar, el estudio realizado por Gold Fields La Cima

S.A. (2020) demostró que la gestión de demoras operativas y el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real pueden incrementar la producción efectiva en más del 10 % al optimizar los tiempos de cambio de turno y los periodos de espera de acarreo.

En este contexto, la aplicación del Sistema Control Sense en la unidad minera del Sur del Perú se plantea como una respuesta tecnológica y estratégica para lograr una operación más eficiente, al integrar datos operativos en tiempo real con indicadores clave de desempeño (KPIs) como producción total, disponibilidad, utilización y tiempos de parada. Este enfoque permitirá no solo evaluar objetivamente el impacto del sistema en las operaciones, sino también proveer información confiable para la toma de decisiones de inversión tecnológica dentro de la gestión minera.

Coincidiendo con los planteamientos de Buiza y Alcántara (2019), quienes destacan que el uso de sistemas digitales en minería moderna contribuye significativamente a la sostenibilidad y competitividad del sector, esta investigación trasciende el ámbito local, aportando evidencia empírica sobre la efectividad del Control Sense en la optimización del ciclo de carguío y acarreo en operaciones de gran escala.

Por tanto, los resultados obtenidos no solo beneficiarán a la empresa operadora de Toquepala, al permitir una reducción en los costos por hora parada y una mejora en la eficiencia de los equipos, sino que también servirán como referencia técnica para futuras implementaciones de sistemas de control y gestión minera en el Perú.

Finalmente, la importancia de este estudio radica en que valida la integración de herramientas de control digital como parte esencial de la minería 4.0, promoviendo la toma de decisiones basada en datos y la mejora continua en los procesos productivos. Así, la investigación contribuirá al fortalecimiento del

conocimiento técnico en ingeniería de minas, además de generar impactos prácticos y teóricos en el ámbito de la automatización y gestión minera moderna.

1.6 Limitaciones

Durante el desarrollo de esta investigación se identificaron algunas limitaciones que podrían afectar el alcance y los resultados del análisis sobre la aplicación del Sistema Control Sense en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú. Estas limitaciones son:

1.6.1 Disponibilidad de datos históricos

Aunque se cuenta con información reciente de la operación de los equipos, el acceso a un historial completo de datos de carguío y acarreo previo a la implementación del sistema puede ser limitado. Esto podría restringir la comparación entre periodos con y sin el uso de la herramienta.

1.6.2 Variabilidad operativa

Las operaciones mineras en la unidad minera del Sur del Perú presentan variaciones significativas en factores como distancias de acarreo, condiciones de mantenimiento de equipos y disponibilidad de operadores. Esta variabilidad puede influir en los resultados de productividad y dificultar la estandarización de las condiciones analizadas.

1.6.3 Duración del estudio

El tiempo de aplicación y análisis de los datos recolectados con el Sistema Control Sense se encuentra limitado a un periodo de un año, lo que podría no reflejar completamente el impacto a largo plazo de la herramienta tecnológica.

1.6.4 Factores externos

Condiciones climáticas adversas, fallas inesperadas en los equipos y cambios en los planes de producción pueden afectar el rendimiento del carguío y acarreo, y algunas de estas variables escapan al control del investigador.

1.6.5 Acceso a información técnica del software

La falta de acceso completo a especificaciones internas del Sistema Control Sense, debido a restricciones del proveedor, puede limitar la capacidad de profundizar en los aspectos tecnológicos y comparativos frente a otros sistemas similares.

A pesar de estas limitaciones, se espera que los resultados obtenidos proporcionen información confiable y aplicable para la toma de decisiones en torno a la optimización de las operaciones de carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú.

1.7 Viabilidad del estudio

La viabilidad de esta investigación está garantizada por diversos factores que aseguran su desarrollo y la utilidad de los resultados para la gestión minera en una unidad minera del Sur del Perú. Estos factores son:

1.7.1 Acceso a datos operativos y técnicos

La unidad minera del Sur del Perú, cuenta con registros operativos sobre el desempeño de equipos de carguío y acarreo. Estos datos permiten evaluar indicadores clave como disponibilidad, utilización, productividad y tiempos de parada.

1.7.2 Infraestructura tecnológica disponible

La empresa dispone de la infraestructura tecnológica necesaria para recolectar información en tiempo real de los equipos, lo que facilita la ejecución del estudio en condiciones operativas reales.

1.7.3 Apoyo técnico y logístico

El personal de operaciones y mantenimiento de la unidad minera del Sur del Perú tiene experiencia en el manejo del sistema y puede colaborar en la recopilación, interpretación y validación de los datos requeridos para la investigación.

1.7.4 Recursos financieros suficientes

Los gastos asociados al desarrollo del estudio serán cubiertos con recursos personales y con el apoyo institucional de la empresa, asegurando la disponibilidad económica para culminar el proyecto.

1.7.5 Experiencia previa en la aplicación del sistema

Existen antecedentes en otras unidades mineras del país donde el Sistema Control Sense ha sido aplicado exitosamente, lo que brinda un respaldo metodológico y reduce los riesgos asociados a la investigación.

En resumen, la combinación de acceso a datos relevantes, apoyo técnico de la empresa, disponibilidad de infraestructura tecnológica y antecedentes positivos en la aplicación del sistema hacen que este estudio sea plenamente viable. Además, sus resultados podrán contribuir directamente a la optimización de los procesos de carguío y acarreo en la unidad minera del Sur del Perú y a la reducción de costos operativos en el futuro.

1.8 Formulación de hipótesis

1.8.1 Hipótesis general

La aplicación del Sistema Control Sense influye positivamente en la optimización de los procesos de carguío y acarreo en la unidad minera del sur del Perú, 2024.

1.8.2 Hipótesis específicas

1. Las características técnicas del Sistema Control Sense influyen positivamente en la optimización de los procesos de carguío y acarreo, al permitir una mayor trazabilidad de datos, monitoreo en tiempo real y gestión eficiente de la flota minera.

2. El uso del sistema influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.

1.9 Variables (Independientes, dependientes)

1.9.1 Variable independiente

- Sistema Control Sense

  López (2024) afirma que el Sistema Control Sense emerge como una herramienta integral diseñada para potenciar el control y la supervisión de los equipos de campo, desempeñando un papel fundamental en la gestión eficiente de flotas de equipos de acarreo, carguío y auxiliares.

1.9.2 Variable dependiente

- Optimización del carguío y acarreo

  Romero (2021) la fase de carguío y transporte engloba la extracción y traslado del material previamente fragmentado desde el frente de trabajo. La optimización de este factor contribuye a maximizar la productividad, minimizando posibles tiempos muertos y asegurando una operación continua y fluida.

1.10 Operacionalización de variables (Indicadores y dimensiones)

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente: **Sistema Control Sense**	1. Características del sistema	1.1. Registro y monitoreo de tiempos de ciclo 1.2. Generación de reportes y dashboards operativos. 1.3. Registro de eventos y paradas de los equipos.	Nominal
	2. Uso del sistema	2.1. Porcentaje de uso del software por parte de Operaciones. 2.2. Cantidad de equipos monitoreados por el sistema 2.3. Frecuencia de consulta de reportes e indicadores.	

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Dependiente: **Optimización del carguío y acarreo**	Tiempo de paradas y reparaciones	Horas de paradas y reparaciones por mes de los equipos de carguío y acarreo.	Nominal
	Utilización de equipos	Porcentaje de utilización de los equipos de carguío y acarreo por mes .	
	Disponibilidad de equipos	Porcentaje de disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo por mes.	
	Producción	Producción total mensual de material movido (toneladas de mineral y desmonte) por equipo/flota.	
	Tiempo de ciclo de carguío y acarreo	Tiempo promedio de ciclo de carguío y acarreo por equipo (en horas o minutos).	

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del trabajo de investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En el ambito internacional consideramos importante señalar los siguientes estudios debido a que estan relacionados a las variables y tema de estudio:

Rojas y Zúñiga (2022) elaboraron la tesis titulada “Análisis de la actividad de carguío y transporte en minería artesanal en El Guayabo, Ecuador,” en la Universidad Central del Ecuador, Ecuador. El estudio tuvo como objetivo analizar la actividad de carguío y transporte minero en siete labores del sector de El Guayabo, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, con la finalidad de evidenciar las fallas principales que se presentan en esta tarea como parte del análisis de un ciclo minero.

La metodología utilizada fue de tipo explicativo y diseño experimental. Concluyó que las labores mineras analizadas en el sector de El Guayabo evidencian cuatro complicaciones técnicas principales. La consecuencia de estas complicaciones es que los trabajadores aumenten su esfuerzo físico y se prolongue el tiempo de trabajo, lo que genera un aumento de los riesgos laborales y un incremento de los costos de producción, lo cual contrasta con la recuperación económica buscada. Como resultado del análisis de la tarea de carguío y transporte, se propuso mejorar el diseño con respecto a las cuatro complicaciones técnicas identificadas.

Lira (2022), en su estudio “Implementación de software de planificación minera para aumentar espectro de alternativas de planes de corto plazo,” tuvo como fin diseñar una estrategia y plan de implementación de una herramienta tecnológica (software), de fácil uso y rápida respuesta, que permita generar un espectro de alternativas, para seleccionar la mejor opción de extracción en el plan de corto plazo. Su metodología fue experimental, basándose en el análisis de requerimientos técnicos y evaluación técnica, evaluación de riesgos y otros procesos. Concluyó que la clara definición de criterios de selección de software y proveedor para la elección del software, permiten asegurar un soporte estable a través del proceso de implementación, lo cual en el caso de este estudio culmino de forma exitosa. Las nuevas tecnologías permiten predecir y simular escenarios bajo diferentes cambios de condiciones de forma rápida y simple, permitiendo tomar la mejor decisión, estableciendo planes alternativos, aumentando el espectro de alternativas.”

Bahamontes (2021), en su estudio “Simulación del sistema de carguío y transporte de la Mina Rajo Sur, división el teniente,” tuvo como fin desarrollar un modelo simulatorio del sistema de carguío y transporte de la Mina Rajo Sur para identificar el impacto de la disponibilidad de equipos. Su metodología fue experimental, explicativo. Concluyó que los resultados de las simulaciones muestran para disponibilidades de equipos menores a 78,8%, aumentar la disponibilidad en 1% aumenta la alimentación a planta y movimiento total en 160 y 320 tpd, respectivamente. Mientras que para disponibilidades mayores o iguales a 78,8%, aumentar la disponibilidad en 1% aumenta la alimentación a planta y movimiento total en 100 y 200 tpd, respectivamente.”

Mirzaei-Nasirabad, Mohtasham, Askari-Nasab & Alizadeh (2023), en “An optimization model for the real-time truck dispatching problem in open-pit mining operations”, describen un modelo de despacho en tiempo real aplicado a sistemas camión-palas, utilizando un enfoque de despacho en dos etapas (planeación de asignaciones + asignación dinámica) combinado con simulación discreta y métodos

heurísticos. Concluyen que su modelo logra reducir los tiempos de espera de camiones y las desviaciones frente al plan de producción, mejorando la utilización del equipo.

Xiaowei Wang, et al. (2023), publicaron el articulo científico *"Real-time truck* dispatching in open-pit mines", describen un modelo de despacho en tiempo real para camiones de acarreo y camiones vacíos en minas a cielo abierto, utilizando programación multiobjetivo y simulación para considerar distintos criterios de despacho. Concluyen que su modelo logra un incremento mínimo del 14 % en la producción y una disminución de al menos 6 % en costos de transporte al optimizar tiempos de espera, rutas y costos operativos. Este estudio es relevante para nuestra investigación porque ilustra cómo un sistema inteligente de despacho en tiempo real, aplicado a flotas de transporte minero, puede mejorar la eficiencia operativa—un principio alineado con los objetivos del Sistema Control Sense para optimizar carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Carranza (2021), en su estudio "Implementación del Software control Sense para incrementar la eficiencia en el carguío y acarreo de la Compañía Minera Milpo S.A.A.," tuvo como fin evaluar la eficiencia operacional de equipos de carguío y acarreo aplicando el software Control Sense en la mina Milpo. Su metodología fue aplicada, cuantitativa y experimental. Concluyó que con la implementación del sistema Control Sense, incrementa la productividad en el carguío y acarreo que va desde 211 toneladas de material movido a 2005 toneladas. En la evaluación de la eficiencia operacional se determinó que el OEE de la excavadora CAT374 se incrementó en 42%, de la excavadora CAT390 se incrementó 28%, de los volquetes SCANIA460 se incrementó 35% y de los volquetes SCANIA460HT se incrementó 31%; todos los equipos se encuentran en una clasificación aceptable."

Azañero y Guerrero (2021), en su estudio “Implementación del sistema controlsense para mejorar la productividad en el proceso de carguío y acarreo en Minera Gold Fields, Cajamarca, 2020,” tuvo como fin implementar el sistema Control Sense para mejorar la productividad en el proceso de carguío y acarreo en minera Gold Fields, Cajamarca, 2020. Su metodología fue aplicada, explicativa, cuantitativa y experimental, se utilizaron los métodos diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto y la metodología PHVA, los instrumentos utilizados fueron la entrevista y la ficha resumen. Concluyó que se vio una mejora en la productividad del proceso de carguío y acarreo en el incremento de los indicadores de la productividad instantánea para CAT 374 se incrementó 352,20 t/hora, para CAT390 es 284; la productividad operativa para CAT 374 se incrementó 42,38 y para CAT390 se incrementó 32,59; la productividad efectiva para CAT374 se incrementó 49,25 y para CAT390 54,75; el Hang para CAT374 y CAT390 se redujo 2,63%; el uso para CAT 390 se incrementó 0,95% y para CAT390 es 2.64%; el indicador UoA para CAT390 se incrementó 3,61% y para CAT374 se incrementó 6,49%; la utilización para CAT390 se incrementó 2,73% y para CAT374 se incrementó 6,17%; en cuanto a los indicadores de acarreo el queue para la flota de acarreo se redujo 6,87%, el uso para scania460 se redujo 0,08% y para Scania 460HT se redujo 1.34%; UoA para Scania 460 se incrementó 0,82% y para Scania 460HT se incrementó 13,31%; la utilización para Scania 460 se redujo 9,94%, y para Scania 460HT se incrementó 14,14%; la productividad de acarreo de Scania 460 se incrementó 2,56 t/h y para Scania 460HT se incrementó 5,05 t/h.

Choque (2020), en su estudio “Implementación de software minero CONTROL SENSE en sistema de carguío y acarreo para mejorar el control operacional en Mina Constancia,” tuvo como fin Incrementar la productividad a través del control operacional en tiempo real del sistema de carguío y acarreo del Proyecto Minero Constancia. Su metodología según su carácter fue cuantitativa, por su finalidad fue aplicada y de diseño experimental. Concluyó que el software

CONTROL SENSE proporciona las técnicas para controlar los procesos unitarios de carguío y transporte en base al planeamiento de las operaciones, productividad y producción, realizando estudios de control y planificación.”

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema Control Sense

2.2.1.1. ¿Qué es el sistema de Control Sense?

López (2024) afirma que el Sistema Control Sense emerge como una herramienta integral diseñada para potenciar el control y la supervisión de los equipos de campo, desempeñando un papel fundamental en la gestión eficiente de flotas de equipos de acarreo, carguío y auxiliares. Esta solución encuentra aplicación recurrente en la industria minera, donde la movilización de tierras es una operación esencial.

Este avanzado sistema tiene la versatilidad de operar en diversos entornos informáticos, ya sea en ordenadores con plataformas Windows, Mac OS o Linux, o en cualquier otro sistema operativo disponible. Aprovechando la tecnología WEB, garantiza un acceso rápido a los parámetros operativos críticos, destacándose por estar desarrollado en el robusto lenguaje de programación JAVA. Además, utiliza el eficiente gestor de bases de datos POSTGRESQL.

Entre sus características distintivas, el Sistema Control Sense posibilita la visualización detallada de la trayectoria de los equipos de campo, permitiendo un seguimiento preciso de sus desplazamientos. Asimismo, ofrece la capacidad de monitorizar la velocidad de dichos equipos, proporcionando datos en tiempo real para optimizar la toma de decisiones.

Un aspecto clave de esta plataforma es su capacidad para mostrar en tiempo real los estados de las actividades, la producción y la productividad de los equipos, ya sean vehículos o maquinaria. Esta funcionalidad resulta esencial para evaluar el rendimiento operativo y tomar medidas correctivas o preventivas según sea necesario.

El Sistema Control Sense no solo se presenta como una herramienta de control, sino como un aliado estratégico que contribuye a maximizar la eficiencia operativa en entornos mineros, proporcionando información detallada y accesible para una gestión óptima de los recursos.

Para Gómez (2017) el sistema Sense tiene una excelente experiencia en el uso de los principales administradores de sistema de flota como en los operadores de minas y gerentes. Esto ha permitido construir mejores prácticas para dar soluciones eficientes a la industria minera. La filosofía empleada es la de mantener y mejorar diferentes procesos mineros que utilizan variables críticas, los cambios operativos, información y tecnología. El objetivo es optimizar las principales condiciones de la mina.

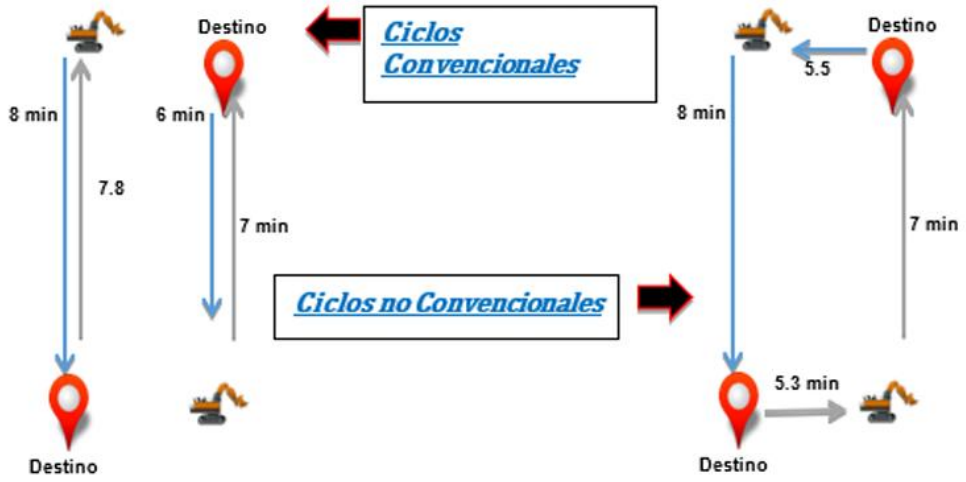
2.2.1.2. Importancia del Control Sense

Cardona (2022), en su estudio "La optimización y el aumento de productividad de las flotas mediante el análisis de datos", sostiene que los sistemas modernos de gestión de flotas constituyen un pilar estratégico en la industria minera, ya que permiten aprovechar indicadores críticos de desempeño y evaluar el uso de los recursos en distintos niveles de supervisión. Concluye que la implementación de estas herramientas asegura un mejor aprovechamiento de la disponibilidad de los equipos y fomenta la eficiencia en el proceso productivo. Este planteamiento es relevante para nuestra investigación porque resalta cómo sistemas como Control Sense impactan directamente en la eficiencia operativa.

De acuerdo con el Manual de Usuario de Control Sense (2020), este sistema incorpora funcionalidades como la gestión de tiempos de ciclo, restricciones de operación, registro de mantenimientos y control de tonelaje por polígono. Estas capacidades permiten que las empresas mineras tomen decisiones correctivas inmediatas y mantengan un seguimiento constante de la productividad de cada equipo

Figura 1

Ciclo Convencional y no convencional del carguío y acarreo



Nota: Manual de usuario de Control Sense Desktop (2020)

2.2.1.3. Control de estados de los equipos de campo.

Según López (2024), los equipos involucrados en las operaciones de campo pueden transitar por distintos estados, y dicha variabilidad está directamente relacionada con el progreso de las tareas llevadas a cabo en el ámbito operativo.

En el marco del Sistema Control Sense, se han identificado y definido 4 estados que permiten una visualización precisa y detallada de las actividades desempeñadas por los equipos en campo.

A continuación, se proporciona un desglose detallado de cada uno de estos estados, ofreciendo así una comprensión más amplia y clara de la dinámica operativa que caracteriza a los equipos en su desempeño diario.

Indicadores:

a) Ready: En el estado actual, se evidencia que el equipo se encuentra ejecutando una tarea asignada por el centro de control. Dentro de esta categoría, se pueden observar todos los cambios de actividad que los equipos de acarreo y carguío pueden experimentar. Además, es importante destacar que, si se requiere un cambio de operador en el equipo de carguío, este deberá llevarse a cabo necesariamente en un estado diferente (López, 2024).
b) Delay: Este estado indica una dilación, retraso o demora operativa, la cual puede tener diversas causas. En otras palabras, los equipos se encuentran con el motor en funcionamiento, pero sin llevar a cabo ninguna actividad, debido a demoras habituales en la operación (López, 2024).
c) Standby: En este estado sucede algo similar al estado "Delay", ya que la demora es de carácter operativo. La diferencia radica en que el equipo se encuentra con el motor apagado, debido a una demora no relacionada directamente al ciclo regular de la operación. (Manual control sense)
d) Maint: Este estado señala que el equipo está actualmente bajo proceso de mantenimiento, es decir, está siendo atendido por técnicos de mantenimiento o se encuentra en el área destinada para dicho propósito (López, 2024).
e) Outofplan: En este estado, el equipo no se considera para la optimización y ejecución de tareas operativas debido a diversas razones, como un camión nuevo en proceso de ensamblaje o desarmado, que no puede ser incluido en el plan operativo. Este estado indica que el equipo se aparta de los estándares operativos habituales y generalmente no está contemplado en el plan de operaciones (López, 2024).

2.2.1.4. Características del sistema.

Se caracteriza por su avanzado algoritmo inteligente diseñado para hacer frente a situaciones mineras complicadas. Este sistema lógico innovador se compone de 6 variables filosóficas y ofrece una opción de optimización basada en el precio, lo que le confiere una versatilidad única en el sector.

En términos de gestión estratégica, el sistema se adhiere al concepto operativo Managment, que sigue la secuencia Planificar - Hacer - Verificar - Actuar. Este enfoque estratégico asegura una toma de decisiones efectiva y eficiente en todas las fases de la operación minera (U Cursos, 2021).

Indicadores:

a) Control del % disponibilidad: La disponibilidad es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente realice la función prevista cuando sea requerido. Se expresa en porcentaje y tiene en cuenta tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del sistema (Rosales, 2023).

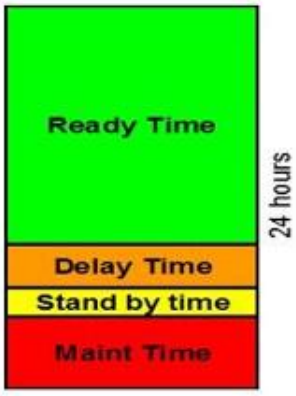
   Disponibilidad estándar = (TT – MT) / TT

   Donde: TT = Tiempo total. MT = Tiempo de mantenimiento. TT = Tiempo total.

b) Control del % de utilización de equipos: Una de las fortalezas notables del sistema es su capacidad para realizar un ciclo detallado de información de actividad, brindando una visión completa de los procesos mineros. La tecnología web integrada facilita un acceso rápido a los parámetros operativos críticos, asegurando una respuesta ágil a cualquier cambio en las condiciones de la operación (Gerens, 2020).

Figura 02

Formula para conseguir el % de utilización por equipo



$$TT = RT + DT + SbT + MT = 24hr$$

$$Av = \frac{RT + DT + SbT}{TT} = \frac{RT + DT + SbT}{RT + DT + SbT + MT}$$

$$UoA = \frac{RT + DT}{RT + DT + SbT}$$

$$Use = \frac{RT}{RT + DT}$$

$$Usg = \frac{RT}{RT + DT + SbT}$$

$$Utz = \frac{RT}{TT} = \frac{RT}{RT + DT + SbT + MT}$$

Tiempo de Motivos

c) Control de Flota: Se especializa en la optimización de flotas y la mejora de la usabilidad, proporcionando una interfaz intuitiva y funcional para sus usuarios. Además, hace uso de indicadores de desempeño críticos en todos los niveles de supervisión, permitiendo una evaluación exhaustiva del rendimiento operativo (Cardona, 2022).

2.2.1.5. Uso del sistema.

Medir el uso del sistema es esencial, ya que esta acción no solo posibilita la medición de su uso, sino que también brinda la oportunidad de analizar en profundidad su eficacia. La capacidad de medir y evaluar el rendimiento del sistema no solo proporciona información cuantitativa sobre su utilización, sino que también arroja luz sobre su impacto real y su eficacia en cumplir con los objetivos establecidos (Choque, 2020).

Indicadores:

a) Porcentaje de uso del software: Se refiere a la proporción del tiempo durante el cual el sistema Control Sense está activo y en funcionamiento en comparación con el tiempo total disponible. Puede expresarse como un porcentaje y se

calcula dividiendo el tiempo en que el software está en uso entre el tiempo total disponible. Un alto porcentaje de uso podría indicar una utilización intensiva y efectiva del software (Choque, 2020).

b) Cantidad de equipos monitoreados: Se refiere al número total de dispositivos o equipos que están siendo supervisados y gestionados por el sistema Control Sense. Puede expresarse como una cifra absoluta y proporciona información sobre la escala del despliegue del software. Un aumento en la cantidad de equipos monitoreados podría indicar una expansión en el alcance de aplicación del software o una mayor adopción por parte de los usuarios (Choque, 2020).

2.2.2 Optimización del carguío y acarreo

Romero (2021) la fase de carguío y transporte engloba la extracción y traslado del material previamente fragmentado desde el frente de trabajo. Este material puede variar, incluyendo minerales destinados al tratamiento en la planta, minerales de baja ley almacenados temporalmente para futuros procesos, lastre removido para acceder al mineral durante desarrollos, y en algunos casos, el propio material como producto comercial, como carbón, fosfatos o minerales industriales.

La planificación y ejecución del carguío y transporte en la minería están intrínsecamente ligados al requerimiento de producción establecido por el plan minero, expresado en toneladas por año. La variedad de equipos y las diversas secuencias de operación disponibles permiten satisfacer de manera eficiente dicho requerimiento (Paucar et al., 2019).

La capacidad de los equipos juega un papel crucial, ya que influye directamente en la eficiencia del proceso de carguío y transporte. Equipos con mayor capacidad pueden manejar volúmenes mayores de material, agilizando así la consecución de los objetivos de producción. Por otro lado, el tiempo requerido para completar un ciclo de operación también es un elemento determinante.

La optimización de este factor contribuye a maximizar la productividad, minimizando posibles tiempos muertos y asegurando una operación continua y fluida. La combinación adecuada de equipos y la implementación de secuencias de operación eficientes no solo garantizan el cumplimiento de los objetivos de producción, sino que también permiten una gestión más efectiva de los recursos disponibles.

2.2.3 Caracterización de equipos

La clasificación de equipos se basa en la función que cumplen, dividiéndolos en equipos de carguío, equipos de transporte y equipos mixtos. Los equipos de carguío se encargan principalmente de cargar el material desde la zona de trabajo hacia un equipo de transporte, que luego traslada el material a su destino, ya sea una planta, botadero o almacén. En algunos casos, como en la minería de carbón con dragadoras, estos equipos de carguío pueden depositar directamente el material removido en un lugar específico, utilizando la sobrecarga para construir la superficie futura (U Cursos, 2021).

Indicadores:

a) Tamaño de la flota: Se refiere a la cantidad y variedad de vehículos utilizados para transportar material desde la zona de extracción hasta el área de procesamiento. Este aspecto es crucial en la gestión eficiente de la cadena de producción minera, ya que el tamaño adecuado de la flota puede influir significativamente en la productividad, eficiencia y rentabilidad de las operaciones.

   Para definir el tamaño de la flota de manera más específica, se deben tener en cuenta factores como la capacidad de carga de los vehículos, la distancia a recorrer, la velocidad de desplazamiento, la capacidad de carga de

la excavadora o cargadora, y otros parámetros relacionados con el proceso de transporte y carga (Cardona, 2022).

b) Productividad de los equipos: Los equipos de transporte desempeñan una función fundamental al movilizar el material extraído por el equipo de carguío hacia un punto de destino predefinido por el plan minero. Su papel es esencial para mantener la eficiencia y la continuidad en las operaciones mineras.

   Entender y calcular estos tiempos es esencial para evaluar la eficiencia y la productividad de los equipos en las diversas etapas de las operaciones unitarias. La capacidad de un equipo para estar operativo durante el tiempo disponible determina directamente su rendimiento y contribuye significativamente a la optimización de los procesos productivos (U Cursos, 2021).

c) Tiempo de paradas y reparaciones: Esta referido al tiempo medio de reparación o recuperación (MTR o MTTR) es una métrica crucial para evaluar la eficacia del mantenimiento en un entorno industrial. La disponibilidad del equipo para realizar sus funciones afecta directamente la productividad de una planta, y el tiempo de inactividad debido a fallas contribuye negativamente a esta disponibilidad. Al adoptar una mentalidad basada en datos y mejorar proactivamente el MTR, los procesos de fabricación pueden reducir las pérdidas de disponibilidad debido a reparaciones, acelerando la recuperación de equipos tras fallas. Minimizar los valores de MTR es esencial para maximizar la productividad de la planta.

2.2.4 Medición de operaciones

Se refiere al proceso de evaluar y cuantificar diversas actividades o procesos dentro de una operación o empresa. En el contexto de la industria o la logística, la medición de operaciones implica analizar el rendimiento y la eficiencia de las tareas

específicas que se llevan a cabo, con el objetivo de mejorar los procesos, optimizar los recursos y aumentar la productividad.

Indicadores:

a) Tiempo de carguío y acarreo: Existen diversos conceptos de desglose de tiempo que resultan fundamentales al momento de calcular las productividades de los equipos en las distintas operaciones unitarias. Estos conceptos incluyen:
   - ✓ Tiempo Nominal: se refiere a la duración total considerada durante el periodo de producción. En un turno, por ejemplo, el tiempo nominal equivaldría a la extensión de dicho turno, que típicamente puede ser de 8 o 12 horas, dependiendo de la organización y sus prácticas laborales.
   - ✓ Tiempo Disponible: representa la fracción del tiempo nominal en el cual el equipo se encuentra disponible para su operación. En otras palabras, se deduce del tiempo nominal cualquier periodo en el que el equipo esté sometido a labores de mantenimiento y reparación.
   - ✓ Tiempo de reserva: corresponde al tiempo en que el equipo, estando en condiciones de realizar la labor productiva, no es utilizado, ya sea porque no hay un operador disponible, o bien, simplemente porque no se ha considerado su operación en los programas de producción para el período actual (U Cursos, 2021).

b) Ciclo de carguío y acarreo: Este indicador hace referencia al tiempo total que lleva cargar los materiales y transportarlos desde un punto a otro. Puede incluir el tiempo empleado en la carga de equipos, la distancia recorrida durante el acarreo, y otros factores relevantes para estas operaciones (Romero, 2021).

c) Cantidad de equipos para el carguío y acarreo: Este indicador se refiere al número de equipos utilizados para llevar a cabo las actividades de carguío y acarreo. Puede incluir maquinaria como cargadores, camiones, o cualquier otro equipo relacionado con estas tareas (Romero, 2021).

d) Productividad de Acarreo: Este indicador mide la eficiencia y la cantidad de material que se puede transportar en un período de tiempo específico. Puede expresarse en términos de toneladas por hora o cualquier otra unidad relevante para la operación (Sydle, 2023).
e) Productividad operativa de Carguío: Este indicador evalúa la eficiencia en el proceso de carga de materiales. Puede medirse en términos de la cantidad de material cargado por unidad de tiempo, como toneladas por hora, o cualquier otra métrica que sea pertinente para la operación (Sydle, 2023).

2.3 Definiciones conceptuales

2.3.1 Producción

Volumen o peso total de material que debe manejarse en una operación específica. Puede referirse tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para acceder al primero. A menudo, la producción de mineral se define en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen.

2.3.2 Productividad

La producción real por unidad de tiempo, cuando todas las consideraciones de eficiencia y administración han sido consideradas. También puede llamarse tasa neta de producción, o tasa de producción por unidad de trabajo y tiempo (por ejemplo, toneladas/hombre turno).

2.3.3 Disponibilidad

Según Ilunga Yano Yannick (2018), la disponibilidad de un equipo se define\como “la fracción del tiempo programado de operación en la cual dicho equipo está mecánicamente preparado para trabajar” y se puede expresar como

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo en que el equipo está listo para operar}}{\text{Tiempo de operación programado}}$$

Yannick explica que esta métrica es clave en la minería para diferenciar los tiempos de no producción atribuibles a averías, mantenimientos planificados o tiempos de espera.

2.3.4 Utilización

De acuerdo con el mismo autor, la utilización es “la fracción del tiempo disponible que el equipo realmente está trabajando” (Yannick, 2018). Se puede formalizar como:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempo real de operación}}{\text{Tiempo disponible del equipo}}$$

Yannick hace énfasis en que, en minería, no basta con que un equipo esté listo; debe estar efectivamente en operación para que la utilización sea alta.

2.3.5 Ciclo

Al igual como la explotación de minas se describe generalmente como un ciclo de operaciones unitarias, cada operación unitaria tiene también una naturaleza cíclica.

2.3.6 Restricciones de operación

Parámetros configurados en el sistema que limitan la asignación de equipos a ciertas actividades, como restringir un camión para que no vaya a un carguío específico, o bloquear la descarga en un determinado punto. Estas restricciones aseguran un mejor control de la operación y reducen errores de asignación

2.3.7 Centro de control

Aplicación principal del sistema que centraliza el monitoreo y la gestión de las operaciones de carguío y acarreo. Permite asignar, reasignar y optimizar los recursos, crear rutas, supervisar en tiempo real y aplicar medidas correctivas para incrementar la productividad

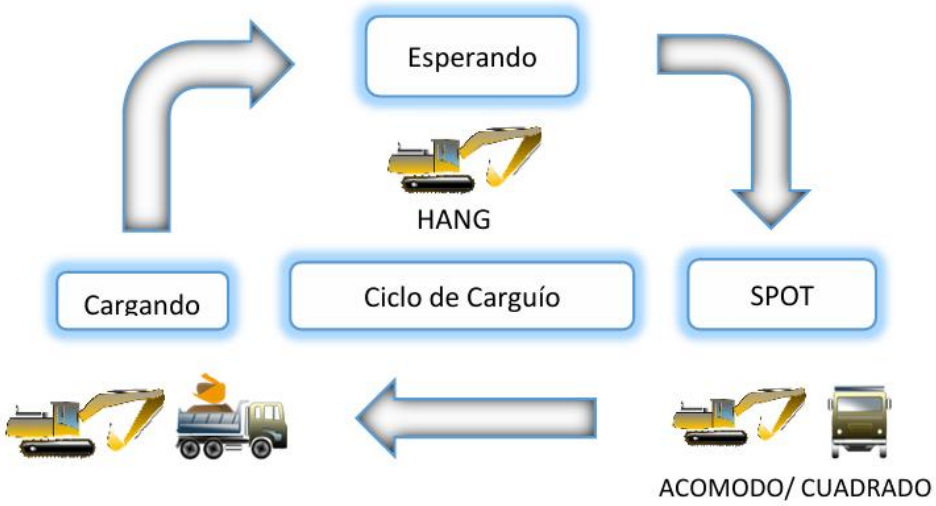
2.4 Equipos

2.4.1 Equipos de carguío

Los equipos de carguío son los que extraen el material de una determinada zona y lo colocan en un equipo de acarreo. Las actividades del ciclo de carguío son las siguientes:

Figura 03

Ciclo de actividades de carguío



Nota: Manual de usuario de Control Sense Desktop (2020)

2.4.1.1. Esperando

Esta es la actividad inicial del equipo de carguío y nos indica que el equipo de carguío se encuentra a la espera de un equipo de acarreo que sea asignado a su locación para ser cargado, y no posee ningún camión en “Espera”, “Cuadrando” o “Cuadrado”.

2.4.1.2. Spot

Esta es la actividad inicial que indica que el equipo de carguío se encuentra a la espera del equipo de acarreo, que sea asignado a su locación para ser cargado; en esta actividad la pala posee por lo menos un camión en alguna de las siguientes actividades: “Espera”, “Cuadrando”, o “Cuadrado”.

2.4.1.3. Cargando

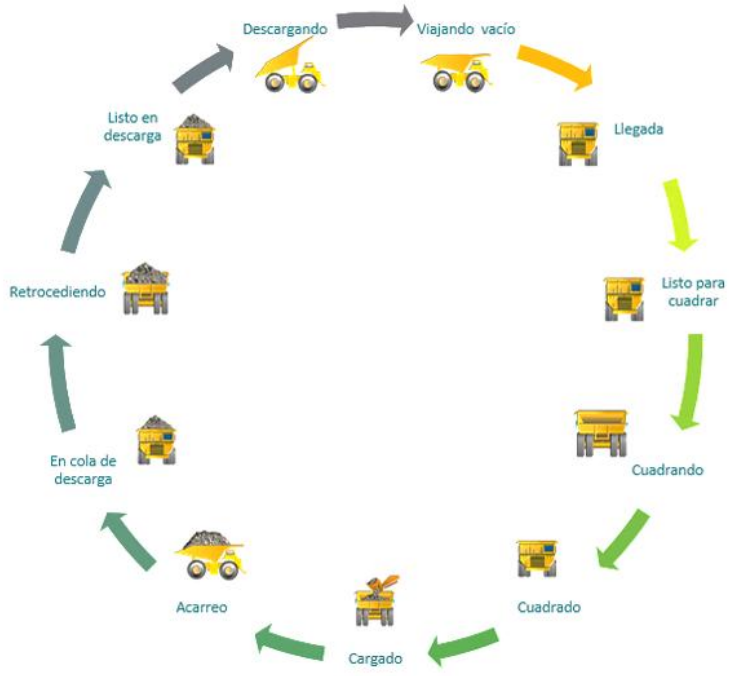
En esta actividad el equipo de carguío se encuentra realizando la carga al equipo de acarreo que fue asignado a su locación. El inicio de esta actividad se realizará, siempre y cuando la pala cumpla con los parámetros antes mencionados.

2.4.2 Equipos de acarreo

Todos aquellos equipos que se encargan del transporte del material extraído. Las actividades de los equipos de acarreo en el ciclo son las siguientes:

Figura 04

Ciclo de actividades de Acarreo



Nota: Manual de usuario de Control Sense Desktop (2020)

Los cambios de actividad durante un ciclo se dan teniendo en cuenta ciertos criterios, descritos en adelante.

2.4.2.1. Esperando o llegada

En esta actividad, el camión está esperando en un equipo de carguío, esta actividad comienza cuando está dentro del radio de la ubicación de la carga, a una velocidad de 0 km / h, o está dentro de un radio de 30 metros a un camión que espera y con una velocidad de 0 km / h

2.4.2.2. Listo para cuadrar

Se da en el escenario en el que el camión ha estado esperando para cuadrarse, sin embargo, por algún motivo no ha podido iniciar dicha actividad, esto se da cuando de la zona de carguío está saliendo algún otro equipo de acarreo o cuando la pala está acomodando su frente.

2.4.2.3. Cuadrando

Después de la actividad "En espera", corresponde la actividad "Cuadrando". Esta actividad comienza cuando el camión está dentro de una locación de carga y el camión está en reversa.

2.4.2.4. Cuadrado

Esta actividad comienza después de la actividad de cuadrando, cuando el camión alcanza una velocidad igual a 0 km/h, es decir, el equipo está ubicado en la locación de la pala, con una velocidad equivalente a 0 km/h y su velocidad es neutral.

2.4.2.5. Cargando

El camión está recibiendo material en la pala asignada por Control Sense. Para que este cambio de actividad comience, el equipo debe estar dentro de la ubicación de la pala y el cucharón de carga debe contener un peso diferencial mayor o igual al 10 por ciento de la carga útil nominal.

2.4.2.6. Acarreo

Después de haber terminado de cargar el material en el equipo de transporte, la actividad cambiará automáticamente de "Cargando" a la actividad "Acarreo". Esta actividad comienza cuando el camión está a una distancia mayor o igual al radio de la ubicación y en una marcha que no sea neutral, tomando como referencia el centro de la ubicación de carga asignada por el controlador. Cuando el Centro de control asigna una ubicación de carga y una ubicación como punto de descarga, el optimizador puede establecer automáticamente una ruta, que puede ser confirmada por el controlador y servirá como la ruta que seguirá el equipo de transporte desde la ubicación de carga hasta la descarga zona.

2.4.2.7. En cola de descarga

Esta actividad se activa cuando el equipo está entrando en el área de descarga y hay otros equipos esperando ser descargados en la misma área. Para comenzar esta actividad, el camión debe estar dentro del radio o polígono del área de descarga, o dentro del radio de 20 metros del último camión en línea de retroceso o descarga en el área asignada para este fin, con una velocidad de 0 km/h. Es posible que el camión se encuentre en un área de descarga y no haya otros equipos que retrocedan o descarguen, en este caso, la actividad se llevará a cabo junto con la siguiente que corresponde a "Retroceso".

2.4.2.8. Retrocediendo

Esta actividad se activará una vez que el área pueda recibir el volcado de material, ya que el equipo está dentro del polígono o el radio del área de descarga y su marcha es inversa. • Listo para descargar Esta actividad se activará una vez que el área sea adecuada para recibir el volcado de material, estando el equipo dentro del polígono o el radio del área de descarga y con una velocidad de 0 km/h.

2.4.2.9. Descargando

Una vez que el equipo de acarreo ha sido estacionado, el material se descargará, y es entonces cuando el sistema notificará la actividad de "descarga" actual, que es cuando el camión levanta el cucharón para descargar el material.

2.4.2.10. Viajando vacío

Esta es la última actividad realizada por el camión. La actividad actual consiste en que, una vez que el material se haya descargado en el vertedero, el equipo de transporte deberá viajar nuevamente a la ubicación de la pala inicialmente asignada; Para activar esta actividad, el camión debe colocar el balancín debajo y una velocidad diferente a 0 km/h

2.4.3 Equipos auxiliares

Son aquellos equipos que intervienen en la actividad minera de alguna forma entre estos tenemos perforadoras, tractor, tractor de ruedas

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Planteamiento metodológico (tipo, nivel y diseño de investigación)

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es **básica**.

La investigación **básica** se centra en la adquisición de conocimientos teóricos y conceptuales sin una aplicación práctica inmediata en mente. Su objetivo principal es comprender fenómenos y principios fundamentales. (Alvarez, 2020)

3.1.2 Nivel de investigación

El estudio se desarrollará con un nivel **descriptivo**

La investigación descriptiva tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes (Guevara et al., 2020).

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental.

La investigación cuasi **experimental** se distingue por la manipulación deliberada de la variable independiente y el análisis de su efecto en una variable dependiente (Ramos, 2021).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que comparten una característica común y que son el objeto de estudio en una investigación (UNIR, 2023).

El universo poblacional de esta investigación está compuesto por todas las áreas operativas en una unidad minera del Sur del Perú. Esto incluye el uso del sistema de control Sense en diversos departamentos, tales como Planeamiento, Costos y Productividad, Seguridad y Control de Pérdidas, Operaciones Mina, Mantenimiento, y una parte del sistema de control gerencial, abarcando las áreas directamente involucradas en la gestión y supervisión de los procesos operativos.

3.2.2 Muestra

Una muestra es un subconjunto representativo de la población total que se selecciona con el propósito de realizar un estudio o una investigación. El objetivo de tomar una muestra es hacer inferencias sobre la población más grande sin tener que examinar a todos los individuos en esa población, lo que sería costoso y a menudo imposible. (Torres et al., s.f.)

Para el presente estudio, se empleó un muestreo por conveniencia, considerando analizarse la totalidad de equipos mencionados en la población en el área de Operaciones Mina en una unidad minera del Sur del Perú.

Para la presente investigación, el muestreo estará conformado por los registros de datos de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 3

Determinación del muestreo de registros de estudio:

Registros de:	Cantidad de registros
Registro de tiempo de ciclo de carguío y acarreo por mes (h)	12
Registro de tiempo de paradas y reparaciones (h)	12
Registros de porcentaje de utilización de equipos carguío por mes (%)	12
Registros de porcentaje de disponibilidad de equipos carguío por mes (%)	12
Registro de producción total por mes (t)	12

3.3 Equipos y Materiales

Tabla 4

Equipos y materiales usados para la tesis:

Categorías	**Recursos**	**Unidad**	**Importe Total**
Bienes	Papel bond	1 paquete	s/ 14, 00
	Útiles de escritorio	10 unidades	s/ 35, 00
	Libros	4 unidades	s/ 40, 00
	Revistas	2 unidades	s/ 30, 00
	Periódicos	2 unidades	s/ 2, 00
	Impresora	1 unidad	s/ -------
	Computadora	1 unidad	s/ -------
	Celular	1 unidad	s/ -------
	Accesorios de computadora	2 unidades	s/ -------

3.4 Procedimiento de las pruebas experimentales

Tabla 5

Cronograma de pruebas experimentales:

Descripción de las actividades del proyecto	Mes															
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	Semanas															
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Identificación del problema a investigar.																
Consulta a asesores.																
Consultas bibliográficas.																
Redacción del Capítulo I.																
Redacción del Capítulo II.																
Redacción del capítulo III.																
Redacción del capítulo IV.																
Revisión del asesor.																
Aplicación de instrumentos																
Aplicación de tratamiento estadístico para validar hipótesis.																
Preparación de las discusiones.																
Redacción del informe final																

3.5 Técnicas de recolección de datos

3.5.1 Investigación Documental

Análisis Documental del sistema Control Sense en base a fuentes secundarias, tal como estudios previos, libros, boletines, revistas, folletos, y otros para recolectar datos sobre las variables de interés.

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

La recolección de información se efectuará mediante observación directa, utilizando como fuentes de registro el libro de operaciones de mina y la base de datos del sistema Control Sense, se remiten los informes diarios de datos.

Figura 05:

Formato instrumental para la recolección de tonelaje movido por equipo, y tiempo de ciclo

Fecha	Fecha Arreglado	FASE	Turno	Pala	Flota Pala	NroReg Operador Pala	Operador Pala	Volquete	Flota Volquete	NroReg Operador Volquet	Operador Volquete	Ton. Nominal	Material Oficial	Destino	Factor Carga	Ton Pesometro	Ton. Dispatch	Ton. Ajustado	DIA INICIO DE CICLO	HORA INICIO DE CICLO

Figura 06:

Formato instrumental para la recolección de paradas de equipos por fallas y/o paradas

MODELO	Equipo	Flota	Periodo	FECHA	MES	Turno	H. Ini	H.Evento (min)	Tiempo (min)	TIEMPO Horas	Categoria	Estado	Comentario

3.5.3 Trabajos de campo

Se realizará la organización y sistematización de la información obtenida respecto a los procesos operativos de las maquinarias analizadas, con el fin de establecer el tiempo de ciclo correspondiente. Asimismo, se llevará a cabo el examen e interpretación de los resultados, vinculándolos con los diferentes apartados del estudio, en especial con los objetivos planteados y la hipótesis de investigación.

3.6 Técnicas para el procesamiento de datos

1) Identificación de Fuentes: Se identificarán y recopilarán fuentes secundarias relevantes que contengan información sobre el Sistema Control Sense y su impacto en la optimización del carguío y acarreo en entornos mineros.
2) Análisis Documental: Se llevará a cabo un análisis detallado de la información recolectada, extrayendo datos específicos relacionados con las variables de interés.

3) Diseño de la Ficha de Análisis: Se elaborará una ficha de análisis detallada que abarque tanto los aspectos del carguío y acarreo como los parámetros de producción, con el fin de estandarizar la recopilación de datos por mes
4) Aplicación de la Ficha: La ficha de análisis creada se aplicará a los equipos seleccionados, registrando información pertinente durante un periodo específico.
5) Análisis Cuantitativo: Los datos recolectados se someterán a un análisis cuantitativo utilizando métodos estadísticos apropiados para evaluar la influencia del Sistema Control Sense en la optimización del carguío y acarreo en este caso EXCEL y POWER BI
6) Consideraciones Éticas: Se garantizará la confidencialidad de la información recolectada, respetando la privacidad de los participantes y cumpliendo con los estándares éticos de investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Descripción de las pruebas experimentales

Las pruebas experimentales se realizaron en una unidad minera del Sur del Perú con el objetivo de evaluar el desempeño del Sistema Control Sense en las operaciones de carguío y acarreo. Para ello, se recopiló información operativa directamente de los equipos monitoreados mediante el sistema, complementada con registros del área de Operaciones Mina.

Durante el desarrollo de las pruebas se emplearon dashboards de análisis y reportes generados por el sistema, los cuales permitieron obtener datos sobre tiempos de ciclo, disponibilidad, utilización, productividad y paradas de mantenimiento. Estos indicadores fueron procesados y comparados con los resultados históricos previos a la implementación del sistema, con el propósito de identificar las mejoras en la eficiencia operativa.

El procedimiento incluyó:

1. Revisión y validación de la información obtenida desde la base de datos del Control Sense.
2. Registro de los tiempos de carguío, acarreo y descarga de los equipos seleccionados.
3. Cálculo de los porcentajes de utilización, disponibilidad y productividad.
4. Presentación y análisis de los resultados

5. Análisis comparativo de los resultados con los objetivos establecidos en la investigación.

Los datos recolectados fueron posteriormente tabulados y analizados estadísticamente para determinar el grado de influencia del Sistema Control Sense en la optimización del proceso de carguío y acarreo.

4.2 Registro de los tiempos de fallas, reparaciones, utilización, disponibilidad y productividad de los equipos con el Sistema Control Sense

4.2.1 En equipos de carguío

4.2.1.1. Tiempo de paradas y reparaciones de equipos de carguío por mes (en horas)

Figura 07:

Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
BUC 495BI	74.23	85.82	116.50	223.88	744.00	720.00	1964.43
BUC 495HR	339.41	252.03	248.14	293.57	255.17	254.00	1642.33
KOM WE1850	121.87	59.64	57.62	120.15	83.46	107.91	550.64
LTU 1850	87.22	72.67	155.44	171.29	127.40	322.78	936.79
LTU 2350	151.41	140.03	126.67	225.35	102.85	75.56	821.87
P&H 4100A	159.67	94.82	109.28	101.27	135.55	108.54	709.14
P&H 4100A+	415.55	98.35	78.38	81.34	65.35	88.25	827.22
P&H 4100XPC	48.95	48.18	57.69	94.09	42.20	53.02	344.13
Total general	**1398.30**	**851.55**	**949.73**	**1310.94**	**1555.97**	**1730.06**	**7796.55**

4.2.1.2. Porcentaje de utilización de equipos de carguío por mes

Figura 08:

Cuadro de tiempos de utilización de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

	ENERO	ENERO	FEBRERO	FEBRERO	MARZO	MARZO	ABRIL	ABRIL	MAYO	MAYO	JUNIO	JUNIO	Total general
FLOTA /EQUIPO	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
BUC 495BI	**70.48%**	**77.96%**	**63.39%**	**76.82%**	**65.00%**	**76.13%**	**52.20%**	**59.34%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**67.66%**
S03	70.48%	77.96%	63.39%	76.82%	65.00%	76.13%	52.20%	59.34%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	**67.66%**
BUC 495HR	**64.57%**	**73.88%**	**68.55%**	**74.99%**	**69.26%**	**79.04%**	**72.24%**	**81.79%**	**72.59%**	**81.58%**	**75.10%**	**81.99%**	**74.63%**
S05	68.37%	72.84%	66.86%	72.03%	64.13%	75.58%	71.81%	79.98%	73.56%	80.04%	73.50%	80.96%	**73.31%**
S06	56.21%	68.24%	67.30%	75.24%	71.78%	81.48%	70.40%	82.05%	78.74%	86.14%	79.02%	84.75%	**75.11%**
S07	67.10%	76.96%	67.59%	74.17%	72.08%	77.51%	74.40%	82.05%	71.29%	81.64%	68.81%	78.59%	**74.35%**
S08	66.61%	77.47%	72.47%	78.53%	69.04%	81.62%	72.36%	83.08%	66.77%	78.49%	79.07%	83.65%	**75.76%**
KOM WE1850	**24.36%**	**13.04%**	**48.37%**	**37.84%**	**64.35%**	**60.05%**	**63.59%**	**67.03%**	**66.57%**	**63.42%**	**64.84%**	**65.31%**	**53.23%**
S97	24.36%	13.04%	48.37%	37.84%	64.35%	60.05%	63.59%	67.03%	66.57%	63.42%	64.84%	65.31%	**53.23%**
LTU 1850	**55.00%**	**40.60%**	**34.89%**	**36.72%**	**48.10%**	**43.93%**	**53.09%**	**56.03%**	**58.64%**	**57.76%**	**39.81%**	**36.28%**	**46.74%**
S95	55.00%	40.60%	34.89%	36.72%	48.10%	43.93%	53.09%	56.03%	58.64%	57.76%	39.81%	36.28%	**46.74%**
LTU 2350	**46.16%**	**44.91%**	**37.62%**	**28.34%**	**54.08%**	**55.17%**	**45.55%**	**48.09%**	**63.01%**	**59.77%**	**68.99%**	**71.22%**	**51.91%**
S96	46.16%	44.91%	37.62%	28.34%	54.08%	55.17%	45.55%	48.09%	63.01%	59.77%	68.99%	71.22%	**51.91%**
P&H 4100A	**66.52%**	**75.51%**	**69.90%**	**77.04%**	**68.26%**	**78.00%**	**74.35%**	**76.09%**	**66.41%**	**72.39%**	**71.60%**	**81.04%**	**73.09%**
S01	65.07%	73.65%	75.75%	77.56%	70.63%	77.07%	73.14%	71.72%	64.79%	70.88%	74.17%	81.72%	**73.01%**
S04	67.97%	77.36%	64.06%	76.52%	65.88%	78.93%	75.56%	80.46%	68.02%	73.90%	69.04%	80.36%	**73.17%**
P&H 4100A+	**28.90%**	**36.21%**	**62.47%**	**71.42%**	**64.82%**	**73.82%**	**73.97%**	**78.61%**	**73.42%**	**79.68%**	**70.68%**	**78.43%**	**66.04%**
S02	28.90%	36.21%	62.47%	71.42%	64.82%	73.82%	73.97%	78.61%	73.42%	79.68%	70.68%	78.43%	**66.04%**
P&H 4100XPC	**72.10%**	**76.82%**	**72.88%**	**76.13%**	**64.11%**	**78.74%**	**72.71%**	**78.80%**	**78.90%**	**85.49%**	**76.47%**	**86.55%**	**76.64%**
S09	72.10%	76.82%	72.88%	76.13%	64.11%	78.74%	72.71%	78.80%	78.90%	85.49%	76.47%	86.55%	**76.64%**
Promedio general	**57.36%**	**61.34%**	**61.14%**	**65.11%**	**64.50%**	**71.67%**	**66.57%**	**72.27%**	**69.43%**	**74.29%**	**69.49%**	**75.26%**	**67.37%**

4.2.1.3. Porcentaje de disponibilidad de equipos de carguío por mes

Figura 09:

Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

	ENERO	ENERO	FEBRERO	FEBRERO	MARZO	MARZO	ABRIL	ABRIL	MAYO	MAYO	JUNIO	JUNIO	Total general
FLOTA /EQUIPO	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
BUC 495BI	**80.77%**	**90.22%**	**74.05%**	**88.28%**	**74.42%**	**86.43%**	**64.83%**	**72.96%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**79.00%**
S03	80.77%	90.22%	74.05%	88.28%	74.42%	86.43%	64.83%	72.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	**79.00%**
BUC 495HR	**79.09%**	**87.17%**	**82.02%**	**88.66%**	**82.47%**	**93.22%**	**84.81%**	**94.80%**	**87.33%**	**95.52%**	**87.26%**	**95.10%**	**88.12%**
S05	82.89%	87.15%	81.14%	87.05%	78.44%	88.73%	84.40%	93.99%	87.13%	93.50%	86.64%	96.41%	**87.29%**
S06	66.21%	79.69%	77.63%	86.50%	83.06%	93.83%	81.23%	93.37%	90.98%	97.42%	91.18%	96.96%	**86.50%**
S07	82.98%	90.50%	80.82%	87.18%	84.19%	93.27%	84.64%	94.07%	82.19%	92.36%	79.89%	89.20%	**86.78%**
S08	84.27%	91.34%	88.49%	93.90%	84.18%	97.07%	88.95%	97.77%	89.03%	98.80%	91.32%	97.84%	**91.91%**
KOM WE1850	**73.77%**	**86.09%**	**85.04%**	**96.48%**	**86.39%**	**90.32%**	**78.18%**	**88.44%**	**84.92%**	**92.64%**	**83.54%**	**86.49%**	**86.02%**
S97	73.77%	86.09%	85.04%	96.48%	86.39%	90.32%	78.18%	88.44%	84.92%	92.64%	83.54%	86.49%	**86.02%**
LTU 1850	**81.20%**	**89.44%**	**85.18%**	**91.65%**	**73.39%**	**80.34%**	**74.56%**	**77.86%**	**82.20%**	**83.56%**	**52.51%**	**57.83%**	**77.48%**
S95	81.20%	89.44%	85.18%	91.65%	73.39%	80.34%	74.56%	77.86%	82.20%	83.56%	52.51%	57.83%	**77.48%**
LTU 2350	**72.05%**	**85.57%**	**71.50%**	**83.26%**	**77.55%**	**79.52%**	**66.42%**	**70.98%**	**83.43%**	**88.92%**	**87.67%**	**91.35%**	**79.85%**
S96	72.05%	85.57%	71.50%	83.26%	77.55%	79.52%	66.42%	70.98%	83.43%	88.92%	87.67%	91.35%	**79.85%**
P&H 4100A	**82.27%**	**91.46%**	**90.18%**	**91.68%**	**87.67%**	**93.76%**	**90.46%**	**95.47%**	**88.59%**	**92.93%**	**88.47%**	**96.45%**	**90.78%**
S01	82.38%	91.02%	94.97%	92.87%	87.80%	91.94%	89.52%	95.56%	91.06%	94.31%	91.37%	98.36%	**91.76%**
S04	82.16%	91.90%	85.38%	90.49%	87.54%	95.58%	91.41%	95.38%	86.12%	91.56%	85.58%	94.54%	**89.80%**
P&H 4100A+	**34.38%**	**43.87%**	**74.27%**	**86.01%**	**77.00%**	**87.54%**	**86.00%**	**91.40%**	**87.25%**	**95.18%**	**82.71%**	**92.78%**	**78.20%**
S02	34.38%	43.87%	74.27%	86.01%	77.00%	87.54%	86.00%	91.40%	87.25%	95.18%	82.71%	92.78%	**78.20%**
P&H 4100XPC	**84.65%**	**90.44%**	**84.32%**	**88.33%**	**74.27%**	**90.84%**	**83.99%**	**89.87%**	**91.01%**	**97.64%**	**87.34%**	**97.93%**	**88.39%**
S09	84.65%	90.44%	84.32%	88.33%	74.27%	90.84%	83.99%	89.87%	91.01%	97.64%	87.34%	97.93%	**88.39%**
Promedio general	**75.64%**	**84.77%**	**81.90%**	**89.33%**	**80.68%**	**89.62%**	**81.18%**	**88.47%**	**86.85%**	**93.26%**	**83.61%**	**90.88%**	**85.52%**

4.2.1.4. Producción total de equipos de carguío por mes

Figura 10:

Cuadro de producción total de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
BUC 495BI	2,014,745.29	2,115,399.29	2,158,357.51	1,869,354.21			8,157,856.30
BUC 495HR	7,616,738.64	8,884,603.89	8,915,449.00	8,984,503.89	9,905,162.28	9,015,589.18	53,322,046.89
KOM WE1850	352,634.03	490,221.78	658,661.37	875,038.86	801,405.49	690,620.50	3,868,582.04
LTU 1850	539,390.70	320,460.06	574,994.86	612,863.92	659,841.91	556,298.58	3,263,850.03
LTU 2350	619,175.30	655,821.55	672,764.22	635,821.55	774,511.31	889,727.02	4,247,820.96
P&H 4100A	3,478,752.35	2,933,818.59	2,916,147.93	3,014,528.13	2,876,115.34	3,277,317.99	18,496,680.32
P&H 4100A+	1,995,637.00	2,391,942.00	2,585,370.00	2,614,841.00	2,679,851.00	2,821,176.00	15,088,817.00
P&H 4100XPC	2,974,891.00	2,758,294.00	2,804,182.00	3,014,524.00	3,299,578.00	3,470,965.00	18,322,434.00
Total general	**19,591,964.32**	**20,550,561.16**	**21,285,926.88**	**21,621,475.56**	**20,996,465.34**	**20,721,694.27**	**124,768,087.53**

4.2.1.5. Producción total de mineral de equipos de carguío por mes

Figura 11:

Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
BUC 495HR	178,070.00	320,320.00	535,921.00	471,022.00	311,793.00		1,817,126.00
KOM WE1850	5,812.00		201,430.00	30,744.00	42,534.00	289,554.00	570,074.00
LTU 1850	152,215.00	155,021.00	11,686.00	86,327.00	22,174.00	100,656.00	528,079.00
LTU 2350	315,689.00	18,171.00	17,795.00	38,520.00	339,719.00	258,967.00	988,861.00
P&H 4100A	2,831,655.00	2,730,379.00	2,625,815.00	2,557,036.00	2,531,766.00	2,575,769.00	15,852,420.00
Total general	**3,483,441.00**	**3,223,891.00**	**3,392,647.00**	**3,183,649.00**	**3,247,986.00**	**3,224,946.00**	**19,756,560.00**

4.2.1.6. Producción total de desmonte de equipos de carguío por mes

Figura 12:

Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
BUC 495BI	1,866,524.00	1,567,757.00	1,960,776.00	1,131,020.00			6,526,077.00
BUC 495HR	4,756,886.00	2,781,510.00	3,433,517.00	3,481,316.00	7,205,285.00	5,363,159.00	27,021,673.00
KOM WE1850	57,804.00	421,147.00	339,407.00	265,042.00	500,569.00	293,830.00	1,877,799.00
LTU 1850	215,727.00	83,636.00	487,739.00	413,702.00	472,064.00	149,872.00	1,822,740.00
LTU 2350	41,197.00	342,750.00	442,174.00	493,035.00	156,629.00	333,286.00	1,809,071.00
P&H 4100A+	990,554.00	2,069,002.00	2,556,331.00	2,609,396.00	2,672,228.00	2,613,553.00	13,511,064.00
P&H 4100XPC	2,922,256.00	2,743,774.00	2,783,202.00	2,996,519.00	3,272,716.00	3,157,607.00	17,876,074.00
Total general	**10,850,948.00**	**10,009,576.00**	**12,003,146.00**	**11,390,030.00**	**14,279,491.00**	**11,911,307.00**	**70,444,498.00**

4.2.2. En equipos de acarreo

4.2.2.1. Tiempo de paradas y reparaciones por mes en equipos de acarreo (en horas)

Figura 13:

Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
CAT 793D	1,014.78	1,328.34	1,400.48	1,435.05	1,254.72	1,217.05	7,650.43
CAT 794AC	258.25	251.77	236.70	339.04	354.78	372.57	1,813.11
CAT 797F	2,332.89	2,515.60	2,765.32	2,369.79	2,582.28	2,391.36	14,957.25
CAT 798AC	173.40	195.17	364.44	186.51	187.24	229.53	1,336.28
KOM 930E-1	325.15	253.88	482.12	251.44	326.42	362.37	2,001.36
KOM 930E-3	847.07	1,099.36	1,062.24	694.87	831.14	1,426.95	5,961.63
KOM 930E-4	1,831.64	1,860.81	1,853.19	1,398.74	1,233.10	1,208.08	9,385.56
KOM 930E-4SE	169.02	68.10	190.41	189.65	218.31	240.09	1,075.58
KOM 980E-4	1,251.30	1,188.08	1,269.50	877.32	1,193.94	1,240.32	7,020.47
Total general	**8,203.50**	**8,761.11**	**9,624.40**	**7,742.41**	**8,181.92**	**8,688.33**	**51,201.67**

4.2.2.2. Porcentaje de utilización de equipos de acarreo por mes

Figura 14:

Cuadro de tiempos de utilización de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	ENERO	FEBRERO	FEBRERO	MARZO	MARZO	ABRIL	ABRIL	MAYO	MAYO	JUNIO	JUNIO	Total general
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
CAT 793D	46.60%	48.96%	46.51%	49.39%	54.21%	57.39%	50.00%	49.26%	37.67%	41.56%	50.28%	49.24%	**48.42%**
CAT 794AC	65.39%	68.70%	60.81%	66.46%	60.66%	71.48%	58.57%	67.80%	59.53%	59.15%	58.49%	67.46%	**63.71%**
CAT 797F	68.48%	70.47%	68.05%	69.56%	66.08%	70.12%	73.80%	74.01%	71.28%	72.57%	73.08%	74.46%	**71.00%**
CAT 798AC	70.88%	74.58%	70.71%	71.76%	69.67%	70.78%	73.63%	77.42%	76.06%	76.18%	76.91%	78.51%	**73.92%**
KOM 930E-1	48.48%	55.08%	55.15%	62.66%	49.45%	57.53%	42.69%	50.71%	30.11%	36.32%	45.90%	46.57%	**48.39%**
KOM 930E-3	60.22%	64.34%	54.01%	61.45%	61.37%	65.63%	64.53%	68.93%	60.46%	64.06%	57.81%	59.79%	**61.88%**
KOM 930E-4	62.01%	64.38%	59.92%	63.78%	60.88%	67.01%	64.83%	68.43%	65.56%	69.84%	67.97%	70.65%	**65.44%**
KOM 930E-4SE	69.85%	65.33%	72.81%	78.82%	60.06%	62.53%	66.44%	68.92%	64.53%	67.00%	63.24%	68.74%	**67.36%**
KOM 980E-4	64.52%	67.42%	64.20%	67.83%	64.55%	70.14%	73.01%	75.50%	69.30%	70.83%	68.51%	71.01%	**68.90%**
Total general	**62.42%**	**64.99%**	**61.36%**	**64.74%**	**62.18%**	**66.92%**	**66.20%**	**68.37%**	**62.58%**	**65.03%**	**65.45%**	**67.31%**	**64.80%**

4.2.2.3. Porcentaje de disponibilidad de equipos de acarreo por mes

Figura 15:

Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	ENERO	FEBRERO	FEBRERO	MARZO	MARZO	ABRIL	ABRIL	MAYO	MAYO	JUNIO	JUNIO	Total general
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
CAT 793D	84.24%	87.85%	79.07%	83.05%	80.37%	84.81%	82.27%	87.03%	83.40%	83.70%	78.80%	79.81%	82.87%
CAT 794AC	87.40%	91.39%	86.11%	91.19%	87.60%	91.96%	85.69%	90.74%	86.50%	89.66%	85.40%	88.73%	88.53%
CAT 797F	85.27%	87.75%	83.69%	85.89%	80.58%	86.09%	88.74%	90.00%	88.21%	89.40%	88.41%	90.16%	87.02%
CAT 798AC	87.60%	91.52%	86.19%	89.11%	83.00%	85.44%	92.57%	94.36%	94.03%	93.38%	91.06%	93.00%	90.11%
KOM 930E-1	78.60%	84.43%	80.52%	85.93%	71.34%	75.29%	89.15%	87.57%	84.49%	86.26%	81.45%	85.00%	82.50%
KOM 930E-3	83.29%	86.88%	76.66%	81.21%	78.04%	83.62%	87.81%	90.70%	86.37%	88.81%	77.31%	78.65%	83.28%
KOM 930E-4	79.09%	83.43%	76.95%	81.82%	78.00%	83.90%	85.07%	88.95%	87.78%	90.12%	87.92%	89.70%	84.40%
KOM 930E-4SE	86.91%	86.14%	90.52%	96.29%	81.91%	85.23%	85.70%	87.96%	82.90%	87.76%	81.70%	84.96%	86.50%
KOM 980E-4	80.31%	83.39%	78.71%	82.46%	77.91%	85.60%	88.47%	91.20%	85.47%	87.78%	84.46%	86.82%	84.38%
Total general	**83.31%**	**86.60%**	**80.89%**	**84.53%**	**79.68%**	**85.11%**	**87.10%**	**89.74%**	**86.88%**	**88.50%**	**85.02%**	**86.88%**	**85.35%**

4.2.2.4. Producción total de equipos de acarreo por mes

Figura 16:

Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
CAT 793D	1,265,148.91	1,223,863.50	1,834,965.60	1,925,549.28	1,313,937.49	1,197,475.28	8,760,940.05
CAT 794AC	605,456.63	554,296.27	627,703.92	641,303.83	645,129.63	630,759.02	3,704,649.31
CAT 797F	8,777,078.61	8,932,005.70	9,048,001.84	9,195,325.95	8,720,011.62	8,842,724.25	53,515,147.98
CAT 798AC	1,333,724.29	1,096,028.87	1,425,141.53	1,099,364.92	1,191,410.89	1,286,343.45	7,432,013.94
KOM 930E-1	385,303.00	562,948.02	478,902.00	343,076.00	291,053.00	398,297.00	2,459,579.02
KOM 930E-3	1,266,396.09	1,093,528.69	1,537,772.21	1,592,122.85	1,544,688.26	1,303,394.15	8,337,902.25
KOM 930E-4	2,122,604.74	1,925,984.60	2,356,655.00	2,571,142.46	2,689,919.07	2,594,271.26	14,260,577.13
KOM 930E-4SE	307,295.72	309,220.65	319,068.01	340,375.01	322,629.22	355,433.41	1,954,022.02
KOM 980E-4	3,528,638.32	3,088,886.51	3,292,115.10	5,713,206.87	4,777,632.58	3,942,776.45	24,343,255.83
Total general	**19,591,646.32**	**18,786,762.81**	**20,920,325.20**	**23,421,467.16**	**21,496,411.77**	**20,551,474.27**	**124,768,087.53**

4.2.2.5. Producción total de mineral de equipos de acarreo por mes

Figura 17:

Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
CAT 793D	53,287.00	93,889.00	176,812.00	34,775.00	45,371.00	362,630.00	766,764.00
CAT 794AC	228,195.00	227,262.00	262,044.00	161,848.00	139,541.00	144,961.00	1,163,851.00
CAT 797F	1,764,389.00	1,673,375.00	1,551,350.00	1,841,695.00	1,750,501.00	1,734,303.00	10,315,613.00
CAT 798AC	1,134.00		1,068.00	139,680.00	94,205.00		236,087.00
KOM 930E-3	456,089.00	322,295.00	353,161.00	328,590.00	346,179.00	319,575.00	2,125,889.00
KOM 930E-4	800,181.00	732,132.00	768,830.00	594,121.00	744,734.00	605,121.00	4,245,119.00
KOM 930E-4SE	111,383.00	134,366.00	89,738.00	78,620.00	114,356.00	46,962.00	575,425.00
KOM 980E-4	68,783.00	40,572.00	189,644.00	4,320.00	13,099.00	11,394.00	327,812.00
Total general	**3,483,441.00**	**3,223,891.00**	**3,392,647.00**	**3,183,649.00**	**3,247,986.00**	**3,224,946.00**	**19,756,560.00**

4.2.2.6. Producción total de desmonte de equipos de acarreo por mes

Figura 18:

Cuadro de producción total de desmonte de equipos de acarreo por mes usando el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total general
CAT 793D	962,951.00	794,968.00	1,116,813.00	1,094,716.00	953,163.00	548,814.00	5,471,425.00
CAT 794AC	144,125.00	75,374.00	123,422.00	211,310.00	359,830.00	243,521.00	1,157,582.00
CAT 797F	4,527,617.00	4,982,958.00	6,255,382.00	2,337,739.00	5,099,457.00	4,825,574.00	28,028,727.00
CAT 798AC	952,492.00	512,987.00	625,754.00	138,218.00	803,454.00	671,916.00	3,704,821.00
KOM 930E-1	382,369.00	556,532.00	432,624.00	324,369.00	276,802.00	393,522.00	2,366,218.00
KOM 930E-3	269,756.00	367,842.00	658,875.00	683,226.00	811,672.00	520,853.00	3,312,224.00
KOM 930E-4	486,121.00	466,909.00	801,077.00	949,138.00	1,255,952.00	1,117,815.00	5,077,012.00
KOM 930E-4SE	77,497.00	72,896.00	121,521.00	127,772.00	137,146.00	170,177.00	707,009.00
KOM 980E-4	3,048,020.00	2,179,110.00	1,867,678.00	5,523,542.00	4,582,015.00	3,419,115.00	20,619,480.00
Total general	**10,850,948.00**	**10,009,576.00**	**12,003,146.00**	**11,390,030.00**	**14,279,491.00**	**11,911,307.00**	**70,444,498.00**

4.3 Registro de los tiempos de fallas, reparaciones, utilización, disponibilidad y productividad de los equipos Sin el Sistema Control Sense

4.3.1 En equipos de carguío

4.3.1.1. Tiempo de paradas y reparaciones por mes en equipos de carguío (en horas)

Figura 19:

Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

Etiquetas de fila	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
BUC 495BI	466.20	49.23	46.52	85.69	43.81	54.42	745.87
BUC 495HR	247.03	275.98	397.01	622.57	251.30	374.69	2,168.58
KOM WE1850	63.90	76.11	78.76	36.92	82.52	143.78	481.99
LTU 1850	113.03	61.66	249.78	301.46	330.06	74.18	1,130.16
LTU 2350	196.95	416.01	348.92	125.04	171.75	93.17	1,351.85
P&H 4100A	119.67	92.10	124.31	149.90	820.28	790.44	2,096.69
P&H 4100A+	59.24	47.26	86.43	71.37	75.44	87.54	427.29
P&H 4100XPC	73.69	381.98	164.97	45.37	110.40	68.55	844.96
Total general	**1,339.71**	**1,400.33**	**1,496.70**	**1,438.31**	**1,885.55**	**1,686.77**	**9,247.37**

4.3.1.2. Porcentaje de utilización de equipos de carguío por mes

Figura 20:

Cuadro de tiempos de utilización de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

FLOTA /EQUIPO	JULIO	JULIO	AGOSTO	AGOSTO	SETIEMBRE	SETIEMBRE	OCTUBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
BUC 495BI	**26.36%**	**28.07%**	**77.11%**	**81.56%**	**74.38%**	**84.10%**	**69.72%**	**80.28%**	**78.49%**	**86.28%**	**75.25%**	**83.56%**	**70.43%**
S03	26.36%	28.07%	77.11%	81.56%	74.38%	84.10%	69.72%	80.28%	78.49%	86.28%	75.25%	83.56%	**70.43%**
BUC 495HR	**74.99%**	**82.80%**	**72.84%**	**78.99%**	**71.90%**	**76.71%**	**64.89%**	**71.21%**	**75.64%**	**80.55%**	**70.91%**	**75.10%**	**74.71%**
S05	73.49%	79.98%	74.00%	75.82%	59.41%	63.20%	58.25%	61.60%	76.51%	82.88%	76.26%	84.51%	**72.16%**
S06	77.12%	83.94%	70.67%	79.62%	74.64%	80.95%	48.66%	53.72%	81.13%	84.03%	57.14%	63.82%	**71.29%**
S07	76.74%	85.79%	77.78%	84.05%	75.56%	77.98%	76.98%	84.63%	69.42%	76.45%	72.69%	68.50%	**77.21%**
S08	72.64%	81.49%	68.89%	76.45%	77.99%	84.69%	75.67%	84.88%	75.50%	78.84%	77.56%	83.56%	**78.18%**
KOM WE1850	**47.90%**	**44.88%**	**55.16%**	**62.65%**	**68.53%**	**69.02%**	**75.25%**	**76.13%**	**70.00%**	**74.01%**	**62.04%**	**57.90%**	**63.62%**
S97	47.90%	44.88%	55.16%	62.65%	68.53%	69.02%	75.25%	76.13%	70.00%	74.01%	62.04%	57.90%	**63.62%**
LTU 1850	**49.50%**	**51.24%**	**66.11%**	**72.49%**	**37.76%**	**55.64%**	**30.79%**	**34.79%**	**40.02%**	**44.65%**	**68.70%**	**71.75%**	**51.95%**
S95	49.50%	51.24%	66.11%	72.49%	37.76%	55.64%	30.79%	34.79%	40.02%	44.65%	68.70%	71.75%	**51.95%**
LTU 2350	**44.29%**	**43.24%**	**30.42%**	**33.93%**	**38.47%**	**39.08%**	**58.81%**	**62.14%**	**56.14%**	**67.76%**	**68.49%**	**68.80%**	**50.96%**
S96	44.29%	43.24%	30.42%	33.93%	38.47%	39.08%	58.81%	62.14%	56.14%	67.76%	68.49%	68.80%	**50.96%**
P&H 4100A	**67.55%**	**76.17%**	**76.72%**	**82.09%**	**71.85%**	**77.37%**	**68.07%**	**75.40%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**71.06%**
S01	64.47%	70.23%	76.97%	81.83%	72.26%	78.87%	58.08%	65.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	**71.06%**
S04	70.62%	82.11%	76.47%	82.36%	71.44%	75.87%	78.05%	84.98%	68.27%	73.65%	72.13%	82.57%	**76.54%**
P&H 4100A+	**77.25%**	**79.32%**	**77.81%**	**83.01%**	**69.45%**	**79.76%**	**74.50%**	**78.20%**	**69.08%**	**72.81%**	**67.40%**	**75.32%**	**75.33%**
S02	77.25%	79.32%	77.81%	83.01%	69.45%	79.76%	74.50%	78.20%	69.08%	72.81%	67.40%	75.32%	**75.33%**
P&H 4100XPC	**74.07%**	**81.71%**	**40.03%**	**44.70%**	**66.04%**	**68.85%**	**80.15%**	**84.53%**	**73.88%**	**76.68%**	**76.06%**	**82.33%**	**70.75%**
S09	74.07%	81.71%	40.03%	44.70%	66.04%	68.85%	80.15%	84.53%	73.88%	76.68%	76.06%	82.33%	**70.75%**
Promedio general	**62.87%**	**67.67%**	**65.95%**	**71.54%**	**65.49%**	**71.50%**	**65.41%**	**70.97%**	**68.95%**	**74.37%**	**70.34%**	**74.78%**	**69.15%**

4.3.1.3. Porcentaje de disponibilidad de equipos de carguío por mes

Figura 21:

Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

FLOTA /EQUIPO	JULIO	JULIO	AGOSTO	AGOSTO	SETIEMBRE	SETIEMBRE	OCTUBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
BUC 495BI	**34.63%**	**40.05%**	**90.16%**	**96.61%**	**89.53%**	**97.55%**	**84.79%**	**92.15%**	**89.43%**	**98.40%**	**89.05%**	**96.16%**	**83.21%**
S03	34.63%	40.05%	90.16%	96.61%	89.53%	97.55%	84.79%	92.15%	89.43%	98.40%	89.05%	96.16%	**83.21%**
BUC 495HR	**88.46%**	**94.94%**	**87.69%**	**93.77%**	**83.42%**	**89.01%**	**75.58%**	**82.54%**	**88.82%**	**93.72%**	**83.85%**	**90.73%**	**87.71%**
S05	86.60%	92.37%	89.81%	94.22%	70.86%	75.94%	69.50%	74.65%	90.32%	97.35%	90.80%	98.86%	**85.94%**
S06	91.25%	96.06%	88.28%	94.42%	84.69%	92.93%	55.45%	61.24%	92.44%	95.71%	66.62%	73.20%	**82.69%**
S07	90.40%	98.27%	91.39%	97.62%	87.76%	89.94%	90.33%	97.63%	82.44%	88.98%	86.24%	92.54%	**91.13%**
S08	85.58%	93.07%	81.26%	88.81%	90.39%	97.22%	87.05%	96.62%	90.10%	92.85%	91.73%	98.33%	**91.09%**
KOM WE1850	**89.58%**	**93.24%**	**86.03%**	**93.51%**	**86.47%**	**91.65%**	**94.49%**	**95.58%**	**86.64%**	**90.44%**	**77.88%**	**83.45%**	**89.08%**
S97	89.58%	93.24%	86.03%	93.51%	86.47%	91.65%	94.49%	95.58%	86.64%	90.44%	77.88%	83.45%	**89.08%**
LTU 1850	**80.99%**	**88.62%**	**89.77%**	**93.65%**	**57.33%**	**73.29%**	**57.26%**	**61.69%**	**50.29%**	**58.03%**	**86.94%**	**92.98%**	**74.24%**
S95	80.99%	88.62%	89.77%	93.65%	57.33%	73.29%	57.26%	61.69%	50.29%	58.03%	86.94%	92.98%	**74.24%**
LTU 2350	**70.88%**	**76.17%**	**41.01%**	**47.16%**	**49.63%**	**53.44%**	**79.40%**	**86.91%**	**70.24%**	**82.05%**	**85.71%**	**88.62%**	**69.27%**
S96	70.88%	76.17%	41.01%	47.16%	49.63%	53.44%	79.40%	86.91%	70.24%	82.05%	85.71%	88.62%	**69.27%**
P&H 4100A	**88.50%**	**95.41%**	**92.18%**	**95.44%**	**87.82%**	**94.92%**	**87.27%**	**92.58%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**0.00%**	**91.23%**
S01	85.83%	92.52%	92.88%	95.00%	90.38%	97.66%	82.21%	86.86%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	**90.42%**
S04	91.18%	98.31%	91.48%	95.89%	85.26%	92.17%	92.33%	98.31%	84.11%	88.03%	91.04%	96.48%	**92.05%**
P&H 4100A+	**90.91%**	**93.16%**	**90.72%**	**96.58%**	**82.44%**	**93.55%**	**87.21%**	**93.26%**	**86.58%**	**92.46%**	**84.98%**	**91.49%**	**90.28%**
S02	90.91%	93.16%	90.72%	96.58%	82.44%	93.55%	87.21%	93.26%	86.58%	92.46%	84.98%	91.49%	**90.28%**
P&H 4100XPC	**86.75%**	**93.44%**	**46.27%**	**51.04%**	**75.44%**	**78.74%**	**90.71%**	**96.78%**	**82.86%**	**86.48%**	**86.16%**	**95.02%**	**80.81%**
S09	86.75%	93.44%	46.27%	51.04%	75.44%	78.74%	90.71%	96.78%	82.86%	86.48%	86.16%	95.02%	**80.81%**
Promedio general	**82.05%**	**87.94%**	**81.59%**	**87.04%**	**79.18%**	**86.17%**	**80.89%**	**86.81%**	**82.31%**	**88.25%**	**85.19%**	**91.56%**	**84.92%**

4.3.1.4. Producción total de equipos de carguío por mes

Figura 22:

Cuadro de producción total de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
BUC 495BI	477,063.00	1,549,563.52	1,788,648.03	2,070,808.98	2,027,573.29	2,159,875.16	10,073,531.98
BUC 495HR	9,594,125.19	8,375,873.20	8,541,928.45	7,737,348.70	8,538,888.42	8,120,266.52	50,908,430.47
KOM WE1850	483,502.39	622,202.45	731,307.51	926,514.60	925,021.50	697,780.85	4,386,329.29
LTU 1850	501,545.68	702,063.43	459,642.17	353,391.58	430,567.56	884,013.17	3,331,223.59
LTU 2350	522,754.28	466,517.49	459,568.91	738,252.82	884,993.67	992,783.65	4,064,870.82
P&H 4100A	2,907,909.96	3,316,663.76	3,101,475.15	3,143,877.46	1,656,915.06	1,910,582.42	16,037,423.81
P&H 4100A+	2,638,868.00	2,676,545.00	2,320,503.00	2,511,636.00	2,163,847.76	1,331,734.68	13,643,134.45
P&H 4100XPC	3,190,666.00	1,714,802.00	2,410,008.00	3,379,984.00	3,131,549.00	3,386,676.00	17,213,685.00
Total general	**20,316,434.50**	**19,424,230.84**	**19,813,081.23**	**20,861,814.13**	**19,759,356.25**	**19,483,712.46**	**119,658,629.41**

4.3.1.5. Producción total de mineral de equipos de carguío por mes

Figura 23:

Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
BUC 495HR						19,705.00	19,705.00
KOM WE1850	202,149.00	78,036.00	176,692.00	400,498.00	774,916.00	103,763.00	1,736,054.00
LTU 1850	586.00	242,030.00		54,027.00	132,410.00	101,384.00	530,437.00
LTU 2350	109,613.00	22,074.00	22,294.00	65,537.00	316,211.00	34,388.00	570,117.00
P&H 4100A	2,636,471.00	3,070,083.00	2,726,133.00	2,966,651.00	1,545,668.00	1,855,599.00	14,800,605.00
P&H 4100A+					334,942.00	1,196,028.00	1,530,970.00
Total general	**2,948,819.00**	**3,412,223.00**	**2,925,119.00**	**3,486,713.00**	**3,104,147.00**	**3,310,867.00**	**19,187,888.00**

4.3.1.6. Producción total de desmonte de equipos de carguío por mes

Figura 24:

Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
BUC 495BI	414,887.00	1,285,785.00	1,185,686.00	1,748,108.00	1,834,753.00	1,555,019.00	8,024,238.00
BUC 495HR	5,902,733.00	2,941,090.00	5,491,957.00	2,842,971.00	4,109,883.00	5,504,751.00	26,793,385.00
KOM WE1850	179,569.00	347,171.00	158,920.00	20,476.00	36,268.00	427,685.00	1,170,089.00
LTU 1850	333,873.00	236,355.00	109,903.00	134,782.00	120,580.00	606,347.00	1,541,840.00
LTU 2350	219,786.00	356,465.00	192,344.00	443,724.00	308,502.00	842,139.00	2,362,960.00
P&H 4100A+	2,626,380.00	2,662,098.00	2,287,615.00	2,473,954.00	1,769,197.00		11,819,244.00
P&H 4100XPC	3,178,832.00	1,709,357.00	2,403,184.00	3,368,150.00	3,086,820.00	3,366,129.00	17,112,472.00
Total general	**12,856,060.00**	**9,538,321.00**	**11,829,609.00**	**11,032,165.00**	**11,266,003.00**	**12,302,070.00**	**68,824,228.00**

4.3.2 En equipos de acarreo

4.3.2.1. Tiempo de paradas y reparaciones por mes en equipos de acarreo (en horas)

Figura 25:

Cuadro de la recolección de tiempos de paradas y reparaciones de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
CAT 793D	1,770.18	1,156.56	1,659.95	1,446.20	1,383.64	1,172.04	**8,588.58**
CAT 794AC	332.01	233.65	357.22	500.91	484.17	268.20	**2,176.16**
CAT 797F	1,936.78	1,889.49	2,330.80	2,330.88	1,910.22	2,225.82	**12,623.99**
CAT 798AC	365.71	330.21	173.65	282.81	215.11	154.96	**1,522.46**
KOM 930E-1	67.08	67.26	478.04	254.60	457.25	508.71	**1,832.94**
KOM 930E-3	1,534.28	793.76	988.38	1,144.78	679.11	1,274.03	**6,414.35**
KOM 930E-4	1,275.73	1,034.10	1,194.74	1,422.15	1,305.47	1,053.15	**7,285.35**
KOM 930E-4SE	139.28	150.63	155.65	156.16	70.05	266.87	**938.63**
KOM 980E-4	1,372.15	810.52	1,178.14	915.72	958.51	1,041.52	**6,276.57**
Total general	**8,793.21**	**6,466.18**	**8,516.57**	**8,454.21**	**7,463.53**	**7,965.31**	**47,659.02**

4.3.2.2. Porcentaje de utilización de equipos de acarreo por mes

Figura 26:

Cuadro de tiempos de utilización de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	JULIO	JULIO	AGOSTO	AGOSTO	SETIEMBRE	SETIEMBRE	OCTUBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
CAT 793D	36.72%	37.05%	28.34%	30.11%	51.25%	57.30%	46.64%	51.07%	44.05%	50.46%	54.07%	56.34%	**45.28%**
CAT 794AC	52.72%	61.01%	59.91%	68.70%	61.13%	68.69%	65.09%	61.98%	55.44%	63.40%	65.21%	63.04%	**62.19%**
CAT 797F	73.71%	75.36%	73.55%	75.41%	72.87%	74.29%	73.89%	75.15%	75.79%	76.11%	74.33%	75.57%	**74.67%**
CAT 798AC	69.94%	73.80%	71.05%	74.69%	79.85%	79.97%	76.32%	75.41%	77.19%	76.92%	80.16%	79.97%	**76.27%**
KOM 930E-1	4.99%	4.69%	0.00%	1.09%	13.07%	31.25%	35.56%	50.66%	38.93%	45.31%	44.49%	37.21%	**27.93%**
KOM 930E-3	52.17%	56.73%	56.11%	60.65%	64.37%	69.10%	60.08%	67.07%	61.58%	72.27%	60.43%	62.53%	**61.93%**
KOM 930E-4	63.35%	65.37%	62.14%	66.53%	69.14%	73.75%	66.10%	71.43%	67.37%	72.55%	73.30%	75.10%	**68.84%**
KOM 930E-4SE	67.70%	62.92%	61.72%	68.26%	69.37%	72.20%	71.31%	74.02%	74.75%	76.32%	64.46%	69.32%	**69.36%**
KOM 980E-4	67.76%	68.57%	72.90%	75.81%	69.61%	72.44%	73.44%	76.61%	72.76%	73.56%	72.65%	73.19%	**72.44%**
Total general	**60.61%**	**62.48%**	**60.30%**	**63.40%**	**65.79%**	**69.66%**	**65.86%**	**69.22%**	**66.20%**	**69.75%**	**68.45%**	**69.52%**	65.94%

4.3.2.3. Porcentaje de disponibilidad de equipos de carguío por mes

Figura 27:

Cuadro de tiempos de disponibilidad de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense

EQUIPO / MES	JULIO	JULIO	AGOSTO	AGOSTO	SETIEMBRE	SETIEMBRE	OCTUBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
CAT 793D	72.68%	75.33%	77.86%	82.84%	73.76%	75.39%	75.67%	79.04%	76.29%	78.76%	78.99%	81.33%	**77.33%**
CAT 794AC	87.65%	90.04%	92.29%	92.00%	86.12%	89.08%	84.70%	81.49%	80.87%	85.50%	88.98%	92.82%	**87.63%**
CAT 797F	90.63%	92.57%	91.20%	92.42%	88.64%	90.47%	88.73%	90.99%	90.72%	92.16%	89.14%	91.35%	**90.75%**
CAT 798AC	86.64%	88.78%	87.31%	90.50%	93.45%	94.49%	90.37%	90.62%	91.85%	93.21%	94.93%	94.41%	**91.38%**
KOM 930E-1	96.30%	97.69%	96.91%	97.06%	77.86%	77.88%	88.29%	88.89%	77.91%	79.75%	77.47%	76.77%	**86.07%**
KOM 930E-3	74.76%	79.41%	86.36%	89.93%	83.04%	86.45%	80.55%	85.23%	87.61%	91.43%	78.55%	83.28%	**83.88%**
KOM 930E-4	87.35%	89.79%	88.99%	92.48%	87.39%	90.49%	85.62%	88.85%	86.36%	89.47%	88.63%	92.38%	**88.98%**
KOM 930E-4SE	88.55%	92.73%	87.01%	92.74%	88.22%	90.16%	87.01%	92.00%	94.72%	95.56%	79.14%	84.76%	**89.38%**
KOM 980E-4	83.83%	85.43%	89.73%	92.11%	84.90%	87.83%	87.80%	91.66%	88.27%	89.54%	87.25%	89.39%	**88.15%**
Total general	**85.02%**	**87.41%**	**88.29%**	**90.87%**	**85.08%**	**87.34%**	**85.34%**	**88.03%**	**86.68%**	**88.88%**	**86.02%**	**88.66%**	87.30%

4.3.2.4. Producción total de equipos de acarreo por mes

Figura 28:

Cuadro de producción total de desmonte de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

TIPO DE VOLQUETE	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
CAT 793D	1,157,959.93	819,719.25	1,478,699.46	1,613,353.07	1,257,281.53	1,484,763.97	**7,811,777.21**
CAT 794AC	607,534.03	604,622.26	629,490.60	637,107.48	556,261.52	660,449.44	**3,695,465.33**
CAT 797F	9,021,106.15	8,521,957.05	8,063,378.55	9,408,799.67	9,663,881.23	8,806,919.65	**53,486,042.30**
CAT 798AC	1,214,766.74	1,285,796.16	1,272,765.29	1,271,623.16	1,213,109.03	1,208,842.31	**7,466,902.68**
KOM 930E-1	38,833.00	3,952.00	280,819.02	477,915.38	401,281.93	342,903.77	**1,545,705.10**
KOM 930E-3	1,327,333.58	1,466,529.76	1,520,094.90	1,482,352.03	1,507,042.91	1,450,089.16	**8,753,442.33**
KOM 930E-4	2,534,122.46	2,436,772.39	2,646,087.56	2,333,305.69	2,358,257.36	2,824,313.10	**15,132,858.56**
KOM 930E-4SE	361,663.62	316,740.80	346,969.53	341,351.42	348,646.47	344,282.49	**2,059,654.33**
KOM 980E-4	4,053,115.00	3,968,141.18	3,574,776.31	3,296,006.23	2,453,594.27	2,361,148.56	**19,706,781.57**
Total general	**20,316,434.50**	**19,424,230.84**	**19,813,081.23**	**20,861,814.13**	**19,759,356.25**	**19,483,712.46**	**119,658,629.41**

4.3.2.5. Producción total de mineral de equipos de acarreo por mes

Figura 29:

Cuadro de producción total de mineral de equipos de carguío por mes sin el sistema Control Sense

TIPO DE VOLQUETE	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
CAT 793D	58,854.00	51,161.00	53,254.00	131,521.00	113,237.00	62,537.00	**470,564.00**
CAT 794AC	174,470.00	249,888.00	172,913.00	183,299.00	176,532.00	146,960.00	**1,104,062.00**
CAT 797F	1,558,425.00	1,959,618.00	1,617,289.00	1,444,745.00	476,460.00	992,272.00	**8,048,809.00**
CAT 798AC				358.00		2,112.00	**2,470.00**
KOM 930E-1				285.00		281.00	**566.00**
KOM 930E-3	314,039.00	265,959.00	320,590.00	368,680.00	356,990.00	222,537.00	**1,848,795.00**
KOM 930E-4	760,988.00	758,757.00	653,248.00	1,012,974.00	898,687.00	752,218.00	**4,836,872.00**
KOM 930E-4SE	78,740.00	123,916.00	87,731.00	129,644.00	124,300.00	97,785.00	**642,116.00**
KOM 980E-4	3,303.00	2,924.00	20,094.00	215,207.00	957,941.00	1,034,165.00	**2,233,634.00**
Total general	**2,948,819.00**	**3,412,223.00**	**2,925,119.00**	**3,486,713.00**	**3,104,147.00**	**3,310,867.00**	**19,187,888.00**

4.3.2.6. Producción total de desmonte de equipos de acarreo por mes

Figura 30:

Cuadro de producción total de desmonte de equipos de acarreo por mes sin el sistema Control Sense

TIPO DE VOLQUETE	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total general
CAT 793D	727,953.00	401,390.00	729,666.00	421,127.00	573,847.00	1,029,252.00	**3,883,235.00**
CAT 794AC	267,031.00	138,706.00	240,568.00	317,110.00	223,178.00	408,417.00	**1,595,010.00**
CAT 797F	5,706,918.00	4,568,389.00	5,025,467.00	6,748,117.00	7,375,996.00	6,485,557.00	**35,910,444.00**
CAT 798AC	752,226.00	470,218.00	833,402.00	467,718.00	620,583.00	700,120.00	**3,844,267.00**
KOM 930E-1	31,383.00	3,952.00	22,645.00	93,953.00	203,266.00	240,294.00	**595,493.00**
KOM 930E-3	623,406.00	623,876.00	688,991.00	493,002.00	595,753.00	887,600.00	**3,912,628.00**
KOM 930E-4	1,071,963.00	763,762.00	1,149,878.00	640,434.00	772,844.00	1,481,782.00	**5,880,663.00**
KOM 930E-4SE	167,733.00	79,526.00	143,811.00	104,601.00	114,769.00	188,202.00	**798,642.00**
KOM 980E-4	3,507,447.00	2,488,502.00	2,995,181.00	1,746,103.00	785,767.00	880,846.00	**12,403,846.00**
Total general	**12,856,060.00**	**9,538,321.00**	**11,829,609.00**	**11,032,165.00**	**11,266,003.00**	**12,302,070.00**	68,824,228.00

4.4 Presentación y análisis de los resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis comparativo entre los periodos con y sin la implementación del Sistema Control Sense, tanto para equipos de carguío como de acarreo utilizando tableros dinámicos desarrollados en Power BI.

Los gráficos permiten visualizar de manera clara el comportamiento de los principales indicadores operativos: producción, utilización, disponibilidad y tiempos de paradas y reparaciones.

La comparación se realizó por meses y por equipos de carguío y acarreo, con el propósito de identificar las mejoras alcanzadas en la eficiencia y continuidad operativa.

4.4.1 Análisis comparativo del uso del Sistema Control Sense

En este apartado se comparan los indicadores operativos obtenidos durante el periodo con sistema frente al periodo sin sistema, destacando las variaciones positivas o negativas por equipo.
Se lograron medir los siguientes indicadores:

a. El tiempo de parada y reparación
b. El porcentaje de utilización
c. El porcentaje de disponibilidad
d. La producción total por equipo
e. Resultados totales por equipo

Las figuras presentadas permiten observar la evolución mensual y los resultados semestrales en los principales indicadores de desempeño

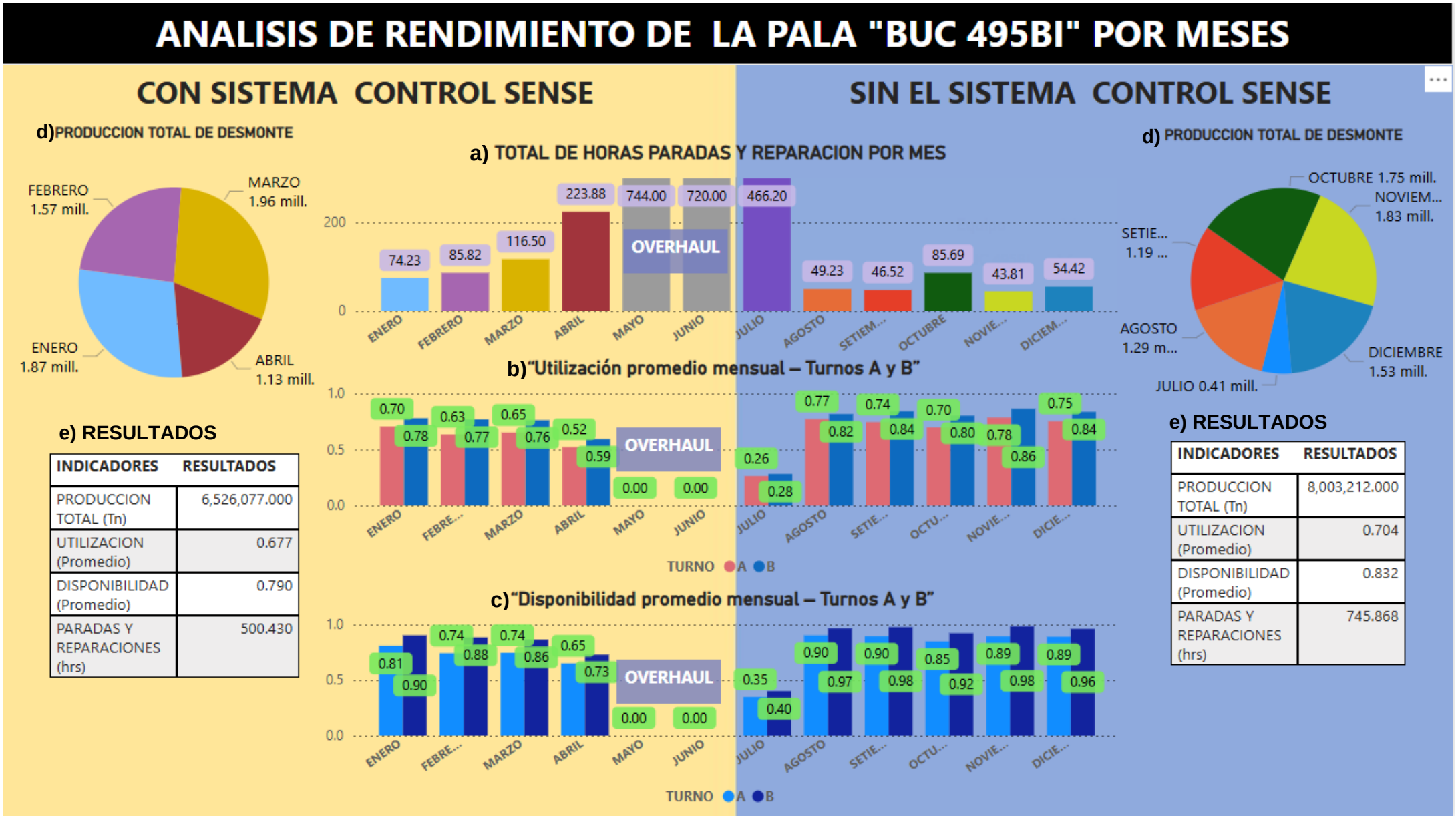
En el presente capítulo se incluyeron dos ejemplos representativos por cada tipo de equipo analizado (pala, cargador y volquete), con el propósito de ilustrar los resultados más relevantes obtenidos mediante el Sistema Control Sense.

Los demás dashboards y reportes generados durante el estudio se presentan en la sección de Anexos, con el fin de mantener la claridad y orden del documento, evitando la sobrecarga de figuras dentro del cuerpo principal de la tesis.

Esta decisión responde a un criterio de transparencia y trazabilidad de la información, permitiendo que todos los resultados estén disponibles para consulta sin afectar la estructura general del trabajo.

Figura 31:

Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Pala BUC 495BI



e) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	6,526,077.000
UTILIZACION (Promedio)	0.677
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.790
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	500.430

e) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	8,003,212.000
UTILIZACION (Promedio)	0.704
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.832
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	745.868

Figura 32:

Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Pala P&H 4100A

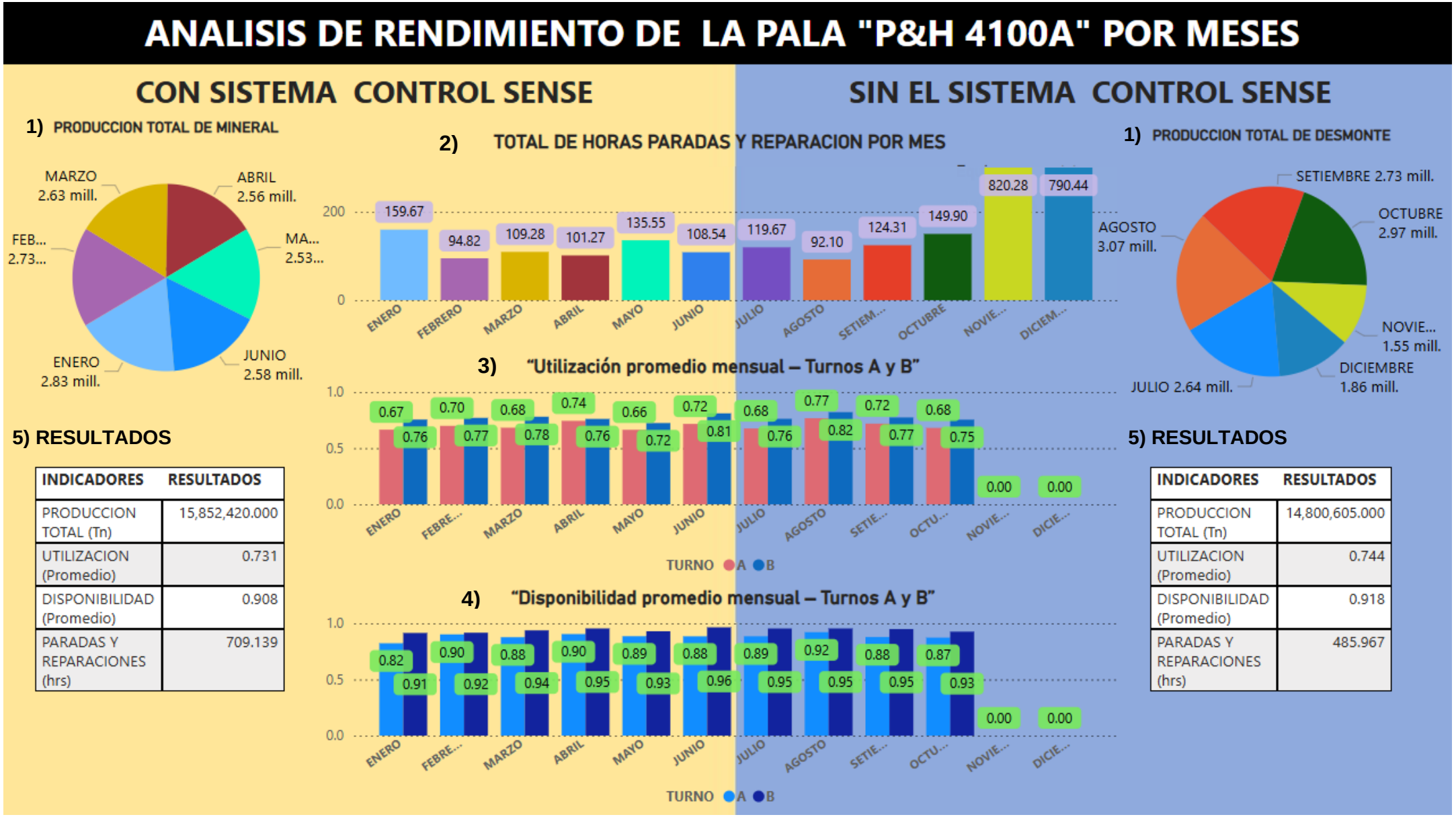
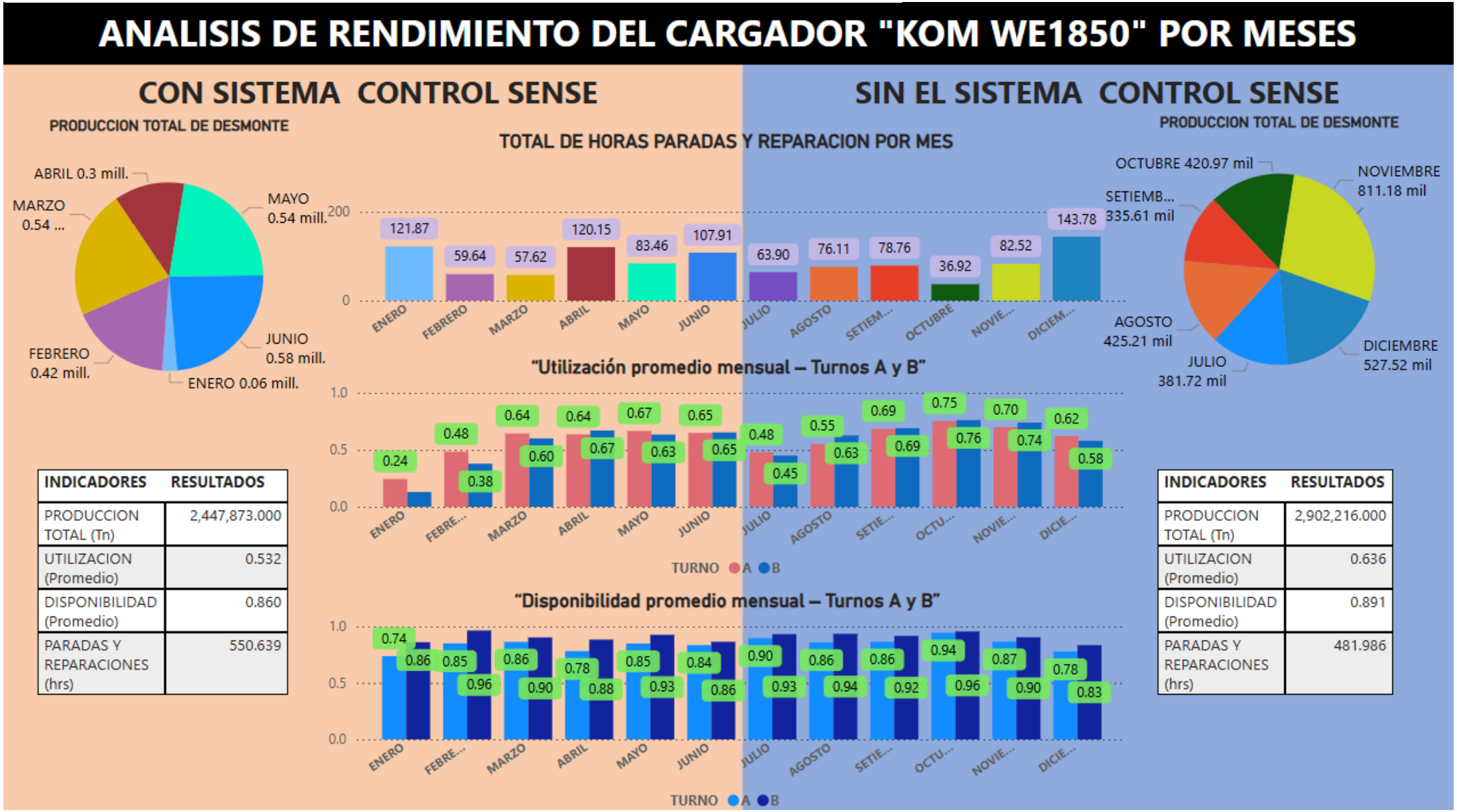


Figura 33:

Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Cargador KOM WE1850



INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,447,873.000
UTILIZACION (Promedio)	0.532
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.860
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	550.639

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,902,216.000
UTILIZACION (Promedio)	0.636
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.891
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	481.986

Figura 34:

Dashboard de Rendimiento del equipo de carguío Cargador KOM LTU 2350

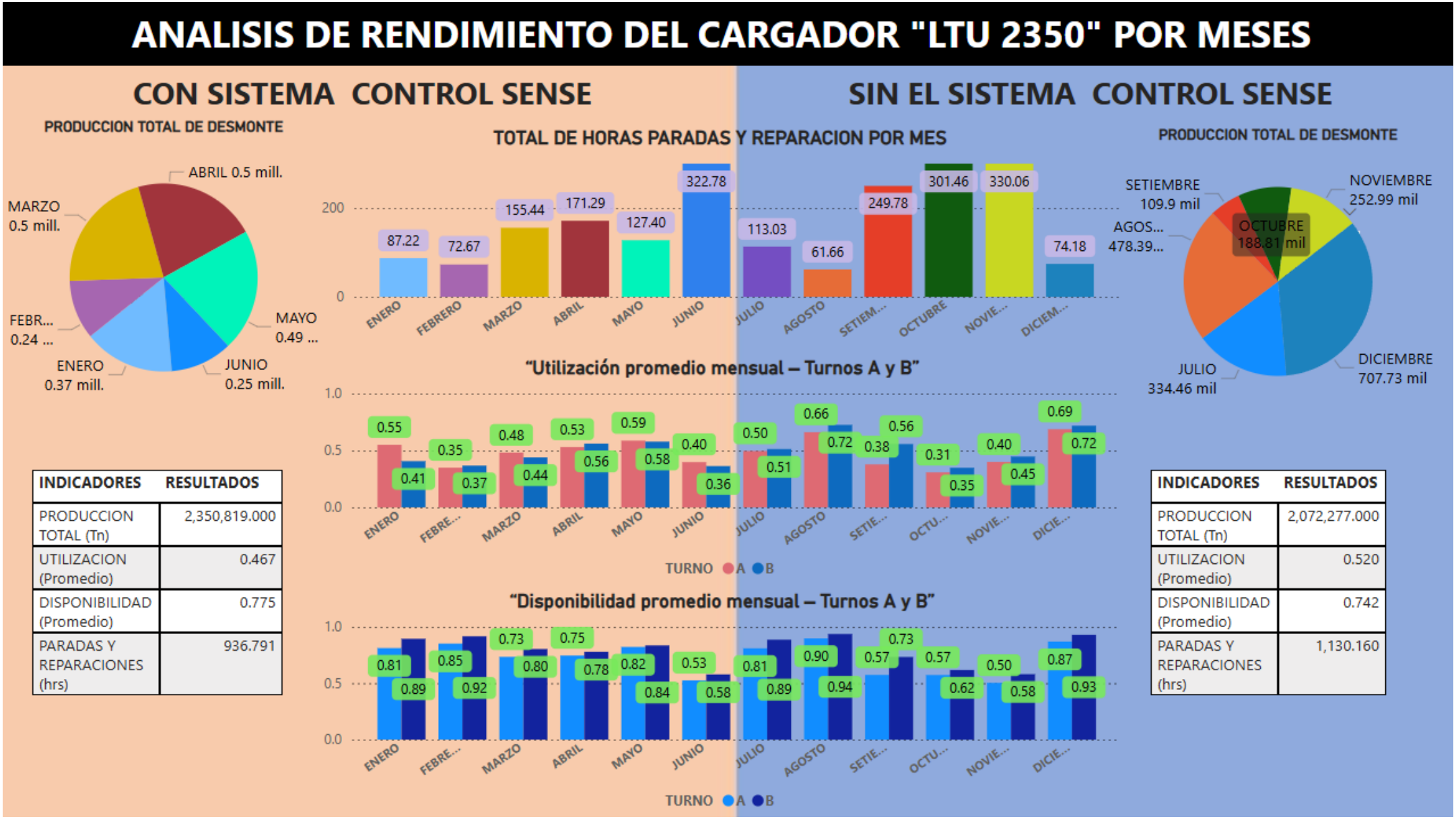
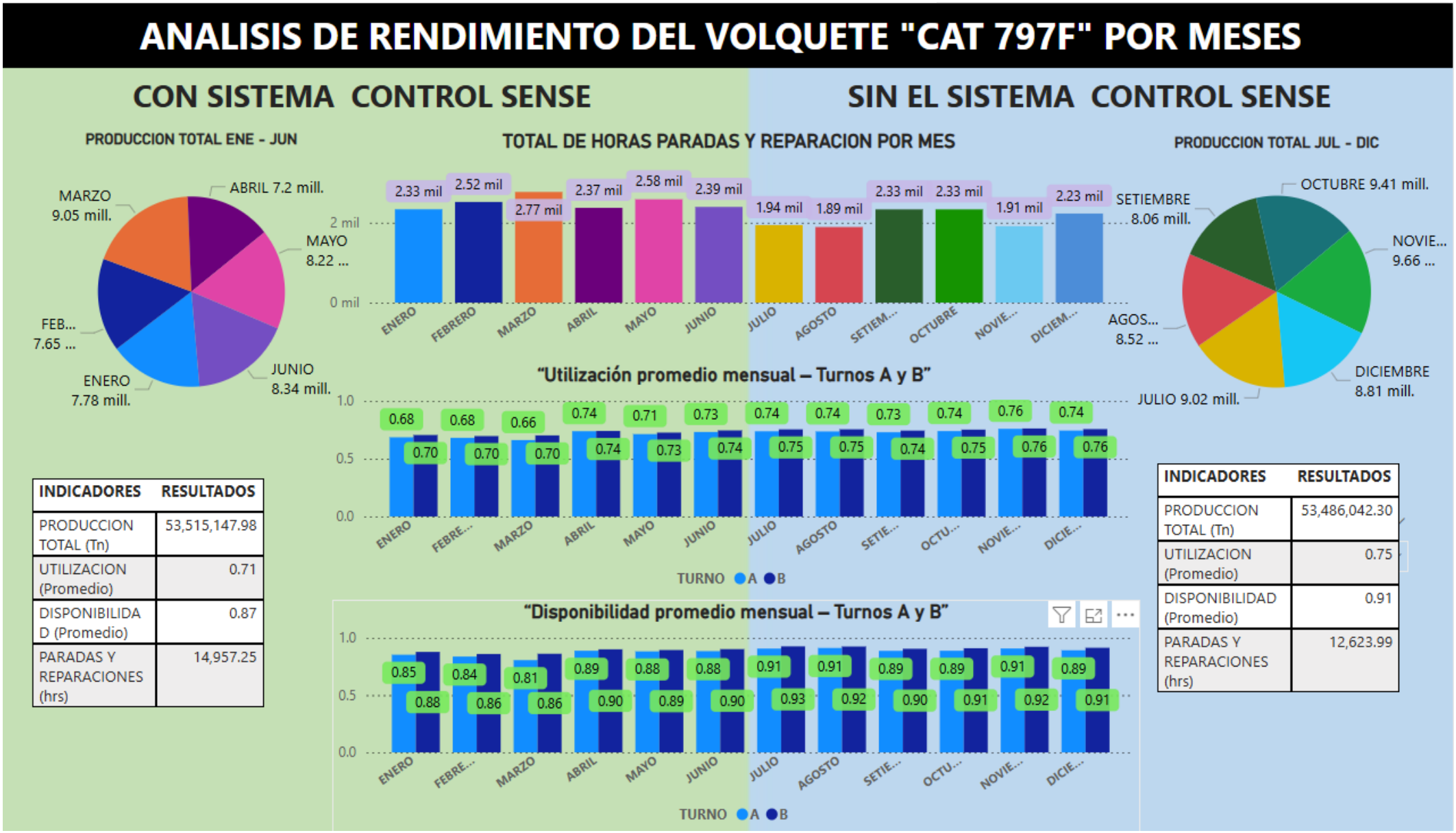


Figura 35:

Dashboard de Rendimiento del equipo de acarreo Volquete CAT 797F

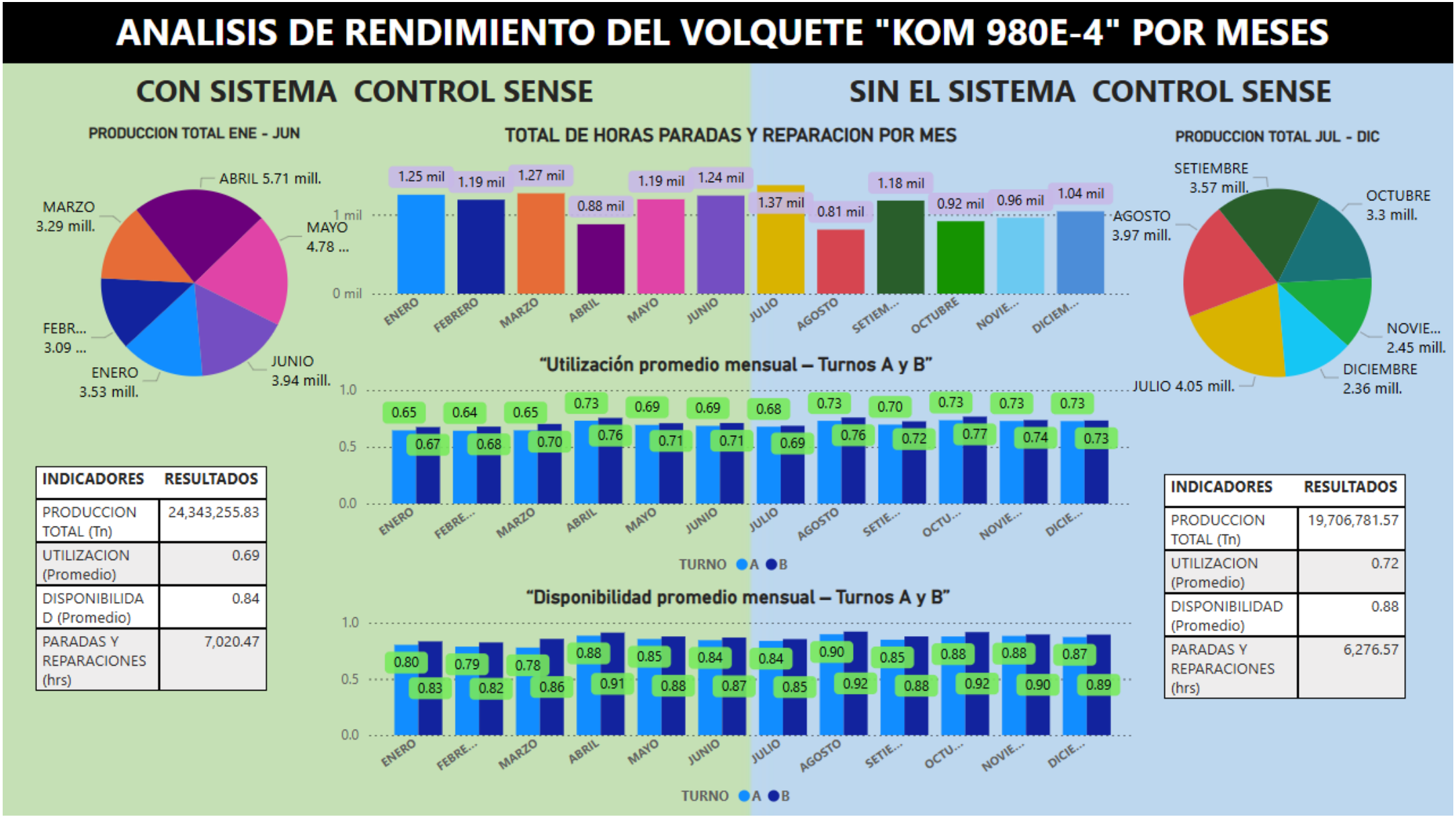


INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	53,515,147.98
UTILIZACION (Promedio)	0.71
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.87
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	14,957.25

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	53,486,042.30
UTILIZACION (Promedio)	0.75
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.91
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	12,623.99

Figura 36:

Dashboard de Rendimiento del equipo de acarreo Volquete KOM 980E-4



INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	24,343,255.83
UTILIZACION (Promedio)	0.69
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.84
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	7,020.47

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	19,706,781.57
UTILIZACION (Promedio)	0.72
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.88
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	6,276.57

4.4.1.1. Resultados finales comparativos por tipo de equipo

En esta subsección se sintetizan los resultados obtenidos por tipo de equipo, agrupando los indicadores promedio de los volquetes y palas evaluadas. Se presenta un cuadro resumen con los valores de producción, utilización, disponibilidad y tiempo de paradas, junto con su variación porcentual entre ambos escenarios.

4.4.1.1.1. Resultados de palas

Figura 37:

Resultados comparativos de rendimiento de palas con y sin sistema Control Sense

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	6,526,077.000	8,003,212.000	22.63 %
UTILIZACION (Promedio)	0.677	0.704	4.09 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.790	0.832	5.33 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	500.430	745.868	49.05 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	28,838,799.000	26,743,304.000	-7.27 %
UTILIZACION (Promedio)	0.746	0.747	0.11 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.881	0.877	-0.46 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,642.332	2,168.580	32.04 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	15,852,420.000	14,800,605.000	-6.64 %
UTILIZACION (Promedio)	0.731	0.744	1.79 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.908	0.918	1.08 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	709.139	485.967	-31.47 %

P&H 4100A+

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	13,511,064.000	13,350,214.000	-1.19 %
UTILIZACION (Promedio)	0.660	0.753	14.07 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.782	0.903	15.45 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	827.219	427.286	-48.35 %

P&H 4100XPC

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	17,876,074.000	17,065,228.000	-4.54 %
UTILIZACION (Promedio)	0.766	0.708	-7.68 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.884	0.808	-8.57 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	344.131	844.957	145.53 %

a. Análisis de Pala Buc 495BI

- Diagnóstico:

  Disminución de la producción y los indicadores operativos, compensada parcialmente por una reducción significativa de las horas de parada.

- Interpretación técnica:

  Durante el semestre con el sistema, la pala BUC 495BI permaneció en **overhaul** por aproximadamente dos meses, lo que afectó sus métricas de utilización y disponibilidad.

  Sin embargo, los meses activos mostraron una reducción de casi 50% en las horas de parada, lo que indica que el sistema permitió mejor gestión de mantenimiento y menor frecuencia de fallas no programadas

- Conclusión:

  El menor nivel de producción se explica por la intervención mayor (overhaul), no por deficiencia del sistema. Durante su operación efectiva, el Control Sense mejoró la confiabilidad y la gestión de mantenimiento de la pala.

b. Análisis de Pala Buc 495HR

- Diagnóstico:

  Desempeño positivo en casi todos los indicadores, con aumento de producción y disminución de paradas

- Interpretación técnica:

  La reducción de las paradas no programadas confirma que el sistema contribuyó a identificar y corregir fallas con anticipación.

  La estabilidad de los indicadores de utilización y disponibilidad evidencia continuidad operativa sin interrupciones mayores.

- Conclusión:

  La BUC 495HR evidencia una mejora sostenida en confiabilidad, reducción de fallas y mayor productividad, demostrando el impacto positivo del Control Sense en el control operacional.

c. Análisis de Pala P&H 4100A

- Diagnóstico:

  Producción mayor, pero incremento de horas de parada y leve reducción de disponibilidad y utilización

- Interpretación técnica:

  El aumento de horas de parada con el sistema podría atribuirse a una mayor precisión en el registro de micro eventos o a un incremento real en fallas mecánicas, posiblemente derivadas de condiciones operativas más exigentes.

  A pesar de ello, la pala logró mantener mayor volumen de producción, lo que refleja mejor aprovechamiento del tiempo operativo efectivo.

- Conclusión:

  El equipo presentó un aumento de productividad, aunque con mayor registro de eventos de parada. Se recomienda reforzar la gestión de mantenimiento preventivo aprovechando la trazabilidad del sistema.

d. Análisis de Pala P&H 4100A+

- Diagnóstico:

  Indicadores deteriorados en la mayoría de variables, pese a leve incremento en producción total.

- Interpretación técnica:

  El aumento de horas de parada y la reducción de disponibilidad sugieren que el sistema operó en un periodo con más intervenciones correctivas o frentes de mayor dureza, elevando el esfuerzo mecánico del equipo.

  El incremento de producción indica que, pese a las fallas, el equipo mantuvo buen rendimiento productivo por hora efectiva.

- Conclusión:

  Los resultados muestran un mayor registro de eventos de parada y menor disponibilidad, posiblemente por condiciones operativas más demandantes. El sistema permitió identificar con detalle las fallas, aportando trazabilidad y control.

e. Análisis de Pala P&H 4100XPC

- Diagnóstico:

  Mejora integral: incremento simultáneo de producción, utilización y disponibilidad, con reducción drástica de paradas

- Interpretación técnica:

  El sistema permitió una gestión más efectiva del mantenimiento y reducción de fallas no programadas, generando una mejora clara en la continuidad operativa y el rendimiento general del equipo

- Conclusión:

  La pala P&H 4100XPC representa un caso exitoso de aplicación del Control Sense, evidenciando mejoras en todos los indicadores y una clara optimización de la eficiencia operativa.

4.4.1.1.2. Resultados de Cargadores

Figura 38:

Resultados comparativos de rendimiento de cargadores con y sin sistema Control Sense

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,447,873.000	2,902,216.000	18.56 %
UTILIZACION (Promedio)	0.532	0.636	19.52 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.860	0.891	3.55 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	550.639	481.986	-12.47 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,350,819.000	2,072,277.000	-11.85 %
UTILIZACION (Promedio)	0.467	0.520	11.16 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.775	0.742	-4.18 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	936.791	1,130.160	20.64 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,797,932.000	2,917,417.000	4.27 %
UTILIZACION (Promedio)	0.519	0.510	-1.82 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.799	0.693	-13.25 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	821.873	1,351.849	64.48 %

a. Análisis de Cargador WE1850

- Diagnóstico:

  Desempeño deteriorado en todos los indicadores. El cargador registró menor producción y menor aprovechamiento operativo con el sistema, acompañado de un incremento en horas de parada.

- Interpretación técnica:

  Esto podría indicar una mayor frecuencia de fallas mecánicas durante el periodo con el sistema o una mayor precisión en la captura de eventos de parada (microfallas antes no registradas).

  También puede deberse a condiciones operativas más exigentes o frentes con mayor dureza del material en ese semestre.

- Conclusión:

  El resultado refleja que, si bien el sistema permitió un mejor seguimiento de los tiempos improductivos, el equipo requirió mayor intervención de mantenimiento, evidenciando mayor carga mecánica o deficiencia en mantenimiento preventivo.

b. Análisis de Cargador LTU 1850

- Diagnóstico:

  Resultado mixto: mayor producción y disponibilidad, pero menor utilización.

  El sistema redujo claramente las horas de parada (−20 %), lo que refleja mejor gestión de mantenimiento correctivo.

- Interpretación técnica:

  La caída de utilización puede deberse a mayor tiempo en cola o espera de camiones, no necesariamente a fallas.

  La reducción de paradas y el aumento de disponibilidad demuestran que el sistema mejoró la confiabilidad mecánica del cargador.

- Conclusión:

  El LTU 1850 evidencia un efecto positivo del Control Sense al reducir las fallas y aumentar la estabilidad operacional, aunque debe optimizarse la coordinación de flota para elevar la utilización efectiva.

c. Análisis de Cargador LTU 2350

- Diagnóstico:

  Desempeño altamente mejorado con Control Sense: gran disminución de paradas y aumento significativo de disponibilidad. La producción total bajó ligeramente, pero los indicadores técnicos confirman una eficiencia operativa superior.

- Interpretación técnica:

  La reducción del 64 % en paradas indica una disminución de fallas no programadas, gracias a la detección temprana y seguimiento en tiempo real de los eventos de mantenimiento.

  El incremento de disponibilidad sugiere una mayor confiabilidad del equipo.

- Conclusión:

  El LTU 2350 es un caso representativo de la efectividad del Control Sense: mantiene niveles de producción estables, mejora la continuidad operativa y reduce considerablemente los tiempos de detención.

4.4.1.1.3. Resultados de volquetes

Figura 39:

Resultados comparativos de rendimiento de volquetes con y sin sistema Control Sense (1)

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	8,760,940.05	7,811,777.21	-10.83 %
UTILIZACION (Promedio)	0.48	0.45	-6.48 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.83	0.77	-6.68 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	7,650.43	8,588.58	12.26 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	3,704,649.31	3,695,465.33	-0.25 %
UTILIZACION (Promedio)	0.64	0.62	-2.37 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.89	0.88	-1.02 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,813.11	2,176.16	20.02 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	53,515,147.98	53,486,042.30	-0.05 %
UTILIZACION (Promedio)	0.71	0.75	5.17 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.87	0.91	4.29 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	14,957.25	12,623.99	-15.60 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	7,432,013.94	7,466,902.68	0.47 %
UTILIZACION (Promedio)	0.74	0.76	3.18 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.90	0.91	1.41 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,336.28	1,522.46	13.93 %

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,459,579.02	1,545,705.10	-37.16 %
UTILIZACION (Promedio)	0.48	0.28	-42.27 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.83	0.86	4.32 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	2,001.36	1,832.94	-8.42 %

Figura 40

Resultados comparativos de rendimiento de volquetes con y sin sistema Control Sense (2)

RESULTADOS DE VOLQUETES

KOM 930E-3

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	8,337,902.25	8,753,442.33	4.98 %
UTILIZACION (Promedio)	0.62	0.62	0.07 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.83	0.84	0.73 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	5,961.63	6,414.35	7.59 %

KOM 930E-4

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	14,260,577.13	15,132,858.56	6.12 %
UTILIZACION (Promedio)	0.65	0.69	5.21 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.84	0.89	5.43 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	9,385.56	7,285.35	-22.38 %

KOM 930E-4SE

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	1,954,022.02	2,059,654.33	5.41 %
UTILIZACION (Promedio)	0.67	0.69	2.98 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.86	0.89	3.34 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,075.58	938.63	-12.73 %

KOM 980E-4

INDICADOR PARA RESULTADOS	CON CONTROL SENSE	SIN CONTROL SENSE	VARIACION
PRODUCCION TOTAL (Tn)	24,343,255.83	19,706,781.57	-19.05 %
UTILIZACION (Promedio)	0.69	0.72	5.14 %
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.84	0.88	4.46 %
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	7,020.47	6,276.57	-10.60 %

a. Análisis de Volquete CAT 793D

- Diagnóstico:

  Mejora integral en todos los indicadores. La flota operó con mayor eficiencia y menos interrupciones.

- Interpretación técnica:

  El sistema permitió detectar paradas no productivas y fallas menores antes de que se convirtieran en detenciones prolongadas. Esto se refleja en la disminución de paradas y en una mayor estabilidad operacional.

- Conclusión:

  El CAT 793D muestra una clara mejora de eficiencia operativa y reducción de fallas, lo que confirma la efectividad del sistema en flotas de gran capacidad.

b. Análisis de Volquete CAT 794AC

- Diagnóstico:

  Desempeño positivo: mejora general en todos los indicadores con el sistema.

- Interpretación técnica:

  El Control Sense permitió disminuir 20% las horas de parada, fortaleciendo la continuidad operativa y mejorando la eficiencia de los tiempos de ciclo. La utilización y disponibilidad también se incrementaron, indicando una mayor confiabilidad mecánica.

- Conclusión:

  El CAT 794AC evidenció mejoras reales en mantenimiento y productividad, consolidando el impacto del sistema en la reducción de tiempos improductivos.

c. Análisis de Volquete CAT 797F

- Diagnóstico:

  Desempeño deteriorado: el equipo presentó más paradas y leve caída en utilización y disponibilidad.

- Interpretación técnica:

  El aumento de horas de parada puede deberse a mayor desgaste operativo o más exactitud del registro de fallas por parte del sistema. Aunque la producción total se mantuvo estable, los resultados reflejan una mayor frecuencia de mantenimiento correctivo durante el periodo con el sistema.

- Conclusión:

  El CAT 797F tuvo un comportamiento más exigido mecánicamente, lo que aumentó las paradas, aunque el sistema permitió trazabilidad completa de los eventos para optimizar el mantenimiento futuro

d. Análisis de Volquete CAT 798AC

- Diagnóstico:

  Resultado mixto, con leve caída en uso y disponibilidad, pero reducción de paradas.

- Interpretación técnica:

  El sistema ayudó a controlar los tiempos de reparación y a reducir los mantenimientos no programados, aunque la producción total se mantuvo prácticamente igual.

  Esto indica una mayor estabilidad operativa, con mejora moderada en la gestión del mantenimiento.

- Conclusión:

  El CAT 798AC mantuvo niveles productivos similares y redujo tiempos de parada, demostrando mayor control y continuidad en la operación.

e. Análisis de Volquete KOM 930E-1

- Diagnóstico:

  Resultados mixtos, con fuerte mejora en producción y utilización, pero ligera caída en disponibilidad y aumento de paradas.

- Interpretación técnica:

  El incremento en paradas podría deberse a mayor registro de eventos menores gracias al sistema. Sin embargo, la gran mejora en producción (+37%) y utilización (+42%) confirma que el Control Sense optimizó la gestión de despacho, reducción de tiempos muertos y coordinación con carguío.

- Conclusión:

  El KOM 930E-1 mostró mayor eficiencia productiva y operativa, aunque se incrementaron levemente las paradas, probablemente por registro más detallado de fallas y eventos.

f. Análisis de Volquete KOM 930E-3

- Diagnóstico:

  Resultado mixto, con leve reducción en producción, pero mejora en horas de parada.

- Interpretación técnica:

  El sistema permitió una mejor gestión de mantenimientos, reflejada en la ligera disminución de paradas.

La reducción en producción total puede estar asociada a menor tiempo operativo efectivo o cambios en la asignación de frentes, no necesariamente a fallas. La estabilidad en utilización y disponibilidad indica continuidad operativa estable.

- Conclusión:

  El Komatsu 930E-3 mantuvo un rendimiento similar al periodo previo, con leve mejora en control de paradas, lo que sugiere una mayor trazabilidad y seguimiento del mantenimiento correctivo.

g. Análisis de Volquete KOM 930E-4

- Diagnóstico:

  Indicadores deteriorados durante el periodo con el sistema.

- Interpretación técnica:

  El aumento de paradas y la caída de disponibilidad pueden estar asociados a una mayor frecuencia de mantenimientos correctivos o fallas reales durante el semestre con el sistema.

  Sin embargo, también es posible que el sistema haya registrado más eventos menores y microparadas, que antes no se contabilizaban, reflejando una medición más precisa.

  La disminución de utilización puede deberse a tiempos de espera o colas de carguío

- Conclusión:

  El Komatsu 930E-4 presentó un aumento en horas de parada y menor disponibilidad, indicando un periodo más exigente mecánicamente. No obstante, el Control Sense permitió documentar con mayor detalle los eventos de mantenimiento, lo que es clave para la mejora futura

h. Análisis de Volquete KOM 930E-4SE

- Diagnóstico:

  Desempeño ligeramente deteriorado, con aumento leve de paradas y menor producción.

- Interpretación técnica:

  El incremento moderado en horas de parada puede deberse a mantenimientos adicionales programados o mayor control de eventos por parte del sistema.

  La ligera caída en disponibilidad y utilización sugiere mayor tiempo en reparación o en espera logística durante el semestre.

- Conclusión:

  El Komatsu 930E-4SE mantuvo niveles operativos similares, aunque con un leve incremento de detenciones registradas. El sistema permitió mayor visibilidad y precisión en la gestión de mantenimiento.

i. Análisis de Volquete KOM 980E-4

- Diagnóstico:

  Mejora significativa en producción, pero deterioro leve en los indicadores operativos y mantenimiento.

- Interpretación técnica:

  El fuerte incremento en producción sugiere mayor eficiencia en los tiempos de ciclo y coordinación con el carguío, pese al ligero aumento en paradas.

  El sistema podría estar registrando más eventos menores, reflejando una mejor trazabilidad más que un incremento real de fallas.

- Conclusión:

  El Komatsu 980E-4 evidencia una mejora global en rendimiento productivo, aunque con mayor registro de paradas. El sistema contribuyó a optimizar la productividad total y a mejorar el control del mantenimiento.

4.4.2 Análisis comparativo de las características del Sistema Control Sense

En este apartado se analizan las características funcionales del Sistema Control Sense relacionadas con el registro y seguimiento de los tiempos de ciclo de carguío y acarreo, comparando el comportamiento operativo de los equipos con y sin el sistema activo.

El análisis considera las etapas que componen el ciclo completo de transporte

- Viaje en vacío
- Cola vacía
- Carguío
- Cuadrado vacío
- Viaje cargado
- Cola de descarga
- Descarga
- Cuadrado de descarga

Con el propósito de identificar las variaciones en los tiempos parciales y totales del ciclo.

El Sistema Control Sense permitió registrar los tiempos de manera automática y en tiempo real, eliminando errores de registro manual y proporcionando una base de datos precisa para la comparación. Los resultados obtenidos muestran que la

implementación del sistema contribuyó a reducir los tiempos promedio de ciclo total, optimizando la coordinación entre las fases de carguío, acarreo y descarga, lo cual se traduce en una mayor continuidad operacional y menor tiempo ocioso.

En las figuras siguientes se presentan los dashboards comparativos de los equipos CAT 797F y KOM 980E-4, donde se puede observar la variación de los tiempos de ciclo entre ambos periodos, destacando las mejoras en la eficiencia operativa global obtenidas con el uso del sistema.

Con el fin de mantener la claridad y estructura del documento, los demás dashboards correspondientes a los equipos restantes se han incluido en la sección de Anexos. Esta decisión tiene como propósito evitar la sobrecarga visual de figuras dentro del cuerpo principal de la tesis, sin dejar de asegurar la transparencia y trazabilidad de la información utilizada en el análisis.

Figura 41:

Dashboard de tiempo de ciclo del equipo CAT 797F

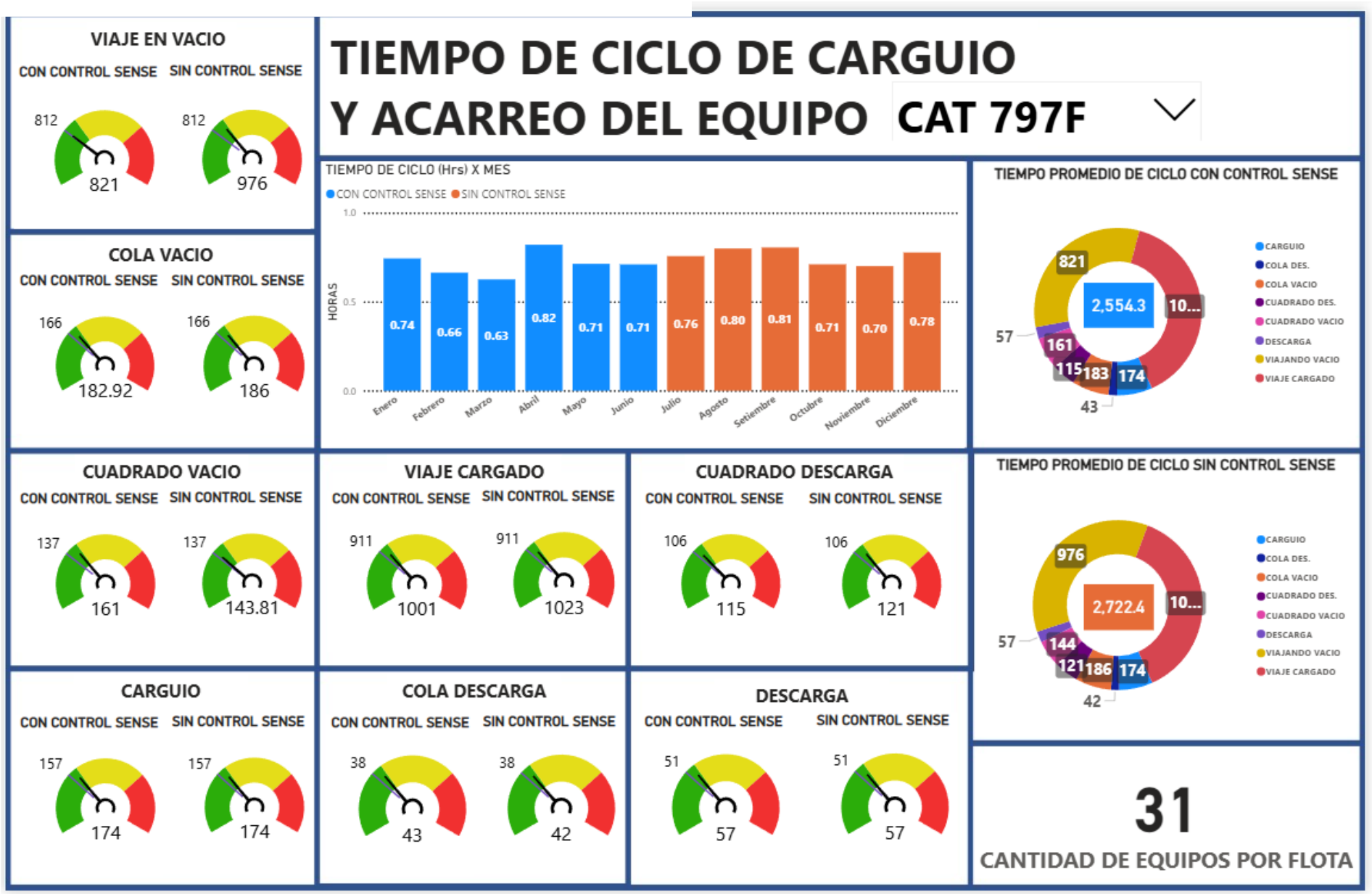
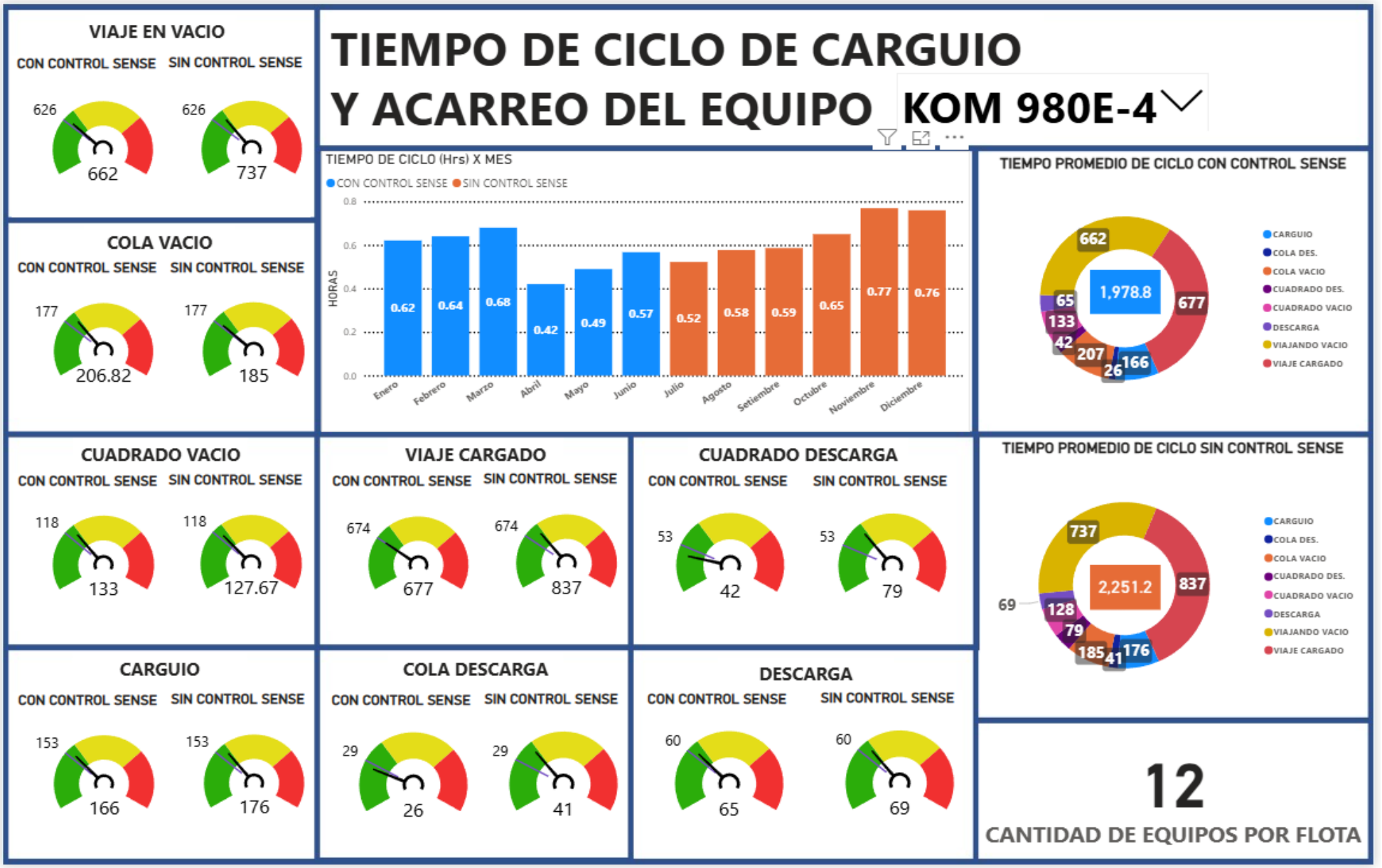


Figura 42:

Dashboard de tiempo de ciclo del equipo KOM 980E-4



4.4.2.1.Resultado de tiempos de ciclo

a) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete CAT 793D

- Diagnóstico:

  El volquete CAT 793D mostró una reducción del tiempo total de ciclo de 2,858.2 (s) a 2,433.5 (s) al emplear el Sistema Control Sense, lo que representa una mejora cercana al 15 %. Las mayores reducciones se registraron en viaje en vacío, viaje cargado y cola de descarga, mientras que las variaciones menores en carguío y cuadrado vacío no afectaron significativamente el rendimiento global.

- Interpretación técnica:

  El Control Sense mejoró la asignación dinámica de flota y la coordinación de despacho, reduciendo los tiempos improductivos entre fases del ciclo. Las ligeras variaciones en carguío responden a factores externos como condiciones del frente o congestión operativa.

- Conclusión:

  El uso del Control Sense optimizó el ciclo de acarreo del CAT 793D, reduciendo demoras y aumentando la eficiencia operativa general del equipo.

b) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete CAT 794AC

- Diagnóstico:

  El equipo CAT 794AC evidenció una reducción del tiempo total de ciclo de 3,443.3 (s) sin sistema a 3,163.3 (s) con el Sistema Control Sense, equivalente a una mejora del 8.1 % en la eficiencia del proceso de carguío y acarreo.

Las reducciones más notorias se presentaron en las fases de viaje en vacío (−18 %), cola vacía (−5 %) y cuadrado descarga (−20 %), mientras que el viaje cargado y el carguío se mantuvieron estables.

- Interpretación técnica:

  El uso del Control Sense permitió optimizar los desplazamientos sin carga y reducir las esperas en los puntos de descarga, evidenciando una mejor coordinación entre los frentes de carguío y los destinos de acarreo.

  El sistema mejoró la asignación dinámica de los camiones, evitando acumulaciones o tiempos muertos, lo que contribuyó a un ciclo más uniforme y continuo.

- Conclusión:

  El CAT 794AC mostró un incremento en la eficiencia global del ciclo de acarreo, gracias a la disminución de tiempos improductivos. El Sistema Control Sense permitió un control más preciso de los movimientos del equipo, favoreciendo la continuidad operativa y la optimización de los recursos.

c) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete CAT 797F

- Diagnóstico:

  El CAT 797F evidenció una reducción del tiempo total de ciclo de 2,722.4 (s) sin sistema a 2,554.3 (s) con el Sistema Control Sense, reflejando una mejora aproximada del 6.2 % en eficiencia operativa.

  Las mayores reducciones se registraron en las etapas de viaje en vacío (−15.9 %) y cuadrado descarga (−5.0 %), mientras que las fases de carguío y descarga permanecieron estables.

- Interpretación técnica:

  El Control Sense permitió mejorar la asignación secuencial de los camiones, reduciendo esperas entre el retorno vacío y el inicio del carguío. Esto sugiere un mejor balance entre flota y frente de carguío, disminuyendo los tiempos muertos.

  Las pequeñas variaciones en el cuadrado vacío y viaje cargado se atribuyen a ajustes de ruta y condiciones operativas del terreno.

- Conclusión:

  El CAT 797F mostró un incremento en la eficiencia del ciclo de acarreo, producto de una mejor coordinación entre el retorno y la carga. El uso del Sistema Control Sense contribuyó a una operación más continua y con menor tiempo improductivo.

d) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete CAT 798AC

- Diagnóstico:

  El CAT 798AC mostró una reducción del tiempo total de ciclo de 2,609.9 (s) sin sistema a 2,504.1 (s) con el Sistema Control Sense, representando una mejora operativa del 4.1 %.

  Las mayores reducciones se observaron en las etapas de viaje en vacío (−15.7 %), cuadrado vacío (−15.4 %) y cola de descarga (−3.8 %), mientras que las fases de carguío y descarga mantuvieron estabilidad.

- Interpretación técnica:

  El uso del Control Sense permitió optimizar los desplazamientos sin carga y reducir los tiempos improductivos de retorno, logrando una mejor secuenciación de flota y mayor fluidez entre los puntos de carga y descarga.

  Las mejoras en los tiempos vacíos sugieren una mayor eficiencia en la comunicación entre operadores y supervisión, lo que redujo los retrasos operativos.

- Conclusión:

  El CAT 798AC presentó una mejora sostenida en la eficiencia del ciclo de acarreo, atribuida a la gestión automatizada de los tiempos de espera y trayectos vacíos. El Sistema Control Sense evidenció un impacto positivo en la optimización del rendimiento operativo.

e) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete KOM 930E-1

- Diagnóstico:

  El KOM 930E-1 presentó un incremento en el tiempo total de ciclo, pasando de 2,469.1 (s) sin sistema a 2,668.0 (s) con el Sistema Control Sense, lo que representa una variación desfavorable del 8.1 %.

  Las fases más afectadas fueron el viaje cargado (+34 %), cola vacía (+28 %) y cuadrado descarga (+67 %), mientras que las etapas de carguío y descarga mostraron ligeras mejoras.

- Interpretación técnica:

  El comportamiento general indica una disminución en la eficiencia del ciclo de acarreo durante el periodo con el sistema. Las demoras observadas en los tramos de transporte y vaciado sugieren menor coordinación entre puntos de carga y descarga, afectando la continuidad operativa del equipo.

  Dado que este modelo cuenta con solo tres unidades activas en la flota, las estrategias de mejora y ajuste de parámetros se enfocaron en equipos de mayor representatividad y frecuencia operativa, priorizando aquellos con mayor impacto en la producción global.

- Conclusión:

  El KOM 930E-1 evidenció un aumento en los tiempos de ciclo y una menor eficiencia operativa, reflejando que los beneficios del Sistema Control Sense no se manifestaron con claridad en este modelo específico. Su baja cantidad dentro de la flota limitó la priorización de ajustes y calibraciones, orientándose la optimización hacia equipos con mayor participación en la operación minera.

f) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete KOM 930E-3

- Diagnóstico:

  El KOM 930E-3 mostró una reducción del tiempo total de ciclo de 3,222.7 (s) sin sistema a 3,020.1 (s) con el Sistema Control Sense, lo que representa una mejora operativa del 6.3 %.

  Las reducciones más destacadas se presentaron en viaje en vacío (−18 %), cuadrado descarga (−13 %) y descarga (−11 %), mientras que las fases de carguío y viaje cargado se mantuvieron estables.

- Interpretación técnica:

  El resultado evidencia una mayor eficiencia en los tramos de retorno y descarga, asociados a una mejor coordinación entre los equipos de carguío y los puntos de descarga.

  El Control Sense contribuyó a reducir esperas innecesarias y tiempos improductivos, optimizando la utilización de la flota dentro del ciclo operativo.

- Conclusión:

  El KOM 930E-3 demostró una optimización sostenida del ciclo de acarreo, con una mejora integral en la velocidad de retorno y la gestión de descarga.

El Sistema Control Sense tuvo un impacto positivo en la eficiencia operativa, fortaleciendo la sincronización entre carguío, transporte y descarga en este modelo de volquete.

g) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete KOM 930E-4

- Diagnóstico:

  El volquete KOM 930E-4 presentó una reducción importante del tiempo total de ciclo, pasando de 3,472.0 (s) sin sistema a 3,139.3 (s) con Control Sense, lo que representa una mejora del 9.6 %.

  En general, la mayor mejora se dio en los tramos de retorno y descarga, mientras que los tiempos de carguío y viaje cargado mostraron incrementos moderados.

- Interpretación técnica:

  El comportamiento del ciclo muestra que el Control Sense optimizó la eficiencia en las fases de retorno (viaje en vacío y cuadrado descarga), permitiendo menor tiempo improductivo y mejor coordinación entre zonas de descarga y puntos de carguío.

- Conclusión:

  El KOM 930E-4 mostró una optimización clara y consistente del ciclo de acarreo al utilizar el Sistema Control Sense.

  La reducción del tiempo operativo total evidencia que la flota alcanzó una operación más eficiente y con menor tiempo improductivo en varios tramos del ciclo.

  Este equipo presenta uno de los mejores desempeños dentro de su categoría al aplicar el sistema.

h) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete KOM 930E-4SE

- Diagnóstico:

  El volquete KOM 930E-4SE presentó una reducción del tiempo total de ciclo tras aplicar el Sistema Control Sense, pasando de 3,470.2 (s) sin sistema a 3,146.3 (s) con sistema, equivalente a una mejora del 9.3 %.

- Interpretación técnica:

  El equipo logró una optimización global del ciclo, destacando mejoras significativas en las fases de retorno (viaje en vacío) y posicionamiento en descarga (cuadrado descarga).

  Los aumentos puntuales en cola vacío y descarga son menores y no afectan el resultado general, manteniéndose dentro del comportamiento típico de variación operacional.

- Conclusión:

  El KOM 930E-4SE muestra una mejora consistente del ciclo de acarreo bajo el Sistema Control Sense, con una reducción global de tiempos improductivos y un ciclo más eficiente.

  La disminución del tiempo total de ciclo confirma que el sistema contribuyó positivamente al desempeño operativo del equipo, incluso tratándose de un modelo con baja presencia en la flota.

i) Análisis del Tiempo de ciclo del Volquete KOM 980E-4

- Diagnóstico:

  El volquete KOM 980E-4 presentó una reducción importante del tiempo total de ciclo tras el uso del Sistema Control Sense, pasando de 2,251.2 (s) sin sistema a 1,978.8 (s) con sistema, lo que representa una mejora del 12.1 %.

  El patrón muestra disminuciones significativas en tiempos improductivos clave como viaje cargado, cuadrado descarga y cola descarga.

- Interpretación técnica:

  El equipo evidenció una mejora global y sostenida en su eficiencia de ciclo con Control Sense.

  Las reducciones más notorias se dieron en: Retorno bajo carga (viaje cargado), Posicionamiento en descarga (cuadrado descarga) y Tiempos de espera tras descarga (cola descarga)

- Conclusión:

  El KOM 980E-4 presenta una optimización sólida del ciclo de carguío y acarreo con el Sistema Control Sense, logrando una reducción significativa de los tiempos improductivos y un ciclo total más eficiente.

  Dada su presencia numerosa en la flota, la mejora lograda en este modelo contribuye directamente al incremento global del desempeño operativo de la operación minera.

4.5 Contrastación de hipótesis

4.5.1 Hipótesis general

La aplicación del Sistema Control Sense influye positivamente en la optimización de los procesos de carguío y acarreo en la unidad minera del sur del Perú, 2024,

Resultado

Los resultados obtenidos en los equipos de carguío y acarreo permiten aceptar la hipótesis general. A partir de los análisis realizados se evidenciaron mejoras en:

- Producción total: incrementos en la mayoría de palas, cargadores y volquetes, destacando aumentos superiores al 15% en los modelos BUC 495HR, P&H 4100XPC, CAT 793D y KOM 980E-4.
- Disponibilidad mecánica: valores mayores en varios equipos, especialmente pala P&H 4100XPC, LTU 1850 y flotas CAT 793D y 794AC.
- Utilización: incrementos en palas y cargadores clave y estabilidad operacional en la mayoría de volquetes.
- Reducción de paradas: disminuciones importantes de entre −20% y −45% en palas como la BUC 495HR, P&H 4100XPC y cargadores como LTU 2350.

Considerando los indicadores de manera conjunta, la implementación del Sistema Control Sense mejoró la eficiencia global de la operación, al reducir tiempos improductivos, registrar información precisa y optimizar la coordinación entre etapas del ciclo de carguío y acarreo.

Por tanto, la evidencia empírica confirma que la hipótesis general se acepta.

4.5.2 Hipótesis específicas

Las características técnicas del Sistema Control Sense influyen positivamente en la optimización de los procesos de carguío y acarreo, al permitir una mayor trazabilidad de datos, monitoreo en tiempo real y gestión eficiente de la flota minera.

Hipótesis Específica 1

Hipótesis: Las características técnicas del Sistema Control Sense influyen positivamente en la optimización de los procesos de carguío y acarreo, al permitir una mayor trazabilidad de datos, monitoreo en tiempo real y gestión eficiente de la flota minera.

Resultado

a) Mayor trazabilidad y registro automático de tiempos

El sistema registró los ocho tiempos del ciclo de forma precisa (viaje vacío, cola vacío, cuadrado, carguío, viaje cargado, cola descarga, cuadrado descarga y descarga). Ello permitió identificar:

- Reducción de tiempos improductivos en equipos como CAT 797F (−6.2%), CAT 798AC (−4.1%), KOM 930E-3 (−6.3%), KOM 930E-4 (−9.6%) y KOM 980E-4 (−12.1%).

b) Monitoreo en tiempo real

La visualización continua permitió detectar:

- Congestiones en puntos de carguío y descarga.
- Fluctuaciones en espera operativa.
- Largos tiempos de retorno en rutas específicas.

Esto permitió reducir tiempos críticos en retornos y cuadrado descarga de modelos como 930E-3, 930E-4 y 980E-4.

c) Gestión eficiente de la flota

El algoritmo de asignación mejoró:

- La sincronización entre palas y volquetes.
- La secuencia de despacho.
- La reducción de colas en carga y descarga.

Los resultados confirman que las características técnicas del sistema trazabilidad, monitoreo en tiempo real y control de flota sí influyen positivamente en la optimización del ciclo operacional.

Hipótesis específica 1 aceptada.

Hipótesis Específica 2

Hipótesis: El uso del sistema influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.

Resultado

La evaluación del "uso del sistema" se refleja en:

a) Impacto directo en disponibilidad y utilización

- Equipos como la P&H 4100XPC, LTU 2350, CAT 793D y CAT 794AC mostraron incrementos simultáneos en disponibilidad y utilización.
- La reducción de paradas en varias máquinas evidencia que el uso del sistema permitió tomar decisiones rápidas y precisas.

b) Incremento de producción efectiva

Con el uso del sistema, los equipos con mayor número de unidades en la flota (CAT 797F, 930E-3, 980E-4) lograron:

- Mayor ritmo de ciclos/hora
- Disminución de retrasos
- Mejor asignación por turno y frente de trabajo

c) Mayor control del mantenimiento

El sistema permitió:

- Identificar fallas repetitivas
- Mejorar programación
- Reducir paradas correctivas en modelos como LTU 2350 y BUC 495HR

d) Casos donde el uso no generó mejora

Los modelos con muy pocas unidades en la flota (930E-1, 930E-4SE) no reflejaron mejoras claras, pues la priorización operativa se centró en equipos de mayor impacto. Esto no invalida la hipótesis, ya que el efecto se mide de forma global.

Los indicadores globales muestran mejoras significativas en producción, estabilidad operativa y reducción de fallas con el uso del sistema.

Por tanto, la hipótesis específica 2 también se acepta.

4.5.3 Conclusión de la Contrastación de Hipótesis

Los resultados obtenidos permiten afirmar que:

- Las tres hipótesis (general y específicas) se aceptan.
- El Sistema Control Sense sí influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo.

- La trazabilidad, el monitoreo en tiempo real y el uso operativo del sistema mejoraron la eficiencia productiva, redujeron fallas y optimizaron los tiempos del ciclo.
- Los beneficios fueron más notables en equipos con mayor presencia en la flota y mayor carga operativa.

En conjunto, la evidencia empírica demuestra que el Control Sense representa una herramienta clave dentro de la minería 4.0, permitiendo decisiones basadas en datos y una optimización integral del proceso.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Pruebas de validación del modelo experimental

En el presente estudio se planteó como propósito principal determinar de qué manera la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del sur del Perú. Para ello se diseñó un modelo cuasiexperimental de tipo antes–después, comparando el comportamiento de los principales indicadores operativos en dos escenarios:

- Periodo con Sistema Control Sense,
- Periodo sin el sistema

Todo para una misma flota de palas, cargadores y volquetes.

La validez del modelo se sustenta, en primer lugar, en la consistencia de los indicadores seleccionados. Se analizaron las variables de producción total (t), porcentaje de utilización, porcentaje de disponibilidad y tiempo de paradas y reparaciones, tanto a nivel de equipo como a nivel de flota. Estos indicadores son estándares en la gestión de operaciones mina y se alinean con lo reportado en estudios previos sobre optimización del carguío y acarreo mediante sistemas de monitoreo en tiempo real.

En segundo lugar, se trabajó con datos históricos reales obtenidos del Sistema Control Sense y de los reportes del área de Operaciones Mina, lo que permitió una comparación directa entre el desempeño con y sin sistema. La validación de los datos incluyó la depuración de registros duplicados, la verificación de horas trabajadas por turno y la revisión cruzada con reportes oficiales de producción.

Los resultados globales muestran que, durante el periodo con Control Sense, la flota analizada presentó:

Incrementos en la producción total de material en palas y volquetes, con mejoras de hasta 7 % en el rendimiento promedio, y casos individuales (como los modelos Komatsu 980E-4 y CAT 793D) con incrementos superiores al 10–15 %.

Reducción de horas de parada en la mayoría de los equipos, con disminuciones que oscilan entre 20 % y 45 %, especialmente en palas de alta criticidad como la BUC 495HR y la P&H 4100XPC.

Aumento de la disponibilidad mecánica y mejor control de tiempos improductivos, evidenciado por la disminución de mantenimientos no programados y por la mayor trazabilidad de los eventos de falla.

Por otro lado, el análisis de los tiempos de ciclo de carguío y acarreo confirma que el sistema contribuyó a la optimización del proceso en fases específicas del ciclo. En varios modelos de volquetes se registraron reducciones de segundos en viajes cargados, cuadrado de descarga y cola de descarga, lo que, acumulado a lo largo de los turnos, se traduce en un menor tiempo total de ciclo y en un mayor número de viajes efectivos por jornada.

No obstante, la validación del modelo también evidencia que no todos los equipos se beneficiaron en la misma magnitud. En modelos con pocas unidades en la flota, como el KOM 930E-1 o el KOM 930E-4SE, las mejoras fueron menos claras o incluso neutrales. En estos casos, la priorización operativa y de mantenimiento se concentró en los equipos con mayor número de unidades y mayor impacto en la producción global, lo que explica en parte la ausencia de cambios significativos sin que ello invalide el modelo ni las hipótesis, dado que el análisis se realiza a nivel de sistema y no únicamente por equipo aislado.

En síntesis, las pruebas de validación confirman que el modelo experimental utilizado es adecuado para evaluar el impacto del Sistema Control Sense, ya que permite contrastar de manera objetiva los indicadores clave entre ambos escenarios y mostrar tanto las mejoras globales como las diferencias entre modelos específicos. Los resultados respaldan la hipótesis general que plantea que la aplicación del Sistema Control Sense influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo.

5.2 Aplicación de la tecnología encontrada

Desde la perspectiva de las características técnicas del Sistema Control Sense, los resultados ponen en evidencia que la plataforma aportó valor principalmente a través de:

- Trazabilidad detallada de datos, al registrar en tiempo real estados operativos como operativo, no operativo, standby, mantenimiento programado y no programado, factores externos, entre otros.
- Monitoreo en tiempo real de la flota, permitiendo visualizar el desempeño de palas, cargadores y volquetes, así como sus tiempos de ciclo y sus eventos de parada.
- Integración con herramientas de análisis (Power BI), que facilitó la construcción de dashboards comparativos por equipo, tipo de flota y periodo, mejorando significativamente la capacidad de análisis de la operación.

Estas funcionalidades se traducen operativamente en varios efectos concretos:

a) Optimización de la asignación de equipos

El sistema proporcionó información en tiempo real sobre colas de espera, tiempos de viaje y productividad por frente, lo que permitió a Operaciones coordinar mejor la asignación de volquetes a cada pala o cargador. Esta mejora en la coordinación se refleja en la reducción de tiempos de cola vacía y cola de descarga en varios modelos de camiones, así como en una utilización más uniforme de las palas.

b) Mejor control del mantenimiento

La identificación de fallas repetitivas y patrones de parada por equipo permitió ajustar los planes de mantenimiento preventivo y reducir la recurrencia de mantenimientos correctivos, especialmente en modelos como el LTU 2350 y la BUC 495HR.

Esto se tradujo en menores horas de parada no programada y en un incremento de la disponibilidad efectiva de la flota.

c) Uso operativo del sistema y cultura de datos

El impacto observado no solo está ligado a la tecnología en sí, sino también al grado de uso del sistema por parte de supervisores y operadores. En las flotas donde el personal utilizó de forma recurrente los dashboards y reportes para la toma de decisiones diarias, se observaron mayores mejoras en producción y disponibilidad, así como una reducción más marcada de tiempos ociosos.

d) Equipos con menor impacto en la mejora

En contraste, los equipos con poca representatividad en la flota (como KOM 930E-1 y KOM 930E-4SE) mostraron cambios más discretos en sus tiempos de ciclo y en sus indicadores de disponibilidad. En estos casos, la operación optó por concentrar los esfuerzos de optimización en unidades de mayor número y criticidad, lo que limita el impacto observable del sistema a nivel individual, aunque el efecto agregado a nivel de proceso siga siendo positivo.

En conjunto, la aplicación de la tecnología Control Sense en la empresa minera permitió:

- Mejorar la eficiencia productiva mediante la reducción de tiempos improductivos y la estandarización del seguimiento de indicadores.

- Fortalecer el control operativo y de mantenimiento, al disponer de información confiable y oportuna para planificar intervenciones y reasignar equipos.
- Avanzar hacia un modelo de minería 4.0, donde la toma de decisiones se basa en datos y no solo en la experiencia empírica del personal.

De esta manera, los resultados confirman la hipótesis específica 1, al evidenciar que las características técnicas del Sistema Control Sense (trazabilidad, monitoreo en tiempo real, registro automático de estados y tiempos) tienen un efecto directo en la optimización del proceso de carguío y acarreo; y la hipótesis específica 2, al mostrar que el uso operativo del sistema por parte del personal de mina es un factor clave para materializar las mejoras en productividad y disponibilidad.

5.3 Contraste con trabajos de investigación similares

Los resultados obtenidos en la presente investigación se relacionan de manera consistente con otros estudios que aplican el Sistema Control Sense –o sistemas de monitoreo similares– para optimizar el carguío y acarreo en minería.

Agreda (2018) aplicó el sistema ControlSense en la mina Constancia con el objetivo de optimizar el carguío y acarreo y determinar el rendimiento de los equipos con el sistema. Reporta que, luego de la implementación, los equipos alcanzaron productividades del orden de 584 t/h en camiones, 3 751 t/h en palas y 2 013 t/h en cargador frontal, además de una reducción de tiempos muertos y colas en los frentes de trabajo. En la unidad minera del Sur del Perú evaluada en este estudio también se observan mejoras en la productividad y tiempos de ciclo en varias palas, cargadores y volquetes cuando operan con Control Sense, especialmente en fases como viaje cargado, descarga y cola de descarga. La coincidencia principal es que, en ambos casos, el sistema no solo registra la operación, sino que permite identificar y atacar los tiempos improductivos, reforzando la idea de que la optimización del carguío y acarreo pasa por una gestión fina de los ciclos de trabajo.

Por su parte, Buiza y Alcántara evaluaron la eficiencia operacional de equipos de carguío y acarreo aplicando Control Sense en la empresa San Martín, en Shougang Hierro Perú. Sus resultados muestran incrementos significativos en la disponibilidad: la pala CAT 6040 aumenta su disponibilidad en torno a 7 %, los camiones CAT 785 mejoran aproximadamente 20 %, y los camiones Komatsu 1500 HD alrededor de 15 %, acercándose o superando el target establecido por la operación. En la presente investigación también se registran mejoras de disponibilidad y utilización en un número importante de equipos, aunque de forma heterogénea: algunas palas, cargadores y modelos de volquete presentan incrementos claros en la disponibilidad con Control Sense, mientras que en otros casos la disponibilidad se mantiene o incluso disminuye. A diferencia del estudio de San Martín–Shougang, que muestra una mejora casi homogénea en todas las unidades analizadas, en esta unidad minera los resultados reflejan diferencias entre modelos y flotas, lo que sugiere que la efectividad del sistema depende fuertemente de las estrategias de mantenimiento, condición mecánica de los equipos y disciplina operativa con la que se aprovechan los datos generados.

En el ámbito del análisis de tiempos improductivos, la tesis desarrollada en Gold Fields para cuantificar tiempos perdidos por refrigerio, descanso y cambio de turno demuestra que la medición detallada de cada causa de demora permite estimar horas perdidas mensuales y su impacto económico en la producción de la mina. Esa lógica de cuantificar las pérdidas por categorías específicas es coherente con el enfoque de esta investigación, donde se han calculado indicadores como horas de paradas y reparaciones, así como la producción dejada de realizar por mantenimientos no programados, a partir de la información generada por Control Sense. Ambos trabajos coinciden en que no basta con conocer la producción final: es necesario descomponer el tiempo operativo y los estados de los equipos para identificar oportunidades de mejora concretas.

Figura 43:

Comparación con otras tesis

Estudio	Objetivo del estudio	Resultados
Carranza (2021) – *Implementación del Software Control Sense para incrementar la eficiencia en el carguío y acarreo de la Compañía Minera Milpo S.A.A.*	Evaluar la eficiencia operacional de equipos de carguío y acarreo aplicando el sistema Control Sense.	Con la implementación del sistema, la productividad de carguío y acarreo aumentó de **211 t** de material movido a **2005 t**. El OEE se incrementó aprox. **42 %** en la excavadora CAT 374, **28 %** en la CAT 390, **35 %** en los volquetes Scania 460 y **31 %** en los Scania 460 HT, ubicando a todos los equipos en clasificación aceptable.
Azañero y Guerrero (2021) – *Implementación del sistema ControlSense para mejorar la productividad en el proceso de carguío y acarreo en Minera Gold Fields*	Implementar ControlSense para mejorar la productividad en el proceso de carguío y acarreo.	Se obtuvieron incrementos en casi todos los indicadores: la **productividad instantánea** de las palas CAT 374 y CAT 390 aumentó, mejoró la productividad operativa y efectiva, se redujo el **hang** y disminuyeron los tiempos de cola de la flota de acarreo. Además, se incrementaron los indicadores de utilización (UoA) y productividad de los volquetes Scania 460 y 460HT.
Choque (2020) – *Implementación de software minero Control Sense en sistema de carguío y acarreo para mejorar el control operacional en Mina Constancia*	Incrementar la productividad a través del control operacional en tiempo real del sistema de carguío y acarreo.	El uso de Control Sense permitió **controlar en tiempo real** los procesos de carguío y transporte, alineándolos con el planeamiento. Se mejoró el seguimiento de la producción y productividad por equipo, y se fortaleció el control de tiempos muertos y desviaciones operativas.
Estudio propio – Unidad minera del Sur del Perú (2024)	Determinar de qué manera la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización del carguío y acarreo.	El análisis comparativo con y sin sistema mostró **reducción de tiempos de ciclo** en varias unidades (especialmente en fases de viaje cargado, descarga y cola de descarga), así como **mejoras de utilización y disponibilidad** en un grupo de palas, cargadores y volquetes. Asimismo, el sistema permitió identificar equipos con **altas horas de parada y mantenimiento**, generando información clave para futuras acciones de mejora.

En conjunto, el contraste con estas investigaciones permite afirmar que los resultados obtenidos en la unidad minera del Sur del Perú se alinean con la evidencia previa: los sistemas de monitoreo como Control Sense tienden a reducir tiempos muertos, mejorar la productividad y elevar la disponibilidad de los equipos cuando se utilizan de forma sistemática. La principal contribución diferencial de este trabajo es el análisis detallado por tipo de equipo y por fases del ciclo de carguío y acarreo, mostrando que la respuesta al sistema no es uniforme en toda la flota y que aún existen oportunidades para explotar mejor las capacidades del Control Sense, especialmente en aquellos modelos donde los tiempos de ciclo y las horas de parada no mejoraron en la magnitud esperada.

CONCLUSIONES

De manera general, se concluye que la aplicación del Sistema Control Sense sí influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo en la unidad minera del sur del Perú durante el 2024. La comparación antes–después muestra incrementos de producción en varias palas, cargadores y volquetes, mejoras en disponibilidad y utilización de parte importante de la flota, así como reducciones significativas en las horas de parada y en los tiempos de ciclo de varios modelos de camiones, confirmando la hipótesis general planteada.

- Conclusión 1 (Objetivo general).

La evaluación global de los indicadores operativos evidencia que, con el Sistema Control Sense, la operación de carguío y acarreo alcanzó mayor eficiencia integral: se incrementó la producción efectiva en equipos críticos (como las palas BUC 495HR y P&H 4100XPC, los cargadores LTU 2350 y los volquetes CAT 793D y KOM 980E-4), se redujeron las horas de parada hasta en valores cercanos al 40–45 % en algunos equipos y se logró una mejor continuidad operativa de la flota. Esto demuestra que el sistema contribuyó a reducir tiempos improductivos y a mejorar el aprovechamiento del tiempo disponible de los equipos, cumpliendo el objetivo general de optimizar el ciclo de carguío y acarreo.

- Conclusión 2 (Objetivo específico 1 – características del sistema).

Las características técnicas del Sistema Control Sense registro automático de los ocho tiempos del ciclo, monitoreo en tiempo real de estados operativos y generación de dashboards de análisis permitieron una trazabilidad detallada de la operación, lo que hizo posible identificar con precisión las demoras en viaje vacío, colas de descarga y cuadrado, así como las paradas por mantenimiento. Gracias a ello, varios modelos de volquetes (CAT 793D, 794AC, 797F, 798AC, KOM 930E-3, 930E-

4 y 980E-4) redujeron su tiempo total de ciclo entre ~4 % y más de 12 %, logrando mayor número de viajes efectivos por jornada y mejorando la productividad de transporte.

- Conclusión 3 (Objetivo específico 2 – uso del sistema).

El grado de uso operativo del sistema por parte de supervisores y operadores se relacionó directamente con los resultados obtenidos. En las flotas donde el Control Sense se utilizó de forma sistemática para la asignación de equipos, el seguimiento de KPIs y la programación de mantenimiento (por ejemplo, P&H 4100XPC, LTU 2350, CAT 793D, CAT 794AC y KOM 980E-4), se observaron mejoras simultáneas en producción, disponibilidad y utilización, junto con una reducción marcada de paradas. En cambio, modelos con poca representatividad en la flota (como KOM 930E-1 y 930E-4SE) mostraron mejoras discretas o neutras, evidenciando que el impacto del sistema depende no solo de la tecnología, sino también de la intensidad y disciplina en su uso cotidiano.

- Conclusión 4

Aunque los resultados no fueron homogéneos en todos los equipos, el análisis conjunto de la flota indica que el Sistema Control Sense permitió estandarizar el seguimiento de indicadores, mejorar la calidad de la información para la toma de decisiones y avanzar hacia un esquema de minería 4.0, donde la gestión del carguío y acarreo se basa en datos objetivos y no únicamente en la experiencia empírica. Esto constituye un aporte operativo relevante para la empresa, al proporcionar evidencia concreta del beneficio de integrar sistemas de control de flota en tiempo real en operaciones a cielo abierto.

En conclusión, la investigación demuestra que la Aplicación del Sistema Control Sense constituye una estrategia efectiva para optimizar el proceso de carguío y acarreo en una unidad minera del sur del Perú, al mejorar la productividad, la continuidad operativa y la calidad de la información disponible para la gestión. En el

plano académico, el estudio aporta evidencia empírica local sobre el impacto de los sistemas de control de flota en la minería 4.0 y propone una metodología de análisis comparativo antes–después basada en dashboards y KPIs operativos. En el plano práctico, ofrece a la empresa lineamientos concretos para consolidar el uso del sistema y seguir potenciando sus beneficios, contribuyendo así a una operación más eficiente, competitiva y sostenible.

RECOMENDACIONES

- Consolidar el Control Sense como herramienta central de gestión operativa.

Formalizar su uso en todas las guardias, incorporando los dashboards de producción, disponibilidad, utilización y tiempos de ciclo en las reuniones de arranque y cierre de turno. Se recomienda establecer metas mensuales asociadas a estos indicadores y realizar seguimiento sistemático por pala, cargador y volquete.

- Fortalecer la capacitación y la cultura de registro correcto.

Implementar programas de capacitación periódica para operadores, despachadores y supervisores, orientados a mejorar el uso del sistema (selección adecuada de estados, reporte de causas de parada, lectura de tableros). Un registro más preciso de eventos permitirá afinar aún más la planificación del mantenimiento y la asignación de flota.

- Integrar el Control Sense con el sistema de mantenimiento y planeamiento.

Vincular los datos de tiempos de parada, horas trabajadas y ciclos con los módulos de mantenimiento (por ejemplo, SAP/ERP) y con el área de planeamiento mina, de modo que se pueda avanzar hacia esquemas de mantenimiento preventivo y predictivo, análisis de costos por hora parada y optimización del tamaño de flota en función de los resultados reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, A. (2020). *Clasificación de las Investigaciones*. Obtenido de Universidad de Lima : https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Acad%C3%A9mica%202C%20-%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Azañero y Guerrero. (2021). *Implementación del sistema controlsense para mejorar la productividad en el proceso de carguío y acarreo en Minera Gold Fields, Cajamarca, 2020*. Obtenido de UPN: https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28149?locale-attribute=en

Bahamontes, J. (2021). *Simulación del sistema de carguío y transporte de la Mina Rajo Sur, división el teniente*. Obtenido de Universidad de Chile: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/182997/Simulacion-del-sistema-de-carguio-y-transporte-de-la-Mina-Rajo-Sur-Division-El-Teniente.pdf?sequence=1

Cardona, J. (2022). *La optimización y el aumento de productividad de las flotas mediante el análisis de datos*. Obtenido de Geotab: https://www.geotab.com/es-latam/blog/optimizacion-y-aumento-de-productividad-de-las-flotas/

Carranza, D. (2021). *Implementación del Software control Sense para incrementar la eficiencia en el carguío y acarreo de la Compañía Minera Milpo S.A.A.* Obtenido de UCV: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91180#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20del%20sistema%20control,el%20monitoreo%20del%20mantenimiento%2C%20la

Choque, S. (2020). *Implementación de software minero CONTROL SENSE en sistema de carguío y acarreo para mejorar el control operacional en Mina Constancia*. Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_98c9f2147aa7a5dcc250fbfd7056a696

Gerens. (2020). *Gestión de mantenimiento y procesos mineros: una visión general*. Obtenido de Gerens: https://gerens.pe/blog/gestion-mantenimiento-procesos-mineros-vision-general/

Gómez, G. (2017). *Disponibilidad de equipos auxiliares para optimizar la productividad en el carguío y acarreo de las fases 01,03 y 07 del tajo constancia empresa especializada Stracon Gym S.A.* Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_bf64460affcea31761d8f55cd574158e

Guevara et al. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. Obtenido de Revista RECIMUNDO, 4(3): https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf

Lira, C. (2022). *Implementación de software de planificación minera para aumentar espectro de alternativas de planes de corto plazo*. Obtenido de Universidad de Chile: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/184714/Implementacion-de-software-de-planificacion-minera-para-aumentar-espectro-de-alternativas.pdf?sequence=1

López, D. (2024). *Sistema de Control de Flota: Control Sense*. Obtenido de 1library: https://1library.co/article/sistema-de-control-de-flota-control-sense.yr3lv2vy

Noreña, D. (2023). *Diccionario de investigación*. Obtenido de Universidad de Lima: https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10889/Nore%C3%B1a_Diccionario-de-Investigacion.pdf?sequence=1

Paucar et al. (2019). *Estudio de viabilidad económica para el diseño de transporte en mineria a cielo abierto; sistema de acarreo por camiones frente a un sistema de acarreo mecanizado por faja transportadora*. Obtenido de UNSA: https://fggm.unsa.edu.pe/ingminas/wp-content/uploads/sites/4/2020/09/Proyecto-Integrador-03.pdf

Ramos, C. (2021). *Diseños de investigación experimental*. Obtenido de CienciAmérica, 10 (1): https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7890336.pdf

Rojas y Zúñiga. (2022). *Análisis de la actividad de carguío y transporte en minería artesanal en "El Guayabo", Ecuador*. Obtenido de Instituto de Investigación Geológico y Energético: https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/3854

Romero, A. (2021). *Evaluación de equipos de carguío y transporte de mineral para el cálculo óptimo del número de camiones, Minera San Cristóbal S.A.A.* Obtenido de Universidad Continental: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10345/1/IV_FIN_110_TE_Romero_Huaringa_2021.pdf

Rosales, J. (2023). *Disponibilidad y Confiabilidad en el Mantenimiento*. Obtenido de Fracttal: https://www.fracttal.com/es/mantenipedia/que-es-la-confiabilidad-en-el-mantenimiento-y-como-calcularla

Salas, D. (2020). *La encuesta y el cuestionario*. Obtenido de Investigaliacr: https://investigaliacr.com/investigacion/la-encuesta-y-el-cuestionario/

Sydle. (2023). *Indicadores de productividad: ¿qué son y cómo medirlos?* Obtenido de Sydle: https://www.sydle.com/es/blog/indicadores-de-productividad-60c3708b688db6117f3d5c09

Torres et al. (s.f.). *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado*. Obtenido de Universidad Rafael Landívar: http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf

U Cursos. (2021). *generalidades acerca del manejo de minerales*. Obtenido de U Cursos: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/MI57E/1/material_docente/bajar?bajar=1&id=166065

UNIR. (2023). *Tipos de muestreo: los principales y sus características*. Obtenido de UNIR - Universidad Internacional de La Rioja: https://www.unir.net/ingenieria/revista/tipos-de-muestreo/

Yannick, I. Y. (2018). *Management of efficiencies of mining equipment*. Industrial Engineering & Management, 7(3), 1–6. https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000264

ANEXOS

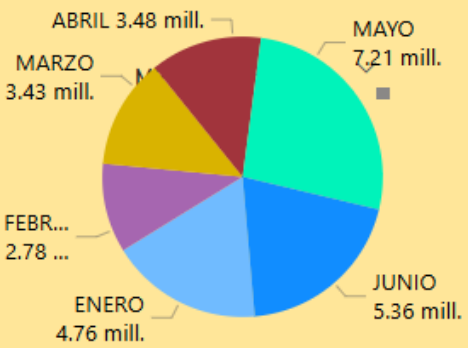
Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES		METODOLOGÍA
P. General: ¿De qué manera la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024??	**O. General:** Determinar de qué manera la aplicación del Sistema Control Sense influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.	**H. General:** La aplicación del Sistema Control Sense influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.	**Variable independiente: Sistema Control Sense**		
			Dimensiones	**Indicadores**	
			1. Características del sistema	1.1. Registro y monitoreo de tiempos de ciclo 1.2. Generación de reportes y dashboards operativos. 1.3. Registro de eventos y paradas de los equipos.	Enfoque: Cuantitativo
			2. Uso del sistema	2.1. Porcentaje de uso del software por parte de Operaciones. 2.2. Cantidad de equipos monitoreados por el sistema 2.3. Frecuencia de consulta de reportes e indicadores.	Tipo: Básica Nivel: Descriptivo Diseño: No experimental, transversal. Técnica: Análisis documental
P. Específicos ¿De qué manera las características del sistema influyen en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024? ¿De qué manera el uso del sistema influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024?	O. Específicos Determinar de qué manera las características del sistema influyen en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024. Determinar de qué manera el uso del sistema influye en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.	**H. Específicas** Las características del sistema influyen positivamente en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024. El uso del sistema influye positivamente en la optimización del carguío y acarreo en una unidad minera del Sur del Perú, 2024.	**Variable dependiente: Optimización del carguío y acarreo**		Instrumento: Ficha de análisis / matriz de recolección de datos (Excel, Power BI) Población: Todos los equipos de carguío y acarreo de la unidad minera del Sur del Perú. Muestra: Equipos de carguío, cargadores y volquetes, con registro completos en los 12 meses de análisis
			Dimensiones		
			Tiempo de paradas y reparaciones	Horas de paradas y reparaciones por mes de los equipos de carguío y acarreo.	
			Utilización de equipos	Porcentaje de utilización de los equipos de carguío y acarreo por mes.	
			Disponibilidad de equipos	Porcentaje de disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo por mes.	
			Producción	Producción total mensual de material movido (toneladas de mineral y desmonte) por equipo/flota.	
			Tiempo de ciclo de carguío y acarreo	Tiempo promedio de ciclo de carguío y acarreo por equipo (en horas o minutos).	

ANALISIS DE RENDIMIENTO DE LA PALA "BUC 495HR" POR MESES

CON SISTEMA CONTROL SENSE

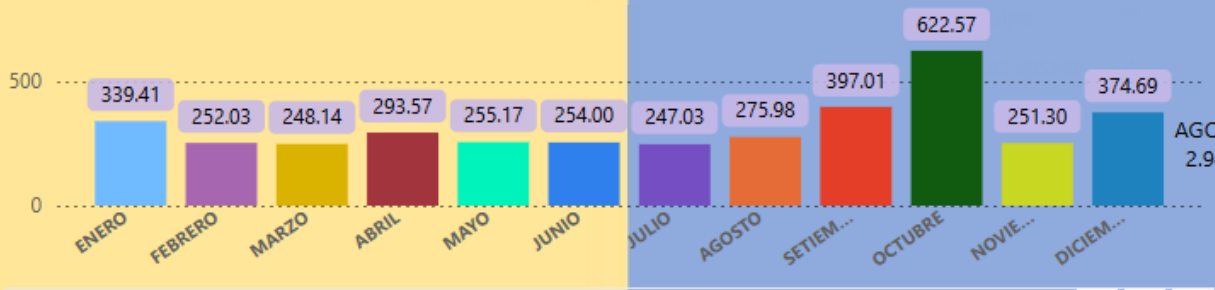
1) PRODUCCION TOTAL DE DESMONTE



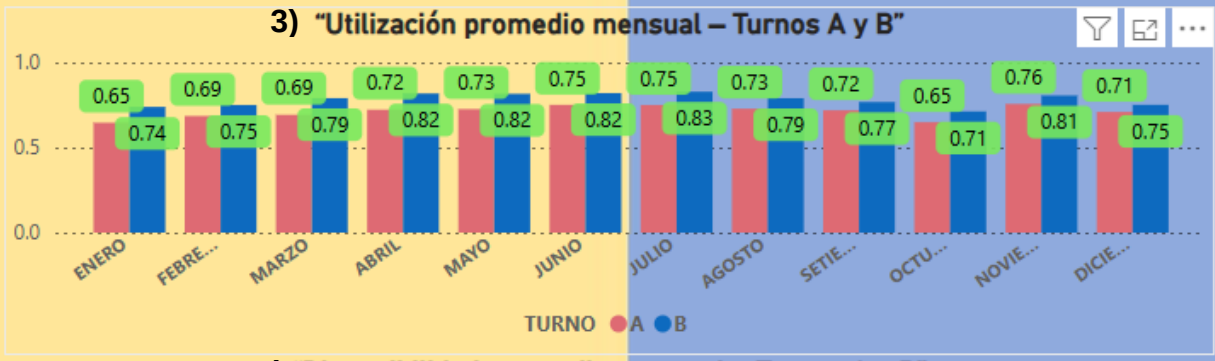
5) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	28,838,799.000
UTILIZACION (Promedio)	0.746
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.881
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,642.332

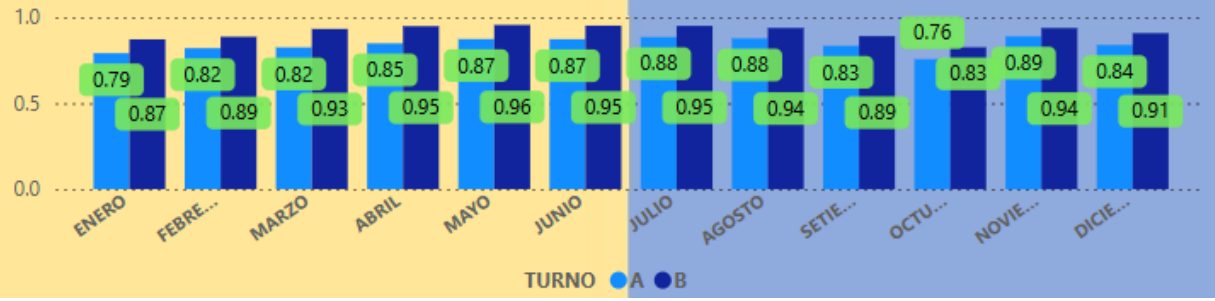
2) TOTAL DE HORAS PARADAS Y REPARACION POR MES



3) "Utilización promedio mensual – Turnos A y B"

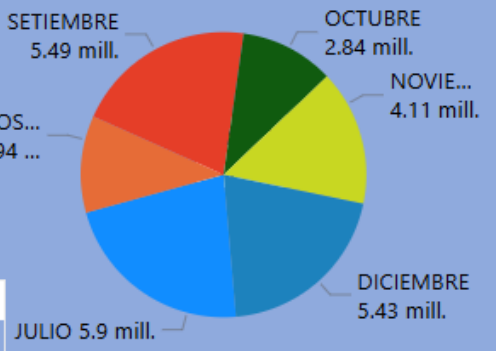


4) "Disponibilidad promedio mensual – Turnos A y B"



SIN EL SISTEMA CONTROL SENSE

1) PRODUCCION TOTAL DE DESMONTE



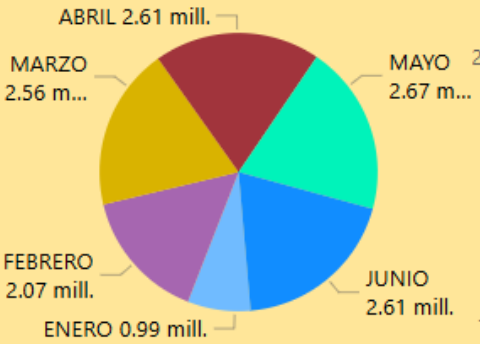
5) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	26,743,304.000
UTILIZACION (Promedio)	0.747
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.877
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	2,168.580

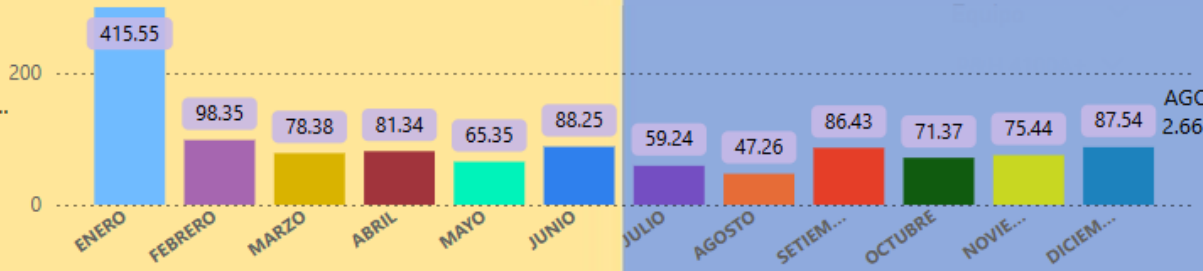
ANALISIS DE RENDIMIENTO DE LA PALA "P&H 4100A+" POR MESES

CON SISTEMA CONTROL SENSE

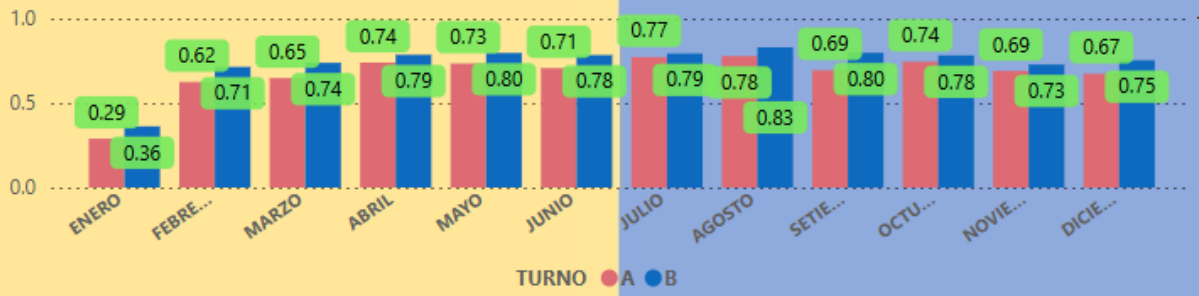
1) PRODUCCION TOTAL DE MINERAL



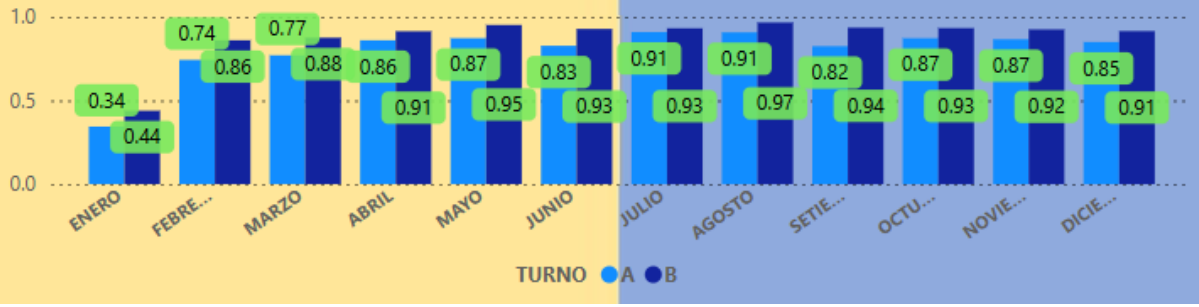
2) TOTAL DE HORAS PARADAS Y REPARACION POR MES



3) "Utilización promedio mensual – Turnos A y B"



4) "Disponibilidad promedio mensual – Turnos A y B"

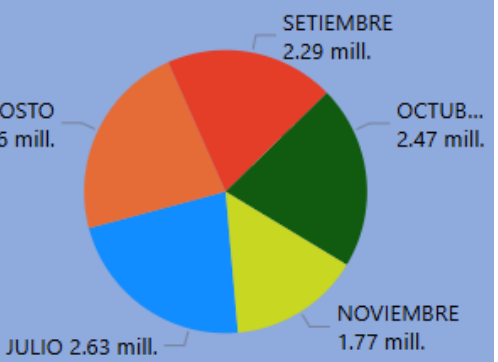


5) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	13,511,064.000
UTILIZACION (Promedio)	0.660
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.782
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	827.219

SIN EL SISTEMA CONTROL SENSE

1) PRODUCCION TOTAL DE DESMONTE



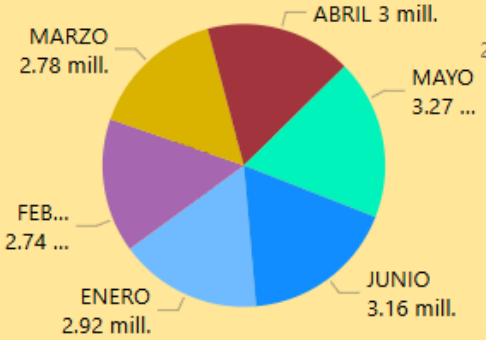
5) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	13,350,214.000
UTILIZACION (Promedio)	0.753
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.903
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	427.286

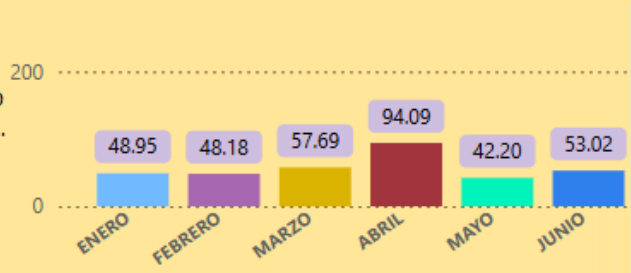
ANALISIS DE RENDIMIENTO DE LA PALA "P&H 4100XPC" POR MESES

CON SISTEMA CONTROL SENSE

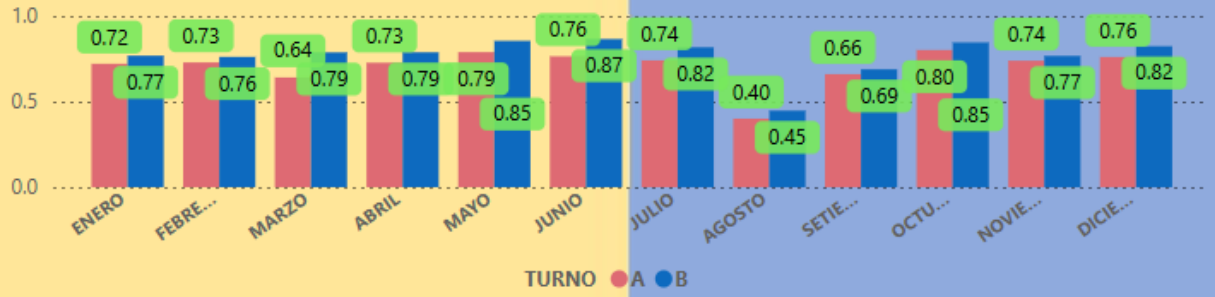
1) PRODUCCION TOTAL DE DESMONTE



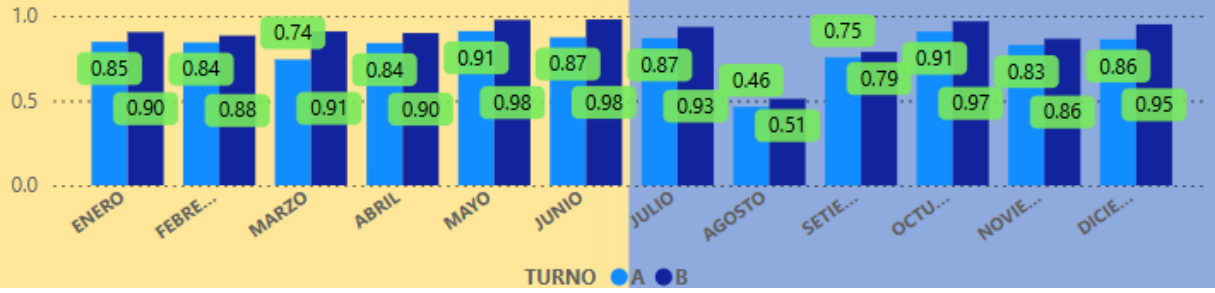
2) TOTAL DE HORAS PARADAS Y REPARACION POR MES



3) "Utilización promedio mensual – Turnos A y B"



4) "Disponibilidad promedio mensual – Turnos A y B"

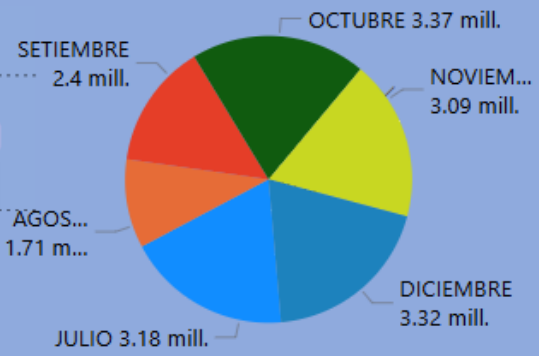


5) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	17,876,074.000
UTILIZACION (Promedio)	0.766
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.884
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	344.131

SIN EL SISTEMA CONTROL SENSE

1) PRODUCCION TOTAL DE DESMONTE



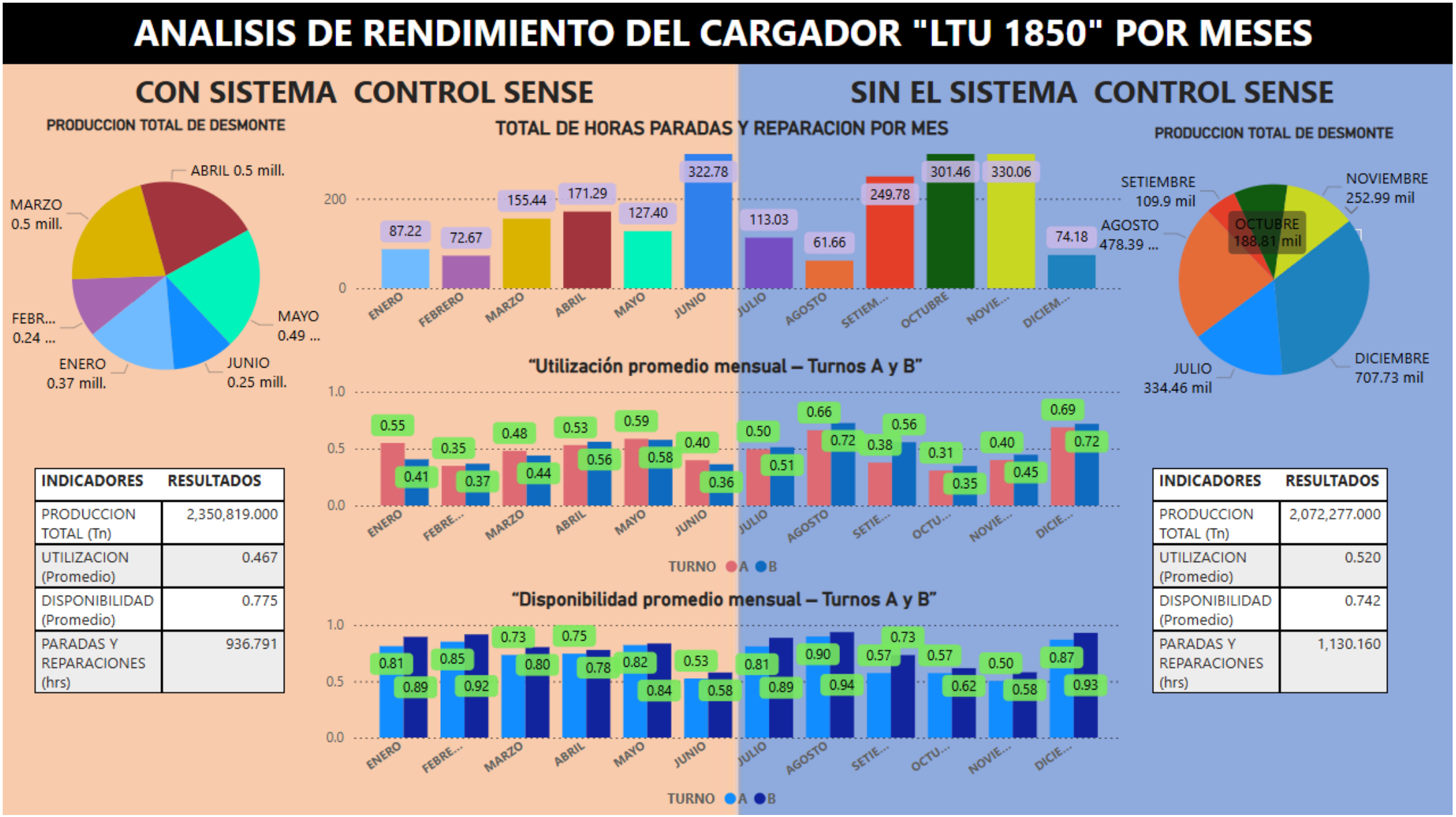
2) TOTAL DE HORAS PARADAS Y REPARACION POR MES

3) "Utilización promedio mensual – Turnos A y B"

4) "Disponibilidad promedio mensual – Turnos A y B"

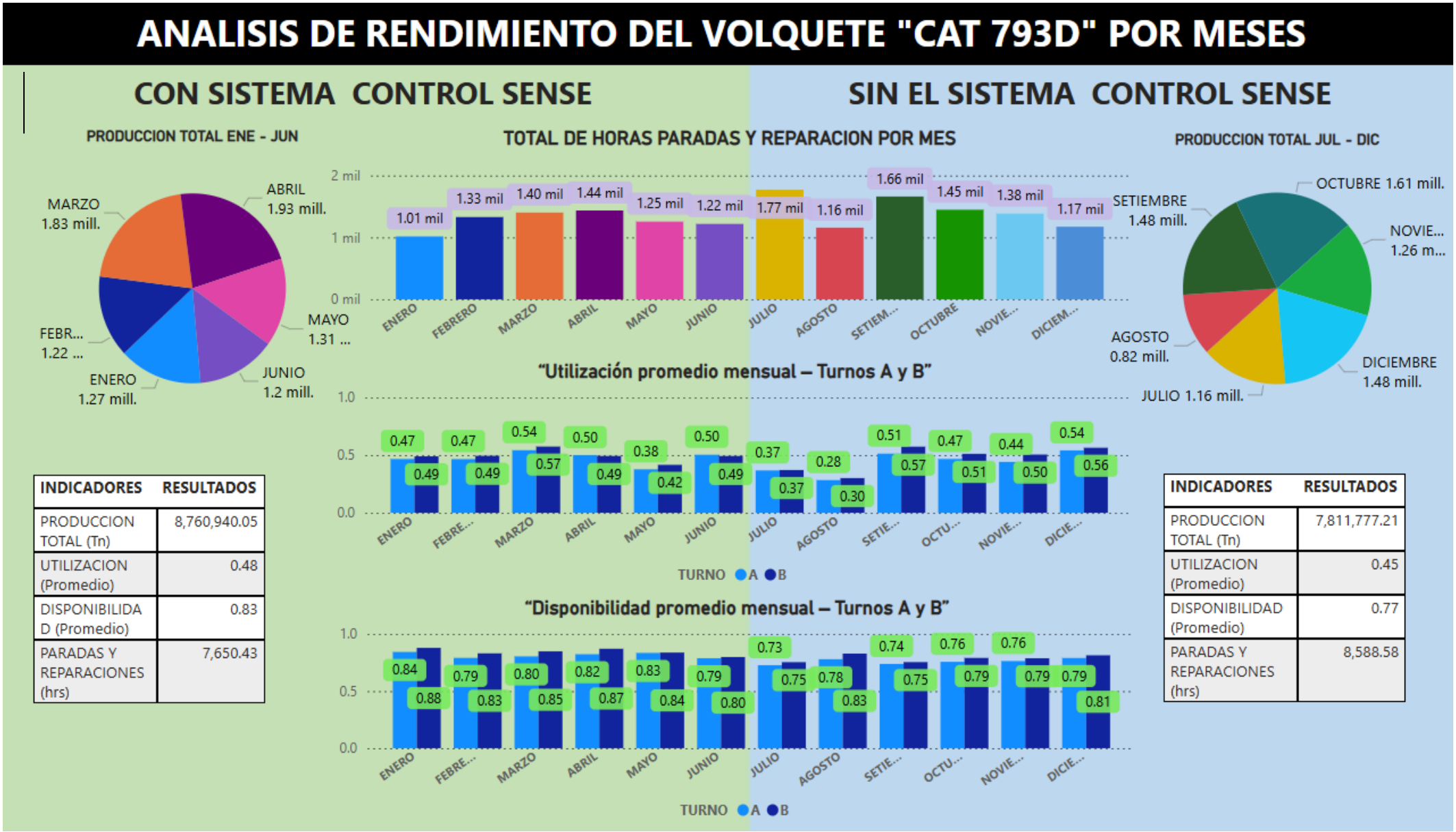
5) RESULTADOS

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	17,065,228.000
UTILIZACION (Promedio)	0.708
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.808
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	844.957



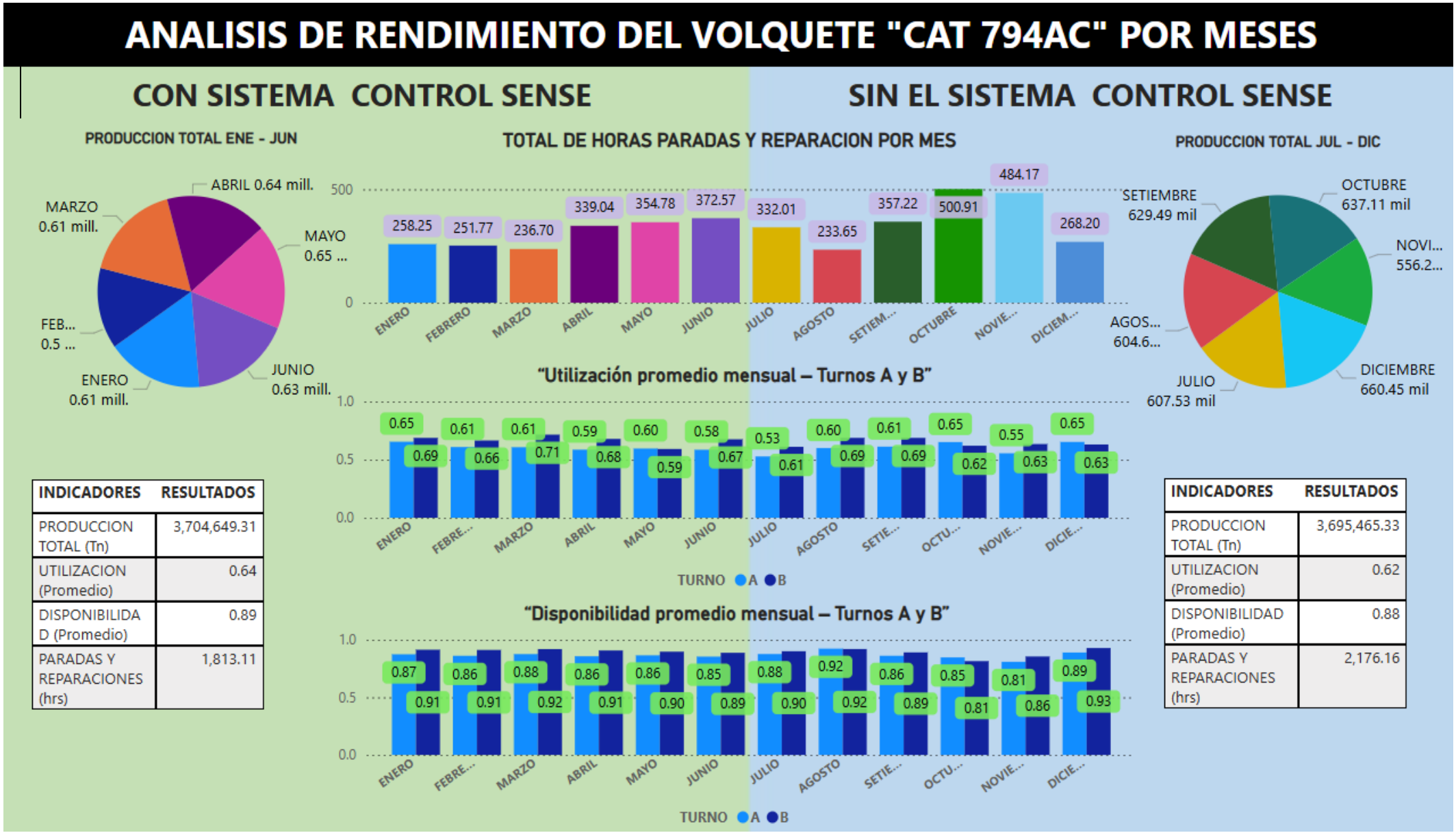
INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,350,819.000
UTILIZACION (Promedio)	0.467
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.775
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	936.791

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,072,277.000
UTILIZACION (Promedio)	0.520
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.742
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,130.160



INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	8,760,940.05
UTILIZACION (Promedio)	0.48
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.83
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	7,650.43

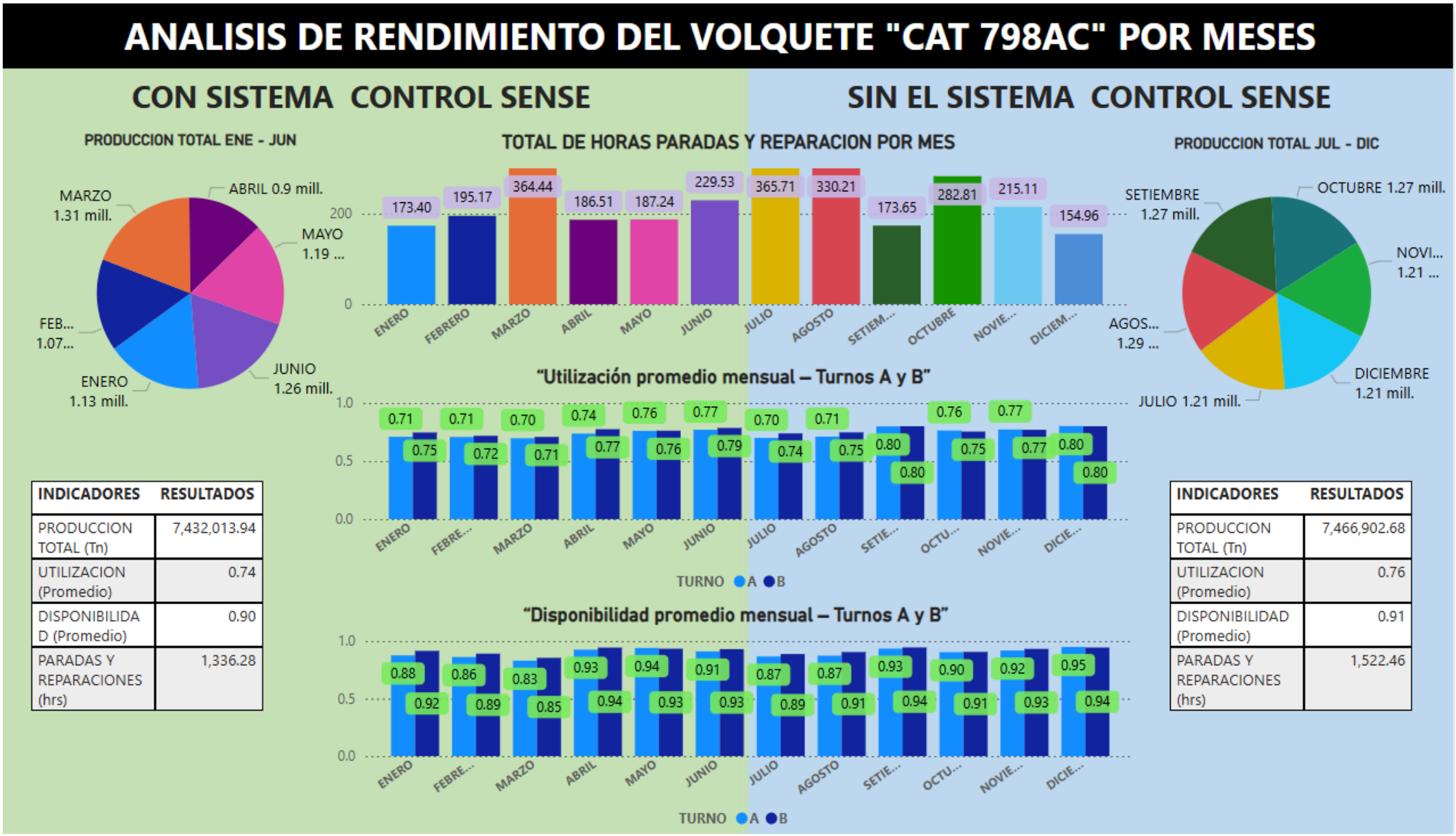
INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	7,811,777.21
UTILIZACION (Promedio)	0.45
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.77
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	8,588.58

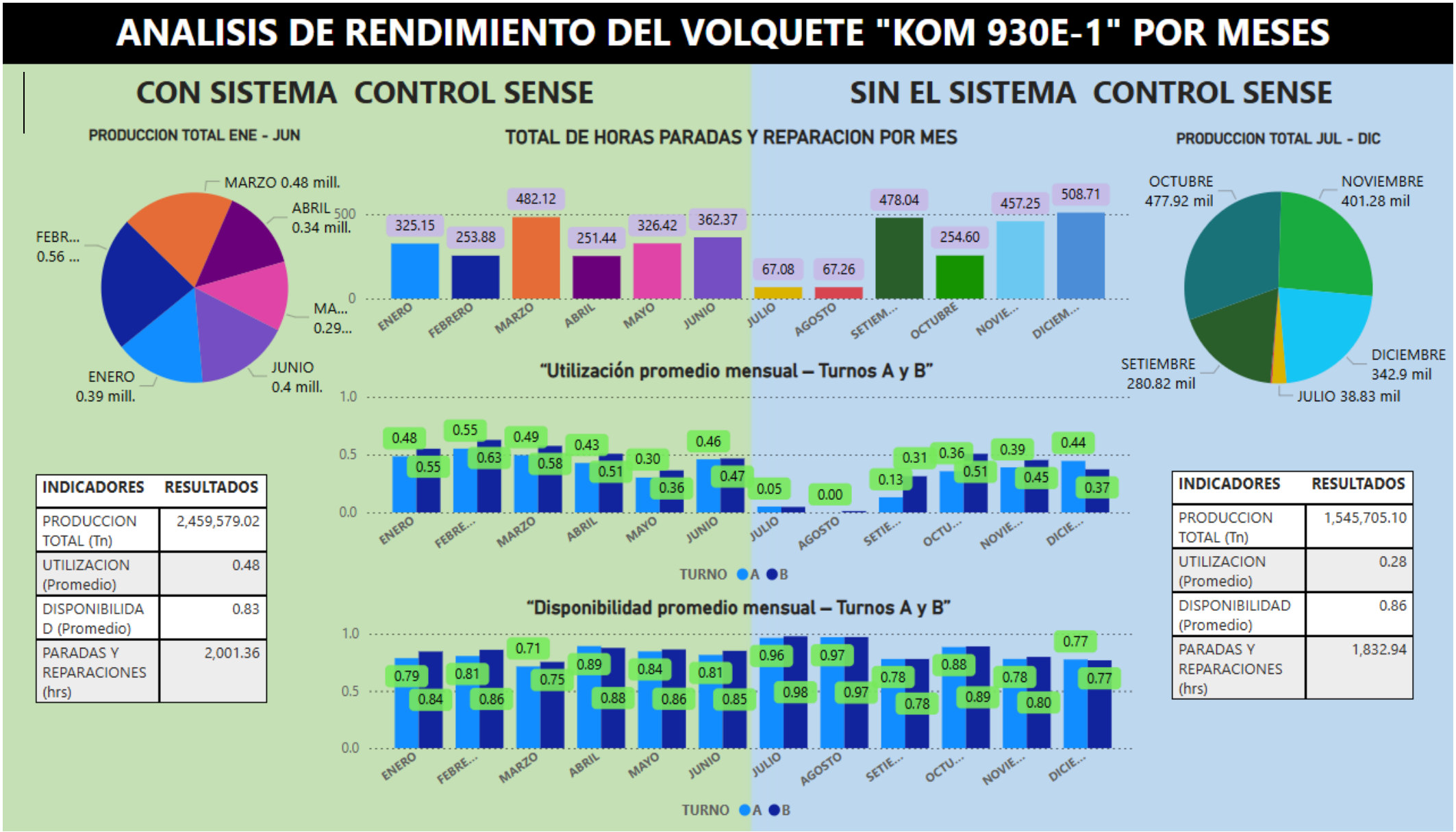


INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	3,704,649.31
UTILIZACION (Promedio)	0.64
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.89
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,813.11

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	3,695,465.33
UTILIZACION (Promedio)	0.62
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.88
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	2,176.16

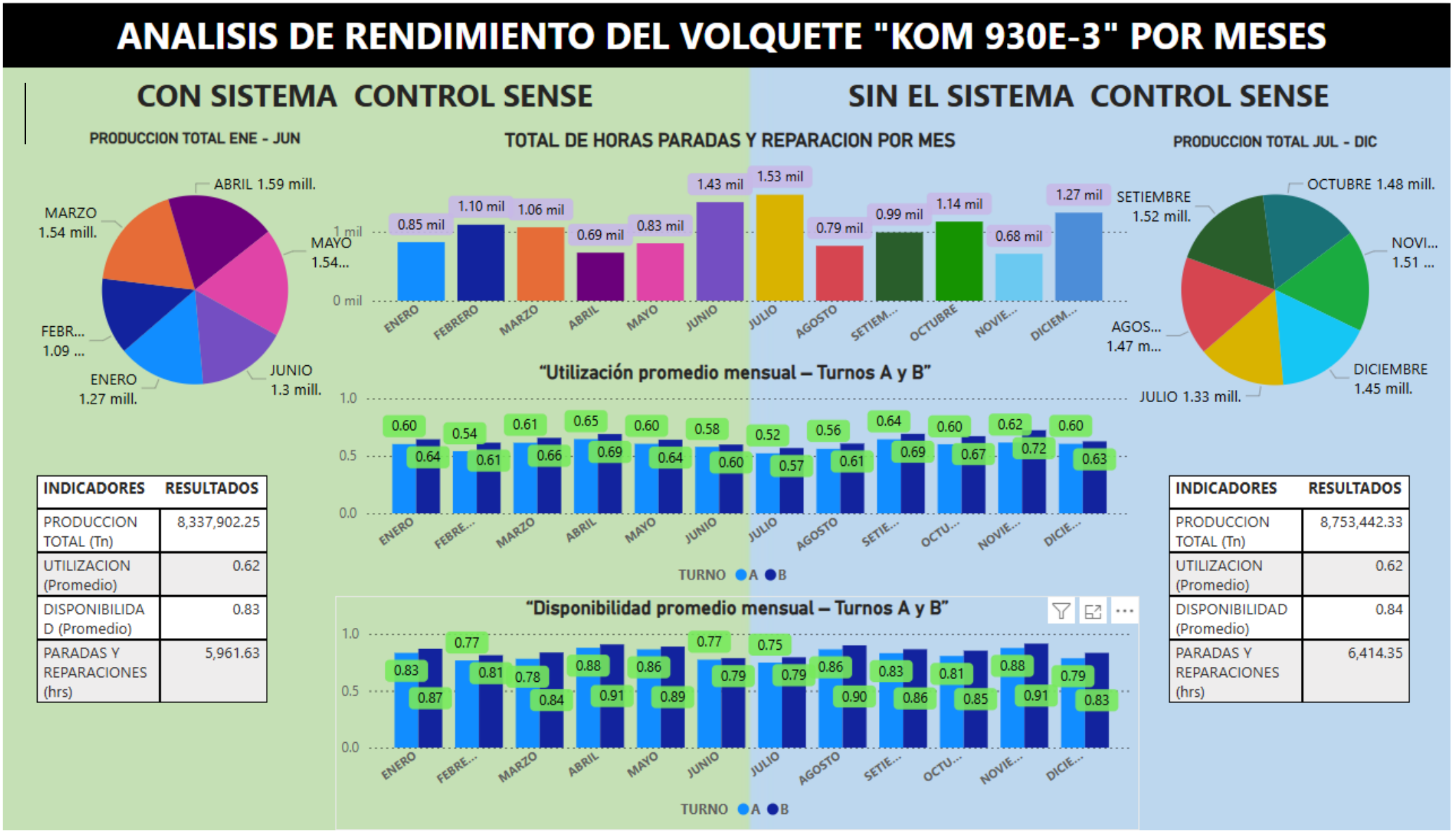
Anexo 08: Dashboard de Rendimiento del equipo de acarreo Volquete CAT 798AC





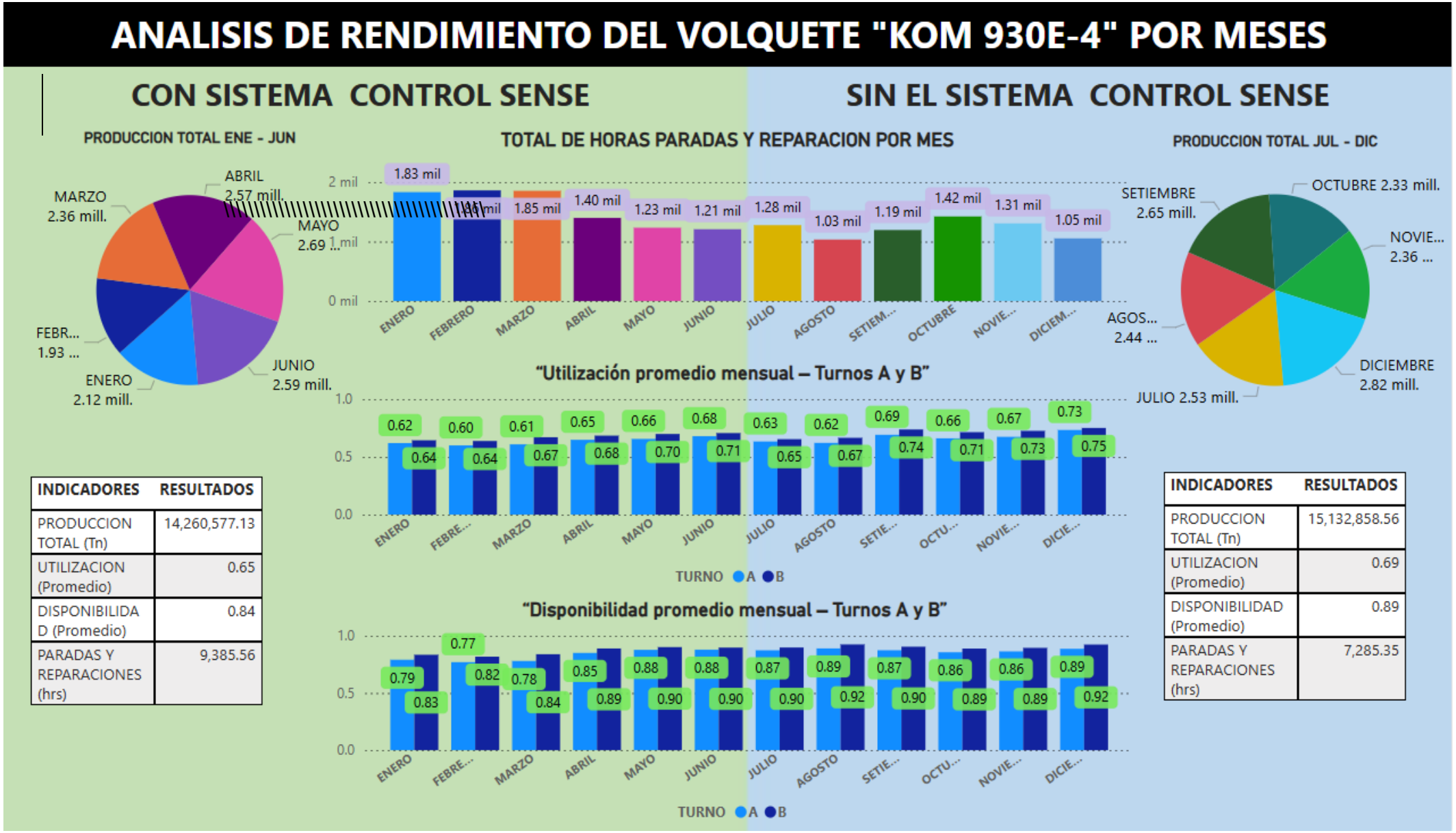
INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,459,579.02
UTILIZACION (Promedio)	0.48
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.83
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	2,001.36

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	1,545,705.10
UTILIZACION (Promedio)	0.28
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.86
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,832.94



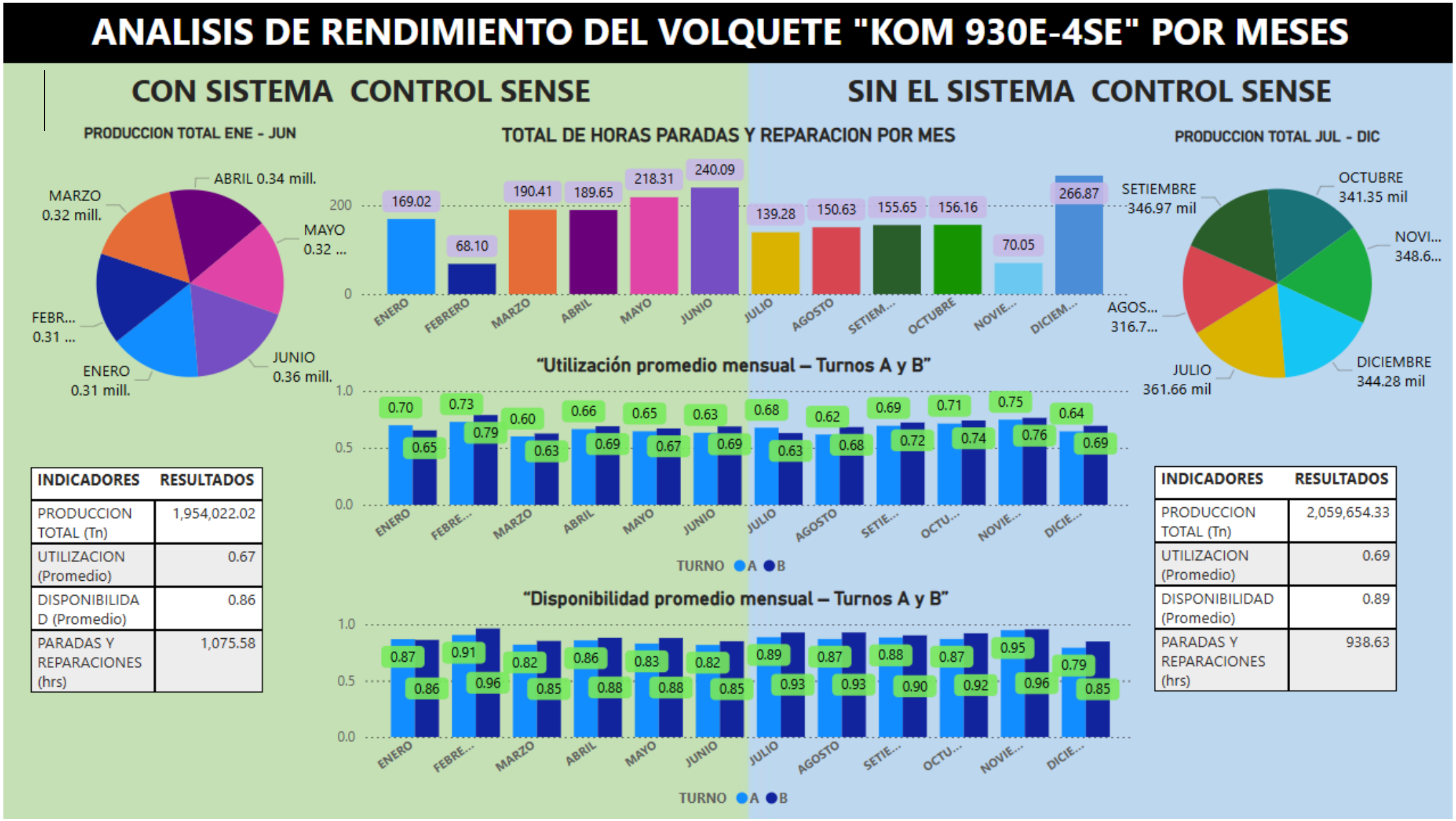
INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	8,337,902.25
UTILIZACION (Promedio)	0.62
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.83
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	5,961.63

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	8,753,442.33
UTILIZACION (Promedio)	0.62
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.84
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	6,414.35



INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	14,260,577.13
UTILIZACION (Promedio)	0.65
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.84
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	9,385.56

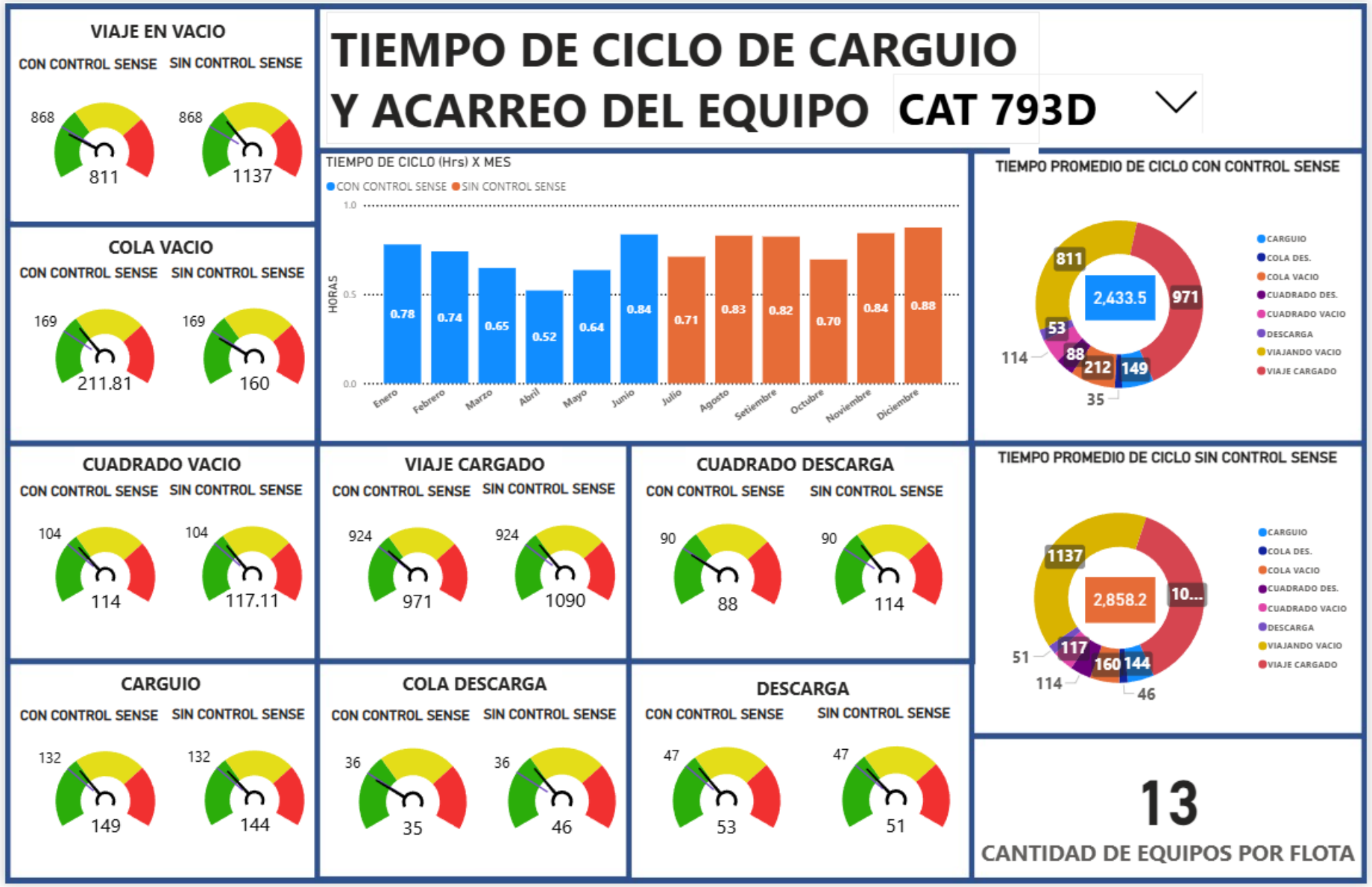
INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	15,132,858.56
UTILIZACION (Promedio)	0.69
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.89
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	7,285.35



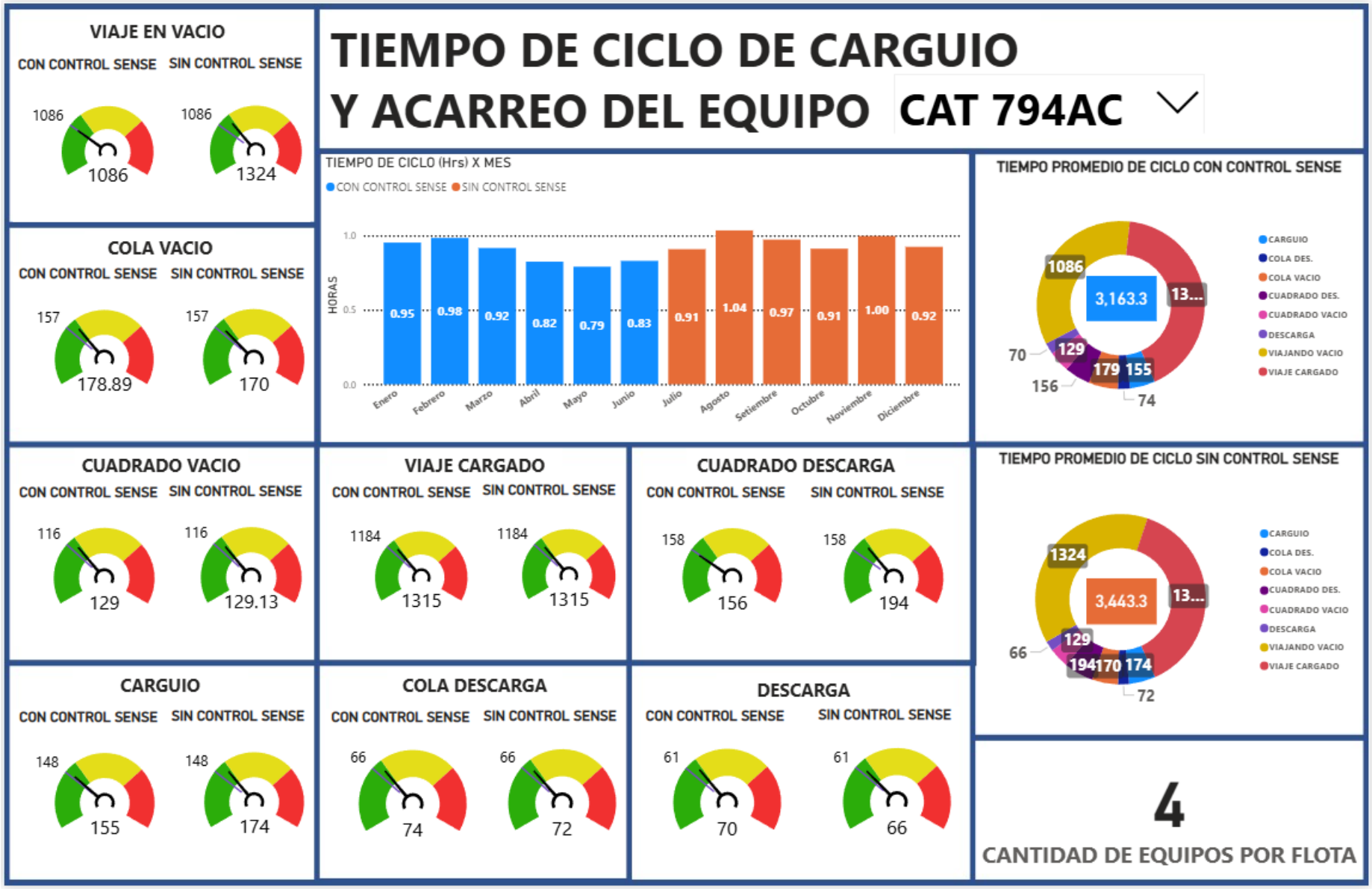
INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	1,954,022.02
UTILIZACION (Promedio)	0.67
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.86
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	1,075.58

INDICADORES	RESULTADOS
PRODUCCION TOTAL (Tn)	2,059,654.33
UTILIZACION (Promedio)	0.69
DISPONIBILIDAD (Promedio)	0.89
PARADAS Y REPARACIONES (hrs)	938.63

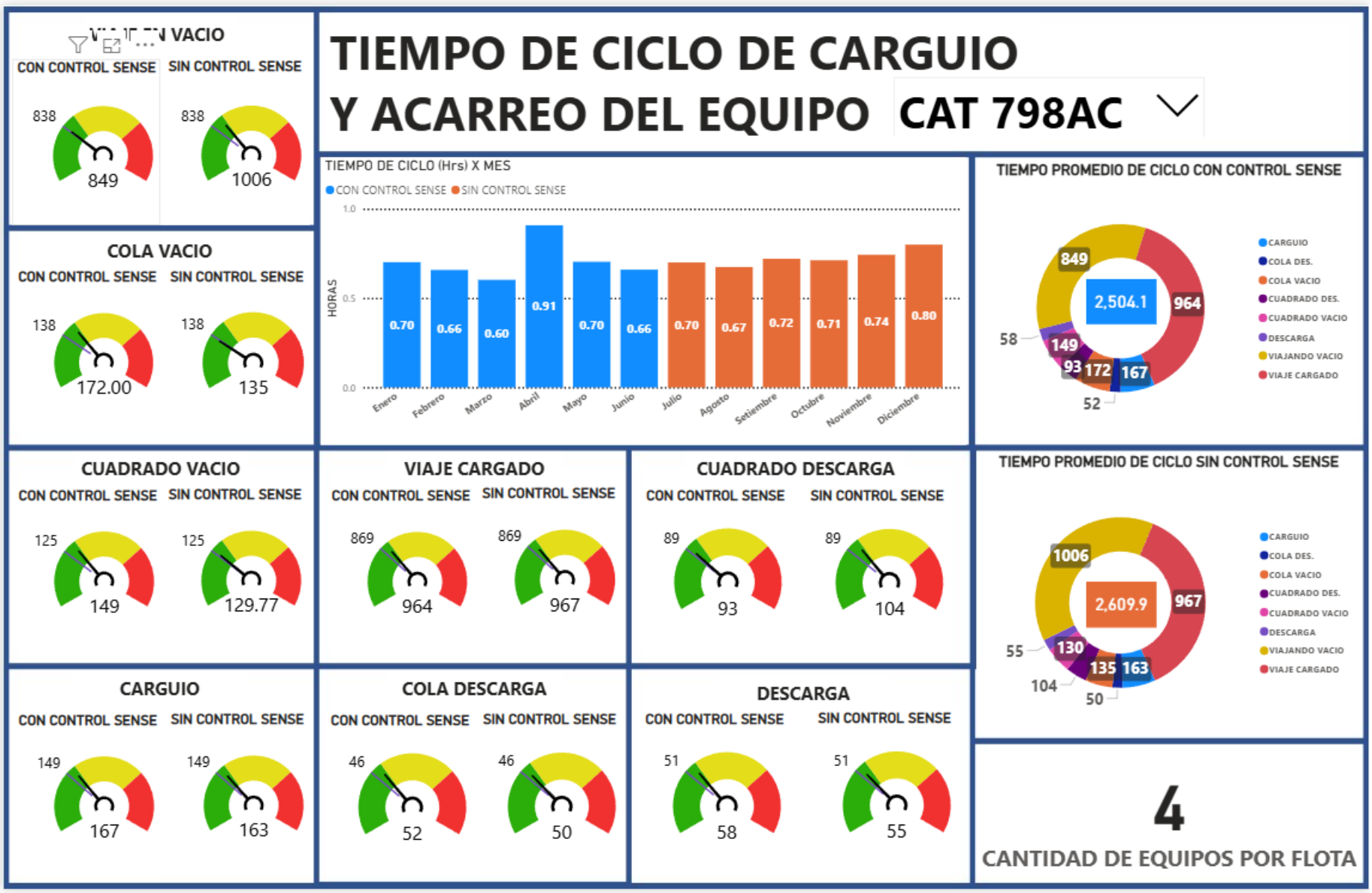
Anexo 13: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo CAT 793D



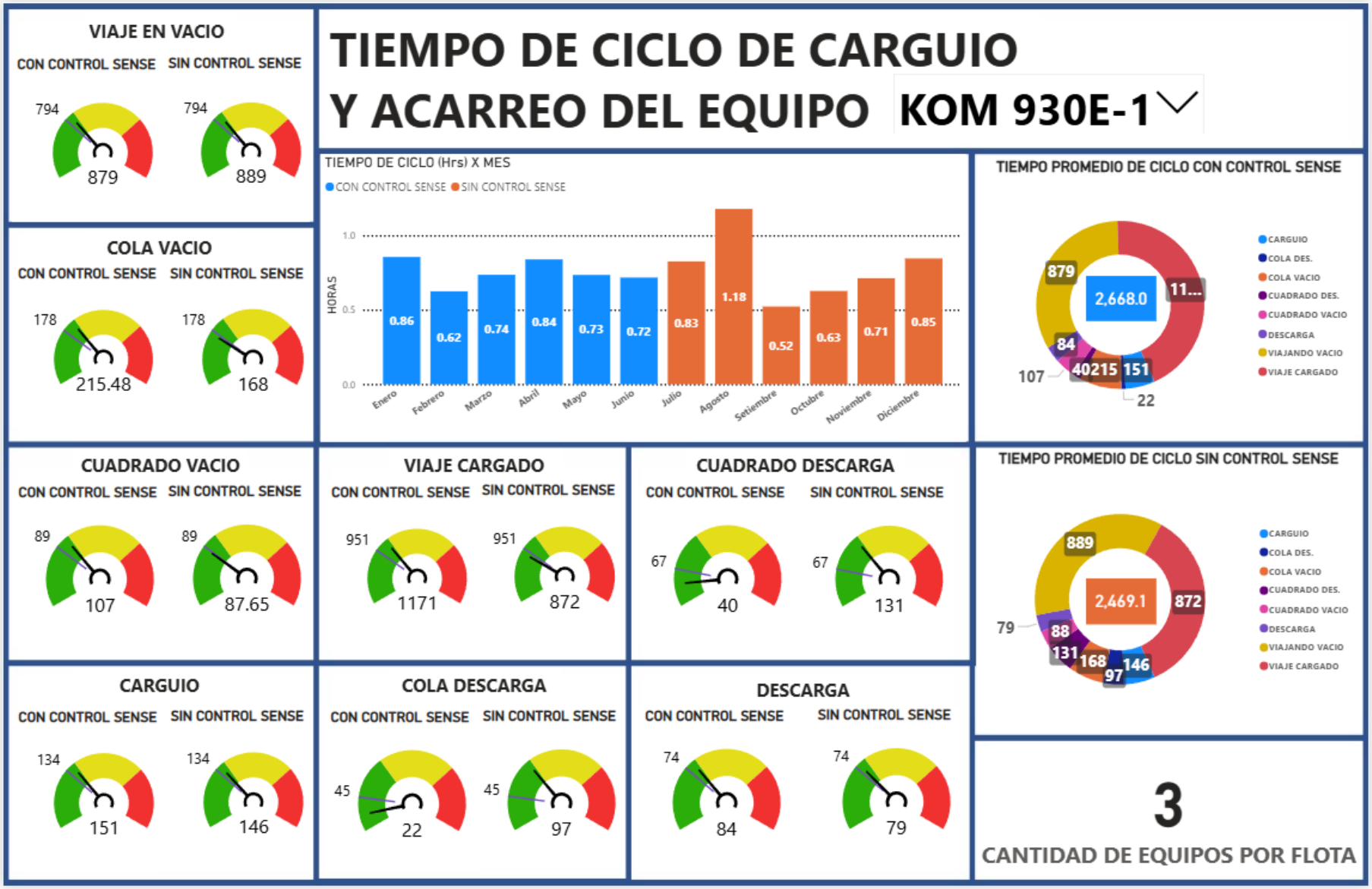
Anexo 14: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo CAT 794AC



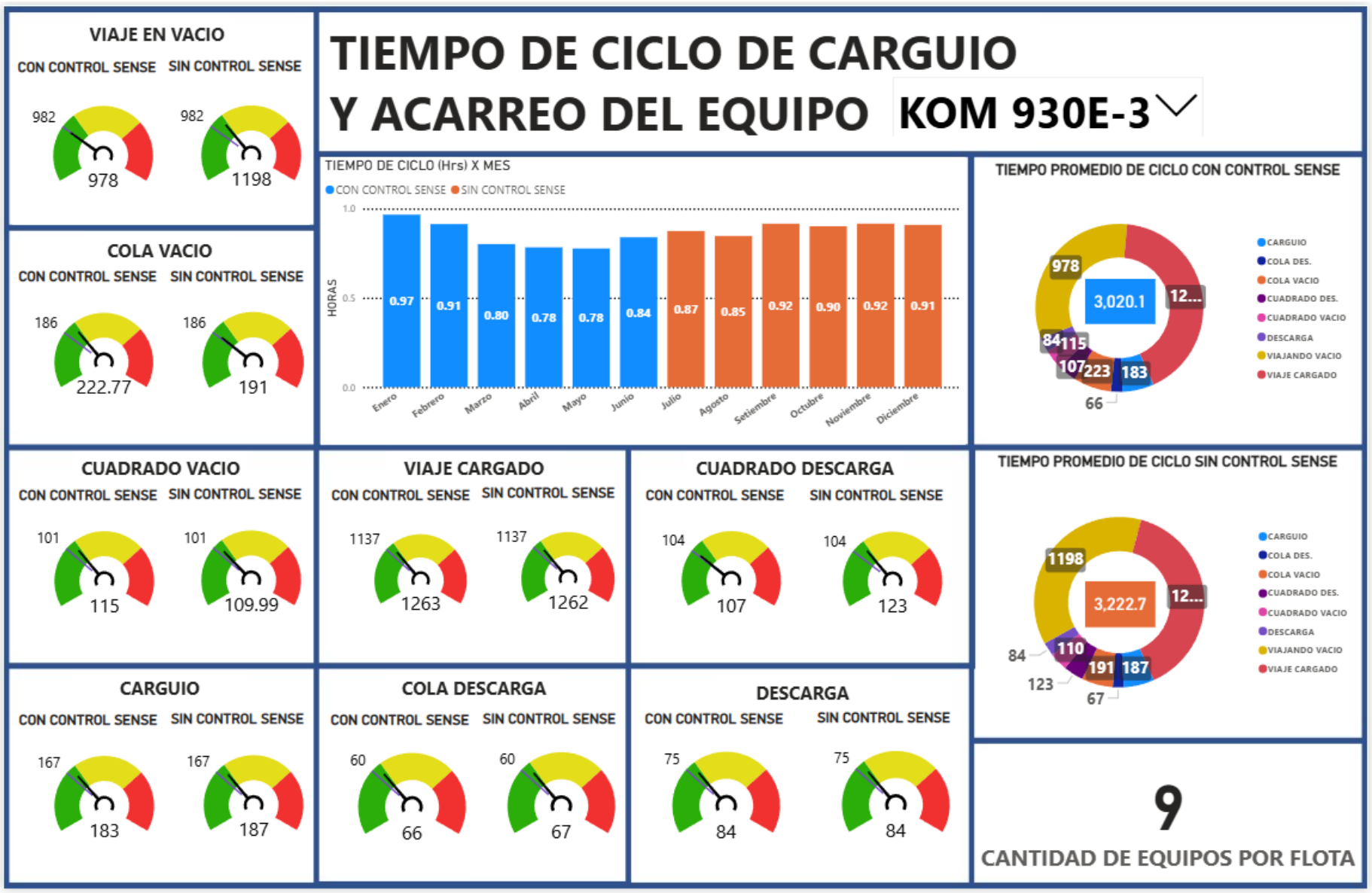
Anexo 15: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo CAT 798AC



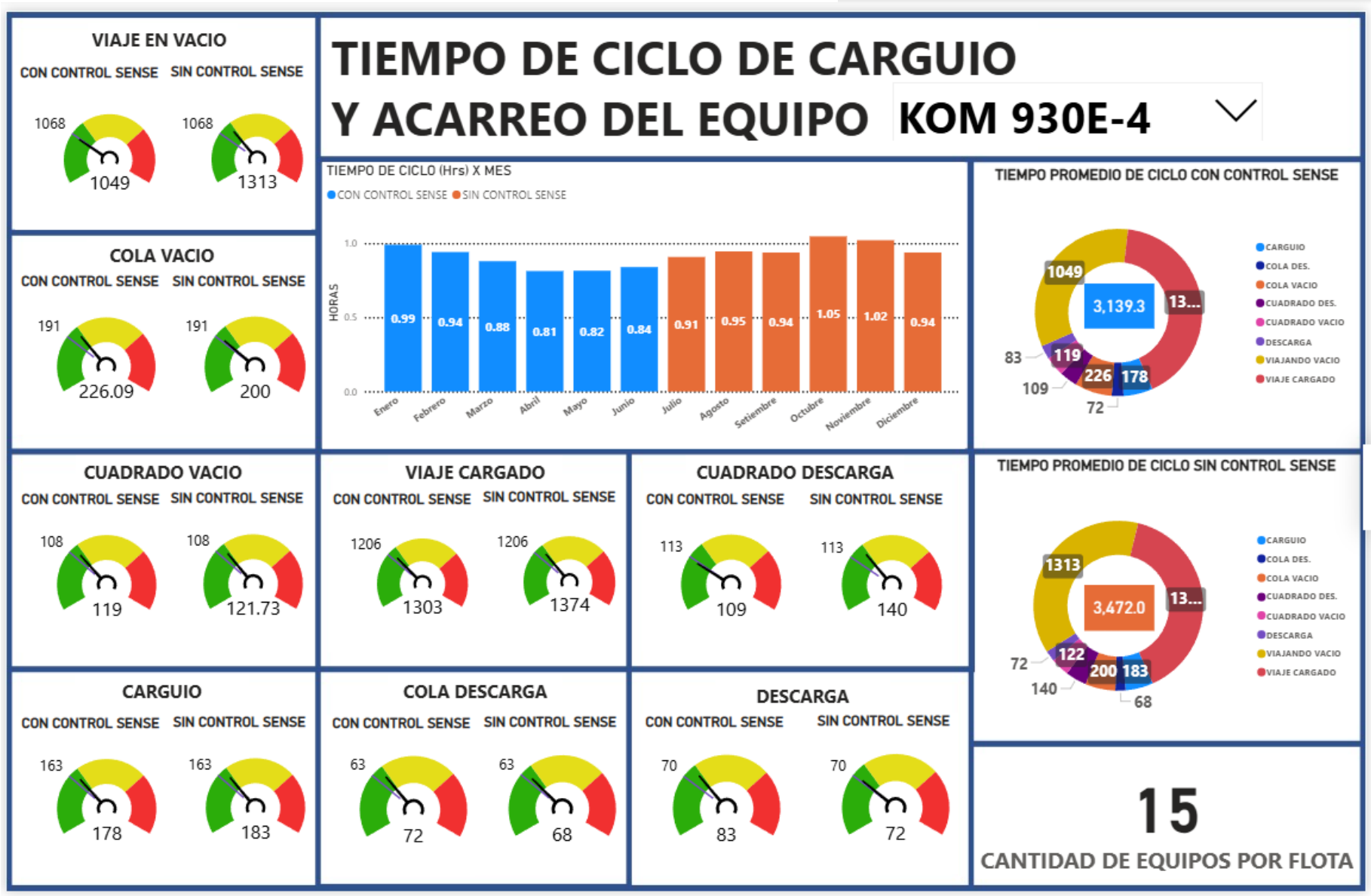
Anexo 16: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo KOM 930E-1



Anexo 17: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo KOM 930E-3



Anexo 18: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo KOM 930E-4



Anexo 19: Dashboard de tiempo de ciclo del equipo KOM 930E-4SE