



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO EN LA PARTIDA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS A TRAVÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL TAREO EN EL CAMBIO DE GUARDIA DE OPERADORES EN UNA MINA MODELO, TACNA- 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Wilmer Solano Romani

Asesor:

Ing. Mag. Aldo Juan Poma Zumarán

Lima - Perú

2020

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por permitirme tener a mi familia a mi lado.*

*A mis padres, Wilmer y Ana María, por sus consejos, su apoyo incondicional y por siempre creer en mí.*

*A mis hermanos, Ever y Margaret, quienes son fuente de inspiración para todos mis logros.*

*A mis abuelos Virgilio y Dolores, Artidoro, Juana y mamá Zoila, que siempre comprendieron tantos momentos no compartidos a causa de mis estudios.*

*A Rodrigo por su amistad y apoyo incondicional en todo momento y consejos en el desarrollo de este trabajo de investigación.*

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **AGRADECIMIENTO**

*El autor agradece a sus padres y hermanos, por estar presente en todo momento. Por sus consejos, apoyo, ánimo y compañía.*

*A la Universidad Privada del Norte Campus Los Olivos, por acogerle en sus aulas y permitirle culminar esta etapa académica profesional.*

*A sus docentes, por su tiempo y dedicación al brindarle los conocimientos necesarios para desempeñarse en ésta apasionante carrera de Ingeniería Civil, aportando cada uno a su formación profesional.*

*A su asesor, Ing. Mag. Aldo Poma, por su tiempo, consejos y asesoría para sacar adelante la presente tesis.*

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	33
1.3. Objetivos.....	34
1.4. Hipótesis .....	35
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>36</b>
2.1. Tipo de investigación.....	36
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	37
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	38
2.4. Procedimiento.....	40
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....	<b>58</b>
3.1. Resultados – Hipótesis General .....	58
3.2. Resultados – Hipótesis Específica 1 .....	59
3.3. Resultados – Hipótesis Específica 2 .....	64
3.4. Resultados – Hipótesis Específica 3 .....	69
3.5. Resultados – Hipótesis Específica 4 .....	70
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>72</b>
5.1. Discusión.....	72
5.2. Conclusiones .....	74
5.3. Recomendaciones .....	76
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>79</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>82</b>

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resumen de impacto en producción promedio en toneladas durante la primera hora de cada turno .	59
<b>Tabla 2</b> Hora de Inicio promedio durante el inicio de cada turno por mes antes y después de la implementación del proyecto de automatización .....	60
<b>Tabla 3</b> Datos Estadísticos Muestra 1 – Minutos transcurridos después de las 7 antes de la implementación	61
<b>Tabla 4</b> Datos Estadísticos Muestra 1 – Minutos transcurridos después de las 7 antes de la implementación	61
<b>Tabla 5</b> Producción promedio en toneladas durante la primera hora de cada turno por mes antes y después de la implementación del proyecto de automatización .....	65
<b>Tabla 6</b> Datos Estadísticos Muestra 1 – Movimiento de tierras antes de la implementación .....	66
<b>Tabla 7</b> Datos Estadísticos Muestra 1 – Movimiento de tierras después de la implementación.....	66
<b>Tabla 8</b> Utilización antes de la implementación del proyecto de automatización .....	69
<b>Tabla 9</b> Utilización después de la implementación del proyecto de automatización .....	69
<b>Tabla 10</b> Sumarizado de movimiento de tierras .....	70
<b>Tabla 11</b> Cálculo Económico de impacto en movimiento de tierras .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Perforación en minería a cielo abierto .....	21
<b>Figura 2</b> Carguío de Pala Eléctrica a camión minero en frente de carguío .....	22
<b>Figura 3</b> Movimiento de tierras por equipos de acarreo .....	24
<b>Figura 4</b> Arquitectura del Sistema de Despacho .....	26
<b>Figura 5</b> Clasificación de tiempos según ASARCO .....	29
<b>Figura 6</b> Base de datos del sistema de despacho antes de la automatización del tareo.....	41
<b>Figura 7</b> Formato de Tareo de Equipos de Mina Modelo .....	41
<i>Figura 8</i> Diagrama de Tareo Manual en Mina Modelo .....	42
<b>Figura 9</b> Distribución de Furgonetas en Oficinas de Tareo de Operadores .....	43
<b>Figura 10</b> Mapa de Mina del Sistema de Despacho con Rutas y Equipos .....	44
<b>Figura 11</b> Nodos de rutas de acarreo de mina modelo.....	45
<b>Figura 12</b> Base de Datos de Sistema de Despacho para la Automatización .....	46
<b>Figura 13</b> Diagrama de Automatización de Tareo en Mina Modelo.....	48
<b>Figura 14</b> Arquitectura de Sistema de Tareo en el cambio de guardia de operadores.....	49
<b>Figura 15</b> Distribución interior de pantallas .....	50
<b>Figura 16.</b> Vista 1 - 3D interior de distribución de pantallas en cambio de guardia automatizado.....	50
<b>Figura 17</b> Vista 2 - 3D interior de distribución de pantallas en cambio de guardia automatizado .....	51
<b>Figura 18</b> <i>Distribución exterior de pantallas</i> .....	51
<b>Figura 19</b> Tareo digital de operadores en cambio de guardia .....	52
<b>Figura 20</b> Tareo digital de asignación de operadores en la automatización .....	52
<b>Figura 21</b> Nueva distribución física de furgonetas de transporte .....	53
<b>Figura 22</b> Time line de tareo en cambio de guardia con la automatización .....	53
<b>Figura 23</b> Módulo de asignación de furgonetas de transporte .....	54
<b>Figura 24</b> Módulo de operadores.....	55
<b>Figura 25</b> Módulo de tareo.....	56

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

<b>Figura 26</b> Módulo de validación de tareo .....	57
<b>Figura 27</b> Reportes del sistema de despacho .....	58
<b>Figura 28</b> Curva de 1 cola para regla de decisión de media de minutos .....	63
<b>Figura 29</b> Reporte de descarga por hora .....	64
<b>Figura 30</b> Curva de 1 cola para regla de decisión de media de producción.....	68
<b>Figura 31</b> Matriz de consistencia.....	83
<b>Figura 32</b> Matriz de operacionalización .....	84
<b>Figura 33</b> Formato de Tareo de Operadores.....	85
<b>Figura 34</b> Formato de tareo de operadores.....	86
<b>Figura 35</b> Furgoneta de transporte parqueadas para cambio de guardia .....	87
<b>Figura 36</b> Panel fotográfico para implementación.....	88

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se describe el procedimiento detallado de la aplicación de la tecnología en el desarrollo de un proyecto de ingeniería y automatización aplicado a una actividad dentro del rubro de la Ingeniería Civil, que es el movimiento de tierras. El objetivo principal del estudio fue determinar el impacto de dicho proyecto en la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en una mina modelo.

Además, la presente investigación desarrollada es de tipo descriptiva, aplicada y de diseño no experimental; siendo así que se consideró como objetivo de estudio un proyecto de automatización denominado: “Automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en una mina modelo”.

Los resultados obtenidos dan muestra de que es posible emplear la tecnología para automatizar la actividad del tareo o asignación de personal a sus equipos de carguío y acarreo, así como equipos auxiliares y perforadoras, lo que permitirá impactar positivamente en la partida de movimiento de tierras.

Podemos concluir que a través del uso de la tecnología para la automatización de la asignación de operadores hacia sus equipos dentro de una mina modelo se aumenta la productividad y por tanto constituye una oportunidad de mejora para cualquier mina que se venía realizando esta actividad de manera manual, transformando ese tiempo muerto en tiempo productivo, permitiendo cargar y acarrear mayor tonelaje de material.

Es por ello que en el presente trabajo se describe un proyecto que permite ahorrar de 8 minutos promedio en toda esta asignación y permite transformar ese tiempo de muerto

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

a productivo, optimizando dicha actividad y teniendo un impacto directo en el incremento de la producción de la mina modelo. Esta transferencia electrónica de datos donde interactúan los Sistemas de Control de Accesos, Sistema de Control de Volquetes, de manera que, en base a las habilidades de los operadores, prioridad de equipos asignar, estado de los equipos, ausentismo, ubicación de los equipos y rutas de las unidades de transporte (furgonetas) se ubiquen a los operadores en sus respectivos equipos.

Actualmente el impacto en el incremento de producción en la primera hora por guardia ha sido de un aumento promedio de 4,824 Ton durante el turno día, incrementando en un 40% la producción (de 12,205 Ton a 17,029 Ton) y 3,990 Ton durante el turno noche, incrementando en un 30% (de 13,180 Ton a 17,170 Ton), que al finalizar el día son de aproximadamente de 8,814 Ton, contribuyendo así a superar las metas de producción diaria y mensual planificadas. Se ha permitido tener un mayor orden al momento de distribuir nuestro personal a sus equipos, optimizando el tiempo de transporte, así como también descongestionar el uso de la radio al inicio del turno.

**Palabras clave:** Automatización, movimiento de tierras, productividad, tareo, cambio de guardia, minería, furgoneta, tiempos.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

Como parte de nuestras labores en el ámbito de la Ingeniería Civil, tenemos diferentes tareas asociadas a la industria, ya sean estas a pequeña y grande escala, es así que, dentro del sector minero, tenemos una implicancia fundamental tanto en proyectos de infraestructura, mantenimiento de vías, y movimiento de tierras. Además, una de nuestras características de nuestra formación profesional es el proponer mejoras de toda índole que impacten directamente a nuestras actividades.

A nivel internacional, en la Universidad de Chile, existe propiamente la carrera de Ingeniería Civil de Minas, que pone en evidencia las implicancias de nuestra profesión en el ámbito minero, en el que el concepto, por ejemplo, de la partida de movimiento de tierras en esencia es lo mismo, sino que con equipos de una mayor envergadura.

Además, a nivel internacional, el uso de la tecnología en los sectores construcción, minería e industrial ha ido tomando un rol clave, así como la automatización ha sido fundamental en el desarrollo y competitividad de las empresas. La optimización de todo tipo de procesos, desde administrativos hasta industriales, a través de la optimización de uno o varios sub procesos genera un gran impacto en el uso de recursos de la empresa, tales como son el tiempo, recursos humanos y sobre todo el recurso financiero, entre otros.

Así también en el sector industrial minero, la caída de los precios ha hecho que en las diversas unidades mineras en todo el mundo empiecen a enfocarse en la optimización de sus recursos a través de la automatización, a fin de reducir sus costos y aumentar la eficiencia de los recursos. Por ejemplo, en Australia y Chile, el desarrollo e implementación de automatización ha llegado hasta los camiones mineros, teniendo en la

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

mina Gabriela Mistral toda una flota de camiones mineros autónomos, permitiéndole que el acarreo de material se desarrolle de manera continua, reduciendo los tiempos que en otras unidades se tiene debido al cambio de guardia entre los operadores de los equipos.

A nivel nacional, las unidades mineras también han apostado por empezar a identificar oportunidades de automatización y realizar su implementación a través del área tecnología de la información y comunicaciones (TICA) y control de procesos. Dichas áreas han empezado a realizar proyectos de automatización enfocados en el core del negocio (Operaciones Mina) a través de proyectos como el monitoreo de signos vitales en toda la flota de equipos, reportes automáticos que sirven de soporte para la toma de decisiones de los supervisores de mina, entre otros.

Analizando la situación actual de Mina modelo, referente al cambio de guardia se encontró que dicha actividad toma aproximadamente 30 minutos al realizarse de manera manual, desaprovechando los datos proporcionados por el sistema de despacho como son: la ubicación gps en tiempo real, estado del equipo, calificaciones de los operadores, base de datos, así como el sobretiempo causado por el desorden al momento de que los operadores abordan las furgonetas de transporte y en muchas ocasiones suben a un transporte que no pasa por donde está su equipo asignado, lo cual conlleva a tener horas hombre y horas máquina perdidas en la partida de movimiento de tierras. A continuación, se da más detalle de ello.

Cuando los operadores son asignados a las unidades que maniobrarán durante su guardia, estos tienen que abordar unas furgonetas de transporte, las cuales están divididas por fases y lugares de parqueo, previamente definida por la supervisión, pero que al momento del cambio de guardia las furgonetas no tienen una distribución y orden que

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

ayude a los operadores, y además, que no se controla quién puede subir a cada furgonetas, y en muchos casos los operadores suben de forma arbitraria e indiscriminada a la furgonetas, haciendo que su llegada al equipo asignado demore más tiempo del estimado.

La ubicación de los equipos en mina no se sabe en tiempo real cuando las furgonetas realizan la distribución de personal, haciendo que los conductores a veces vayan a determinadas zonas creyendo que esa era la ubicación del equipo y perdiendo tiempo en ubicar la correcta ubicación del mismo, para lo cual utilizan las radio comunicaciones preguntando al despacho la ubicación real del equipo (cada equipo en Mina modelo cuenta con un GPS que permite visualizar la ubicación del equipo en el sistema de despacho), saturando la comunicación del canal de operaciones, que debería ser utilizada para coordinaciones a nivel de supervisión.

Las rutas de las furgonetas de transporte no son las adecuadas, ya que en muchos cambios de guardia los operadores asignados a determinadas zonas, superan la capacidad de la unidad de transporte, por lo que se genera el desorden al momento de abordar dichas unidades. Adicionalmente, algunas unidades hacen recorridos más largos y, por tanto, les lleva más tiempo a los operadores abordar su equipo asignado.

La demora en el tareo (actividad de asignar a cada operador un equipo) según las habilidades de operador por equipo se viene haciendo de acuerdo a la experiencia de los supervisores, y por tanto es variable, tomándoles a veces mucho tiempo y en varias ocasiones incurriendo en error, al asignar un operador que no tiene la habilidad de manejar ciertos equipos, lo cual genera demoras en el cambio de operador.

La pérdida de producción por equipos en espera de operador, ya que actualmente el cambio de guardia dura aproximadamente 30 minutos, entre el traslado de los operadores

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

de la guardia saliente y el traslado y asignación de los operadores de la guardia entrante a sus equipos asignados.

Todo lo anteriormente mencionado, conlleva a que la unidad minera tenga equipos detenidos por aproximadamente 30 minutos, lo cual además implica que tengan horas hombre de operadores no utilizadas directamente en la producción, así como las horas hombre de los supervisores que son destinadas a realizar el tareo de forma manual, y las cuales podrían dedicarse a coordinaciones clave al inicio o arranque de sus respectivas guardias, y que, al no hacerlo, merman la producción de Mina modelo.

Es por ello que, la presente tesis tiene como causa de estudio la demora en la asignación de operadores, cuya reducción de tiempos a través de la automatización es clave para aumentar los productividad y utilización de los equipos y operadores en Mina modelo.

### ***1.1.1. Antecedentes***

Como antecedentes de la presente investigación tenemos las siguientes investigaciones:

Título: “MEJORAMIENTO DE PRÁCTICAS OPERACIONALES PARA EL AUMENTO DE HORAS EFECTIVAS CAMIONES DE EXTRACCIÓN GERENCIA MINA, DIVISIÓN MINISTRO HALES CODELCO CHILE”

Córdova, Gustavo (2017), realizó un estudio sobre el aumento de las horas efectivas de uso de la flota de camiones mineros a través de la incorporación de la metodología Lean Managment, plataformas tecnológicas para el control, monitoreo y reportabilidad en línea de los signos vitales y Gestión de la excelencia operacional a través del mejoramiento de las prácticas operacionales en la División Ministro Hales en Chile.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

Estas acciones permitieron aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de transporte, lo que se tradujo en una disminución de los tiempos asociados a demoras operacionales y por consiguiente un aumento de las horas efectivas de uso. Además, se consiguió mejorar la velocidad de la flota de camiones mineros de alto tonelaje y el aumentar el factor de carga, lo que permitió incrementar la productividad de la flota de transporte con la consiguiente reducción del costo de mina.

Dicho estudio, al igual que la presente tesis, aumenta el tiempo de uso de la flota de equipos de acarreo, sin embargo, la presente tesis lo logra a través de una mejor gestión de tiempos producto de la automatización del tareo de personal, y además involucra a todos los equipos de carguío, acarreo y equipos auxiliares.

Título: “PROPUESTAS DE MEJORA DE LA UTILIZACIÓN EFECTIVA EN BASE A DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE EN MINERA LOS PELAMBRES”

Bonzi, José (2016), abordó el tema de la identificación de los desafíos operacionales para lograr aumentos en la Utilización Efectiva de los equipos de carguío y acarreo, enfocados en las demoras y pérdidas operacionales, para aumentar la utilización efectiva de los equipos en base a su disponibilidad.

Para ello, se realizó un análisis estadístico de datos obtenidos del sistema de despacho conjuntamente con una recopilación de datos producto de una toma de tiempos en campo, identificando los eventos operacionales y prácticas que generan una baja disponibilidad. A partir de ello se identificaron desafíos operacionales, dentro de los cuales se planteó para el área de carguío, un sistema de monitoreo en tiempo real de detección temprana de caída de elementos de desgaste en los baldes de las palas, a fin de prevenir

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

que lleguen a la chancadora y produzcan detenciones no programadas y desencadenen pérdidas operacionales y de producción. Al finalizar dicho estudio basados en un análisis técnico y económico, el proyecto del sistema de visión implementado resultó que viable y consiguió recuperar aproximadamente 4.5 días de tiempo efectivo a la flota de carguío al año. Además, de una disminución del tiempo de pala esperando camión de 2 min/ciclo a 1.2 min/ciclo, lo que implica una mejora en la utilización del 1%.

Título: “OPTIMIZACIÓN EN LA ASIGNACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS DE LOS CAMIONES DE EXTRACCIÓN PARA EL CAMBIO DE TURNO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE REDES NEURONALES Y ÁRBOLES DE DECISIÓN”

Urrutia, Diego (2017), abordó el tema de la disminución de los tiempos perdidos asociados a las demoras en los cambios de turnos existentes en la minería a cielo abierto, mediante la utilización de redes neuronales y árboles de optimización, basado en el rendimiento personal de cada operador de los equipos de mina. De esta forma, se obtuvieron y cuantificaron los resultados a través de simulaciones computacionales en donde se comparó la productividad actual de una faena minera en contraste con la productividad utilizando el modelo planteado en dicho trabajo. Los resultados obtenidos aplicando el modelo de optimización arrojaron que se logró disminuir en un 9.8% las demoras asociadas a los cambios de turno, lo que es equivalente a 398 minutos y a 24 descargas extras por turno, tomando en cuenta que el caso de estudio se realizó para una flota de 130 camiones de extracción. Lo anterior, en términos económicos se tradujo en 5.7 millones de dólares anuales, considerando que solamente se ahorraran los costos asociados al transporte de mineral, suponiendo un costo de transporte igual a 1 dólar por tonelada y una carga efectiva de 330 toneladas por camión. Al finalizar el trabajo, se observa que la

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

posibilidad de mejorar el proceso de asignación de estacionamientos es completamente factible, al igual que mejorar el modelo planteado incluyendo otras condiciones de borde que puedan ayudar a realizar una simulación más realista, pero que deben ser personalizadas acorde a la manera de operar de cada faena. Por otro lado, se detectó que, para las mismas condiciones de trabajo, existen operadores que tienen rendimientos completamente distintos, por lo que se recomienda realizar un análisis de velocidades por trabajador, en donde se comparen sus rendimientos individuales con los rendimientos que debiesen alcanzar las máquinas según su catálogo. Por último, se concluye que el uso de redes neuronales como herramienta de gestión genera un valor agregado en la toma de decisiones que estén relacionadas a la formación de grupos de trabajo, además de identificar características que ayuden a entender y manejar el comportamiento de ciertas variables tales como la productividad o utilización dentro de una operación minera.

Título: “REDISEÑO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE RELEVO MINA EN LA OPERACIÓN LOS BRONCES DE ANGLO AMERICAN”

Vergara, Daniel (2016), presentó el rediseño de procesos del evento con mayor oportunidad de mejora de productividad en la división Los Bronces -el procedimiento de relevo Mina-, con el fin de establecer un procedimiento único de relevo, que permita minimizar la caída del movimiento mina en los horarios almuerzo y con esto aumentar la productividad de la Operación.

Para esto, lo primero que realizó, metodológicamente, fue una evaluación de la situación inicial de la operación de Los Bronces mediante la definición del proceso, para luego hacer un levantamiento de los procedimientos de relevo de cada uno de los cuatro

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

grupos de trabajo que existen en la mina, a partir de observaciones en terreno y work-shops de trabajo con operadores de transporte de cada grupo.

Finalmente, se propuso como solución dos propuestas, cada una con un foco estratégico distinto. Una muy estática, enfocada en respetar el Convenio Colectivo de la Anglo American con los trabajadores y una segunda, con más con foco en minimizar la cantidad de camiones detenidos en horario de relevo, siendo esta última la elegida por la compañía para ser ejecutada. Con esta se logró aumentar el KPI TPH relevo/TPH productivo de un 81,8% a un 86,9 % y lograr un movimiento adicional de material en los primeros 100 días de 569.000 toneladas, ambos valores por sobre la meta establecida de 85,7% y 300.000 toneladas extras.

Título: “ESTUDIO DEL SISTEMA DE ACARREO DE INTERIOR MINA PARA OPTIMIZAR TIEMPOS, DISMINUIR COSTOS E INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN E.E. NCA SERVICIOS MINA MOROCOCHA”

Condori, Rusbel (2017), presentó un trabajo basado en la necesidad de contar con un control y elevar la producción del sistema de acarreo de interior mina en base a la productividad de los equipos, teniendo como factor característico el tiempo de cada ciclo de las operaciones. Dichas operaciones se realizaban en interior mina hacia superficie, cancha de mineral y botaderos de la Cía. Minera Argentum, Unidad Morococha y consistía en el carguío y acarreo de material (mineral y/o desmonte) y de superficie a mina relleno cementado. En dicho trabajo obtuvo un método de control y mejoramiento de la productividad en base a la toma de tiempos, evaluación de KPI's y análisis de costos de cada ciclo de la operación, de manera que puede ser utilizado en cualquier otro proyecto y con cualquier tipo de equipo. Con este sistema se podría identificar las causas que no

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

permiten que las operaciones sean óptimas, y así una vez identificadas poder tomar medidas que ayuden a eliminar o minimizar su incidencia en la productividad, con el fin de mejorar y elevar rendimientos. El mejoramiento de la productividad se refleja directamente en la rentabilidad de la empresa NCA Servicios S.A.C., haciéndola más competitiva frente a otras empresas contratistas. El éxito del estudio crea un precedente para su aplicación en futuros proyectos, como una herramienta sencilla para controlar los costos de las operaciones. Este estudio permite visualizar mejor las operaciones, y mejorar la dispersión del tiempo productivo mediante el estudio de los KPI's durante las operaciones, las cuales se han analizado al detalle, lo cual permitirá detectar errores que se puedan cometer al realizar las operaciones en cuestión. Dicho análisis es iterativo, por lo que la mejora es continua y para el caso de Morococha, se traduce en la disminución del tiempo de cada ciclo de operación del proceso.

Título: “DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA APLICACIÓN DE SIMULACIÓN A UN SISTEMA DE CARGUÍO Y ACARREO DE DESMONTE EN UNA OPERACIÓN MINERA A TAJO ABIERTO”

Meza, Josué (2011), presentó un trabajo referido a la problemática originada en una operación minera a tajo abierto en el Sur del País, referente a la asignación de camiones hacia las palas, para de esa manera maximizar su productividad y reducir los tiempos muertos en la operación de carguío y acarreo, para ello desarrolló un modelo del sistema de carguío y acarreo de desmonte de una operación minera el cual puede tomarse como ejemplo para aplicarlo en otras operaciones específicas teniendo en cuenta las diferencias de cada mina cómo: nivel de producción, equipos de carguío, equipos de acarreo, geología,

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

distancias, etc. en el software Arena 12 ajustando los parámetros del modelo a la operación en análisis.

Concluyendo que la asignación correcta del número de equipos de acarreo para un determinado equipo de carguío ayuda mantener en un nivel óptimo la relación \$/Tn.

Además de reducir los tiempos improductivos de los equipos con lo que se aumenta el porcentaje de utilización de los equipos de carguío. Siendo así, que, para el escenario elegido, se incrementa la producción en 1659.90 toneladas diarias de desmonte acarreado, lo cual significa un incremento de 597 564 toneladas anuales.

En esencia, el desarrollo de la presente tesis, también se enfoca en la reducción de tiempos improductivos de los equipos de mina, a través de reducción de tiempos en el transporte y de los tiempos asociados a la asignación de los operadores hacia sus equipos durante el cambio de guardia. La diferencia entre los trabajos mencionados y el desarrollo de la presente, se fundamenta en que hay una implementación de infraestructura y un desarrollo de software que involucra las habilidades de los operadores y la asignación automática de estos a los equipos, según la disponibilidad de estos (Operativo o No Operativo), generando un menor tiempo, y con la diferencia impactando en el aumento de producción.

### ***1.1.2. Aspectos éticos***

La presente tesis guarda los aspectos éticos que rigen a la universidad y aborda íntegramente una problemática en la que el autor participó y desarrolló las soluciones de mejora.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **1.1.3. Limitaciones**

La presente tesis tiene como alcance únicamente a describir el impacto causado en la partida de movimiento de tierras relacionado a los equipos de carguío y acarreo de mina.

### **1.1.4. Bases teóricas**

#### **1.1.1.1. Definiciones de Conceptos Básicos**

**1.1.1.1.1. Minería.** La minería es la actividad de extracción de minerales del subsuelo que son realizados mediante diferentes tipos de procesos de extracción el cual involucra al recurso humano, equipos especializados, conocimiento y técnicas de extracción, etc. (Llontop, 2018).

**1.1.1.1.2. Cambio de Guardia.** Actividad en la que los operadores de los equipos dejan sus equipos (guardia saliente) para darle paso a los operadores del nuevo turno (guardia entrante) para que puedan dar continuidad a la operación de los equipos de mina. Este cambio de guardia se lleva a cabo en un ambiente físico, en el que los operadores de la guardia entrante llegan para ser tareados y posteriormente transportados hacia los equipos dejados por la guardia saliente.

**1.1.1.1.3. Guardia.** Conjunto de Operadores que entran a la operación minera en un determinado turno.

**1.1.1.1.4. Turno.** Jornada laboral en la que trabajan las guardias de una mina. En la mina modelo existen 2 turnos de trabajo: Turno día de 7 am a 7 pm, y turno noche de 7 pm a 7 am.

**1.1.1.1.5. Tareo.** Actividad en la que la supervisión de la guardia asigna a cada uno de los operadores de la guardia entrante un determinado equipo a operar durante su turno, considerando la calificación del operador y disponibilidad del equipo.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

**1.1.1.1.6. Calificación de operador.** La calificación de un operador, es el atributo que tiene un operador dentro del sistema de despacho que le permite operar determinados equipos dentro de la mina modelo. Un operador puede tener varias calificaciones y ser un operador multifuncional, lo que le permite operar varios equipos dependiendo de la disponibilidad de la flota de equipos que tenga la mina.

### **1.1.1.2. Operaciones Unitarias en Minería a Cielo Abierto**

**1.1.1.2.1. Perforación y Voladura.** Es la operación unitaria en la que se hace un orificio al macizo rocoso o banco de minado a explotar, para la posterior voladura luego de la carga explosivo.

Así, la perforación y voladura toman un rol crítico para las demás operaciones unitarias, ya que dependiendo de la fragmentación producida en el macizo rocoso se tendrá mayor facilidad para realizar el carguío y acarreo del material, y luego en las chancadoras facilitar también facilitar el proceso de reducción de dicho material.

A continuación, se muestra a la figura 1, en la cual se puede apreciar a una perforadora realizando su actividad operativa, en la cual mediante barrenos de perforación empieza a perforar un determinado banco de material, a una determinada profundidad y a un determinado espaciamiento entre cada una de estas perforaciones. Por lo general en la minería moderna se tienen la posición de cada perforación ya cargadas en un sistema de despacho de alta precisión que permite a la perforadora posicionarse en el taladro o perforación que va a perforar.

#### **Figura 1**

*Perforación en minería a cielo abierto*

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*



*Nota:* Adaptado de *Desafíos de la perforación en la industria minera* [Figura], por Recabal, J., 2015, Mch (<https://www.mch.cl/>).

**1.1.1.2.2. Carguío.** Es la operación unitaria en la que un equipo de carguío (pala o cargador) con su cucharón recogen y cargan el material fragmentado producto de la voladura. Estos equipos de carguío se ubican en diferentes lugares de la mina, denominado frentes de carguío, y se encargan de proporcionar el material para los botaderos y chancadoras.

En la figura 2, que se muestra a continuación, se tiene una pala eléctrica en un frente de carguío que está realizando su operación unitaria, terminando de fragmentar el material producto de la voladura y cargando dicho material, en su cucharón y dejándolo en las tolvas de los equipos de acarreo, que son los camiones en mina.

## **Figura 2**

*Carguío de Pala Eléctrica a camión minero en frente de carguío*

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*



*Nota:* Adaptado de *La figura del operador minero: actividades y beneficios que aporta a un proyecto minero* [Figura], por Cañon, E., 2015, Interempresas (<https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/>).

**1.1.1.2.3. Mantenimiento de vías.** Es la operación unitaria referida a la mantención de las vías, mantención de pisos de botaderos, stocks y frentes de carguío. Además de brindar soporte ante cualquier requerimiento de la operación para la habilitación de rampas, construcción de bermas de protección centrales y laterales, entre otros, para lo cual se hace uso de los equipos auxiliares como son los tractores de ruedas y de orugas, retroexcavadoras, motoniveladoras, tanques de agua y cargadores frontales de mediana capacidad.

**1.1.1.2.4. Acarreo.** Es la operación unitaria referida al movimiento de tierras (mineral y desmonte) desde los frentes de carguío hacia los destinos finales de descarga de material que pueden ser: botaderos, stocks y chancadoras, para cumplir con los planes de producción.

A continuación, se muestra en la Figura 3, Equipos de acarreo realizando el movimiento de tierras (material de mineral y de desmonte) hacia las zonas de descarga.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **Figura 3**

*Movimiento de tierras por equipos de acarreo*



Nota: Adaptado de *Sistema de optimización de Transporte para la Mediana Minería*. [Figura], por Cornejo, E., 2013, Sonami (<https://www.sonami.cl/>).

**1.1.1.3. Automatización.** La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. (Huamán, 2017).

**1.1.1.4. Disponibilidad.** La disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuánto tiempo está ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase. Típicamente se expresa en porcentaje. (Quispe, 2005).

$$\text{Uso de disponibilidad (\%)} = \left( \frac{\text{horas Trabajadas}}{\text{horas trabajadas} + \text{horas stanby}} \right) \times 100$$

**1.1.1.5. Utilización.** La utilización efectiva se determina como se indica a continuación: (Durant, 2005).

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

Utilización efectiva (%) = (horas trabajadas / horas totales) x 100

**1.1.1.6. Base de datos.** Conjunto estructurado de datos que representa entidades y sus interrelaciones. La representación será única e integrada, a pesar de que debe permitir diversas utilidades. (Camps, 2005).

**1.1.1.7. Sistemas.** Un sistema es un conjunto de componentes que interactúan entre sí para lograr un objetivo en común. Aunque existe una gran variedad de sistemas, la mayoría de ellos pueden representarse a través de un modelo formado por cinco bloques básicos: elementos de entrada, elementos de salida, sección de transformación, mecanismo de control y objetivos (Huamán, 2017).

**1.1.1.8. Sistema de despacho.** Es un sistema de asignación dinámica (interacción) de camiones, basado en esquemas de control de tiempos de ciclo pala-camión, asociados a un destino conocido (Reymer, 2013)

Así, el sistema de despacho es una herramienta informática ampliamente utilizada en el sector minero, que permite gestionar los equipos de mina, obteniendo información en tiempo real acerca de su ubicación, estado, asignación, demoras, entre otros.

Inicialmente, estos sistemas de despacho surgen para resolver la premisa de hacia qué equipo de carguío debía dirigirse un equipo de acarreo, lo cual se resolvía a partir de una programación lineal determinando la mejor ruta y mejor destino, teniendo como objetivo al momento de hacer dicha asignación el maximizar la producción de los equipos reduciendo las demoras operativas por falta del equipo de carguío (pala o cargador) o por camiones esperando en la cola del equipo de carguío.

Actualmente, muchas de las mejoras que se llevan a cabo en la operación se cimentan en el sistema de despacho, haciendo uso de la infraestructura y equipamiento

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

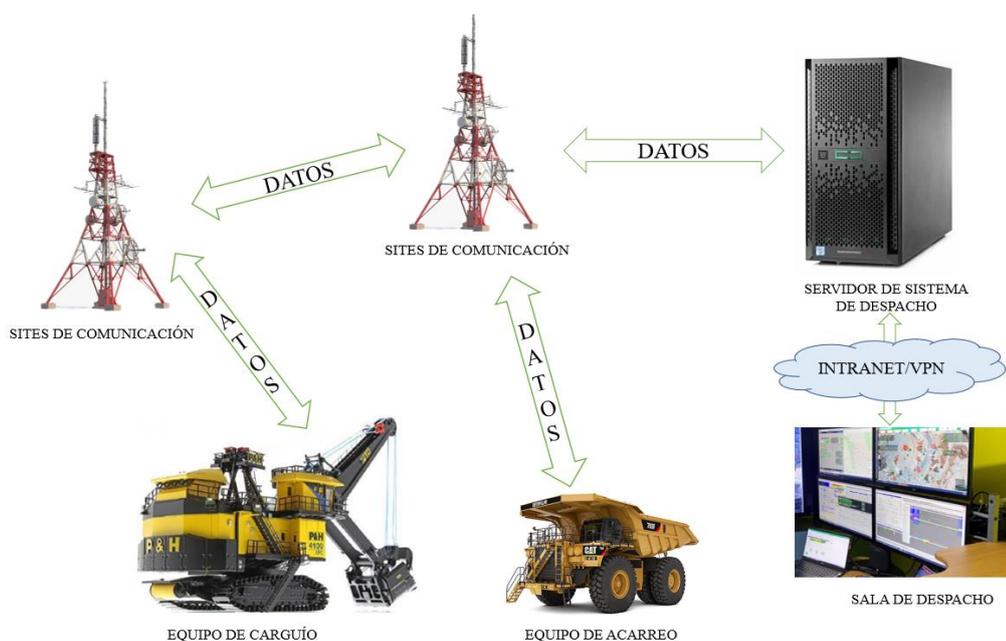
involucrado en el sistema de despacho, realizan la gestión de flota de equipos de mina maximizando la producción y la eficiencia de todos los equipos involucrados en la operación.

Dentro de la infraestructura y equipamiento encontramos el GPS que dota a la operación de un monitoreo en tiempo real de la ubicación y/o posicionamiento de cada uno de sus equipos por GPS de alta y baja precisión, además de contar con un computador abordo que permite almacenar y transmitir en tiempo real la información de los sensores instalados, que a su vez permiten el monitoreo del estado del equipo, permitiendo realizar un mantenimiento preventivo y correctivo, así como la obtención de informes de producción del material transportado por los equipos de acarreo por ejemplo.

A continuación, se muestra la arquitectura del sistema de despacho para la operación de nuestra mina modelo:

**Figura 4**

*Arquitectura del Sistema de Despacho*



*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

Nota: El esquema de la arquitectura del sistema de despacho muestra como se compone el sistema de despacho a nivel de hardware, en el que se tienen servidores que almacenan y procesan los datos recolectados a través de un sistema inalámbrico que cubre toda la mina gracias a los sitios de comunicación instalados de manera estratégica que cubran toda la operación y capten la información transmitida por los computadores a bordo (hubs) instalados en cada uno de los equipos. Dicha información puede ser accedida por personal de mina como son los controladores ubicados en la sala de despacho, por ejemplo. Fuente: Autoría propia.

Es así que hoy los sistemas de despacho son considerados un estándar para la gestión de la flota de equipos en mina a cielo abierto, que con el transcurrir del tiempo ha ido evolucionando y dando mayor soporte a la operación a través de motores de base de datos que permiten obtener reportes estratégicos basados en KPI's fijados por la alta gerencia y dirección.

Como se puede visualizar de la figura anterior referida a la arquitectura del sistema de despacho, los equipos de mina transmiten datos a través de la red inalámbrica industrial que hay dentro de mina, para ello cada equipo de carguío y acarreo cuenta con un computador a bordo, que captura la información referida a la posición de los equipos gracias a las antenas GPS que se instalan en los equipos y que pueden ser de alta y baja precisión según sea el caso; posteriormente estos datos son enviados al servidor del sistema de despacho en el que se determina la asignación óptima en cada ciclo de carguío y acarreo, permitiendo cumplir con los requerimientos de movimiento de tierras (mineral y desmonte) fijados por el área de ingeniería para los avances planeados a corto y mediano plazo.

Como vemos, el sistema de despacho dota a la mina de un gran número de beneficios, que se enuncian a continuación:

- Incremento de la productividad de la flota de equipos carguío y acarreo.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

- Reducción de equipos de acarreo en cola de espera de un equipo de carguío.
- Detección de tiempos muertos.
- Reportes en tiempo real de indicadores claves de desempeño de los equipos.
- Reasignación a criterio del operador.
- Simulación del comportamiento
- Pronosticar el rendimiento de una flota de equipos de carguío y acarreo.

Como parte del sistema de despacho, además hay que tener en cuenta la gestión de tiempos, la cual puede ir variando de mina en mina, pero que en esencia son tiempos operativos, demoras, tiempo de espera y tiempo por equipo malogrado.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

### 1.1.1.9. Descripción de Tiempos en Minería

**Figura 5**

*Clasificación de tiempos según ASARCO*



Nota: ASARCO: American Smelting & Refining Co. Fuente: Autoría propia.

La clasificación de tiempos para los equipos según la norma ASARCO (American Smelting & Refining Co.) son:

**Tiempo Nominal:** Tiempo durante el cual los equipos de mina se encuentran en campo, se puede asociar este a un periodo tiempo, por ejemplo: un turno de 12 horas, un día de 24 horas, etc.

**Tiempo Disponible:** Tiempo en el cual se puede hacer uso del equipo ya que este se encuentra en óptimas condiciones mecánicas para ser operado.

**Tiempo Operativo:** Tiempo en el que los equipos se encuentran operando en campo con su operador asignado.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

Tiempo de Reserva o Stand by: Tiempo en que los equipos se encuentran disponibles pero que no están siendo operados. Por ejemplo: Equipos parados por falta de operador, equipos parados por falta de pala, etc.

Tiempo Efectivo: Es el tiempo en que los equipos está siendo utilizado para cada una de las operaciones unitarias para las que realmente son destinadas.

Demoras Programadas: Es el tiempo en que los equipos están detenidos por situaciones previamente programadas, y de las cuales se conoce su duración, hora de inicio y la hora de término de dicho evento. Por ejemplo: Hora de refrigerio, cambio de guardia, etc.

Demoras No Programadas: Es el tiempo en que los equipos están detenidos por situaciones de las cuales no se sabe a ciencia cierta la duración exacta ni en que momento ocurrirán, pero que son parte de la operación. Ejemplo: tiempo de carga de combustible de los equipos, tiempo de voladura, etc.

Pérdidas Operacionales: Tiempo operativo en que los equipos no están cumpliendo su tiempo efectivo, es decir, no están realizando la labor para la que fueron creados, y esto debido en su mayoría a tiempos de espera en cola.

No Disponible: Tiempo en que los equipos no se encuentran disponibles para ser operados, debido a que se encuentran recibiendo mantenimiento preventivo (programado) o correctivo (no programado).

**1.1.1.10. Diagrama de Flujo.** El diagrama de flujo contiene en general muchos más detalles que el de operaciones. Este diagrama es especialmente útil para poner de manifiesto: distancias recorridas, retrasos y almacenamiento temporales, pero se podría llegar a utilizar como una herramienta para registrar operaciones e inspecciones con el fin

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

de optimizar el proceso. Una vez expuestos estos periodos no productivos, el analista puede proceder a su mejoramiento. Además de registrar las operaciones y las inspecciones, el diagrama de flujo de proceso muestra todos los traslados y retrasos de almacenamiento con los que tropieza un artículo en su recorrido por la planta. En el se utilizan los símbolos además de los de operación e inspección.

Estos diagramas se utilizan principalmente para expresar un problema o para disminuir o eliminar actividades que no añaden valor al producto como transporte, inspección, retrasos, almacenamiento, o para mejorar el flujo en terminales.

Cuando se realiza un diagrama de flujo, las preguntas típicas que se deben hacer son:

**QUÉ.** ¿Qué operaciones son realmente necesarias? ¿Se pueden eliminar algunas operaciones? ¿Combinar o simplificarse? ¿Se debe rediseñar el producto para facilitar la producción?

**QUIÉN.** ¿Quién realiza cada operación? ¿Puede rediseñarse la operación para utilizar menos habilidad o menos hora hombre? ¿Pueden combinarse las operaciones para enriquecer puestos y mejorar así la productividad o las condiciones de trabajo?

**DÓNDE.** ¿En dónde se realiza cada operación? ¿Puede mejorarse la distribución para reducir la distancia que se recorre o para hacer que las operaciones sean más accesibles?

**CUÁNDO.** ¿Cuándo se realiza cada operación? ¿Existe un exceso de retrasos o almacenamiento? ¿Algunas operaciones ocasionan cuellos de botella?

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

**CÓMO.** ¿Cómo se hace la operación? ¿Pueden utilizarse mejores métodos, procedimientos o equipos? ¿Debe revisarse la operación para hacerla más fácil o para que consuma menos tiempo?

A partir de las respuestas a estas preguntas, se pueden hacer mejoras en los procedimientos, tareas, equipo, materia prima, distribución o información para control administrativos. Básicamente el objetivo es añadir mayor valor al producto o al servicio mediante la eliminación del desperdicio o de actividades innecesarias en todas las etapas. (Plata Roza, 2014).

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores, mejora significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?

### ***1.2.1. Problema Específicos***

- ¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores reduce significativamente los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna- 2020?

- ¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?

- ¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?

- ¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el impacto económico del tonelaje de material movido de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar el impacto en la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para reducir los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

- Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

- Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

- Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar el impacto económico del tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1. Hipótesis general***

El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores mejora significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

### ***1.4.2. Hipótesis específicas***

- El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores reduce significativamente los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

- El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

- El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

- El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el impacto económico del tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

#### **2.1.1. Según el propósito**

El empleo de variables directas y a mediano plazo en la sociedad o en el sector privado se considera aplicada (Lozada, 2014).

Vargas (2009) expuso que la investigación que incluye cualquier esfuerzo sistemático por resolver problemas o intervenir situaciones, es considerada Aplicada.

También, Vara (2015), indica que “El interés de la investigación aplicada es práctico, donde sus resultados se emplean inmediatamente en la solución de problemas de la realidad”.

Por lo tanto, la presente tesis se considera Investigación Aplicada, debido a que tiene por objeto la aplicación de la tecnología para automatizar el tareo de operadores hacia sus equipos como en el caso que se presenta en esta mina modelo en Tacna y que sus resultados pueden ser empleados en la solución de otras realidades similares.

#### **2.1.2. Según el diseño de investigación**

Las investigaciones descriptivas buscan especificar las características, propiedades y perfiles del grupo de estudio o del fenómeno que se está sometiendo a análisis. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003).

Así, la presente investigación se considera una Investigación del tipo descriptiva debido a que detalla el procedimiento del uso de una nueva tecnología para la automatización del tareo de operadores hacia sus equipos durante el cambio de guardia de los operadores como en el caso que se presenta en esta mina modelo ubicada en la región de Tacna.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **2.1.3. Según el enfoque de investigación**

“El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para que se pruebe la hipótesis, con base a una medición numérica y el análisis estadístico”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003).

Así, la presente investigación se considera una Investigación con enfoque cuantitativo, ya que en los resultados se probará a través de la media de horas de inicio de cada guardia, así como media de la cantidad de material acarreado que se han incrementado después de la implementación, comparando además el porcentaje de incremento.

## **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

### **2.2.1. Población**

“La población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003, p. 174).

En tal sentido, para efectos de esta investigación se consideró como población a la totalidad de los operadores y equipos de la mina modelo en Tacna. Siendo esta una flota de equipo compuesta por:

- 92 Volquetes
- 9 Palas
- 18 Perforadoras
- 43 Equipos Auxiliares

Y un total de 161 operadores por turno, ya sea turno día o turno noche.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **2.2.2. Muestra**

“La muestra no probabilística o dirigida es un subgrupo de la población, en la que la elección de los elementos de investigación no depende de un análisis de probabilidad, sino de las características de la investigación”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003, p. 176).

Así, se tendrá como muestra a los operadores y equipos, anteriormente descritos, pero acotados en las guardias involucradas durante los 638 días comprendidos entre el 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018 (antes de la implementación de la automatización) y del 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019 (cuando ya se tenía la automatización implementada). La técnica de muestreo para la presente tesis es del tipo no probabilística y se utiliza el método por criterio.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnicas para la recolección de datos**

“La recolección de datos con la observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003, p. 260).

“El análisis de datos cuantitativo es una técnica para estudiar cualquier tipo de comunicación de una manera “objetiva” y sistemática, que cuantifica los mensajes o contenidos en categorías y subcategorías, y los somete a análisis estadísticos”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003, p. 260).

Por tanto, para la presente tesis emplearemos la observación y el análisis de datos cuantitativo a partir de los datos capturados en las fichas de tareo y los datos de los reportes extraídos del sistema de despacho.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **2.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

“Instrumento de medición, es el recurso que se utiliza en la investigación, para registrar la información o datos sobre las variables”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio, 2003, p. 200).

Así, los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron en la presente investigación son: las hojas de tareo diario, en la que se verifican la cantidad de operadores asistentes y que fueron tareados; también los reportes diarios y mensuales obtenidos del sistema de despacho, a través de un sistema reporteador de tonelaje de material acarreado en la partida de movimiento de tierras, dividiéndolas y analizándolas en la primera hora de cada turno, así como el reporte de inicio para el arranque de cada guardia y que son procesadas en hojas de electrónicas (Excel). Ver figura N° 7, anexo N° 3 y anexo N° 4.

### **2.3.3. Validez**

“La validez, es el grado en que un instrumento realmente mide la variable a la que pretende medir.” (Vara, 2018).

En tal sentido, se han utilizado formatos utilizados y validados por el Sistema Integrado de gestión de la mina modelo, así como los reportes emitidos por el sistema de despacho utilizado en la mina modelo de forma diaria para el control de tonelaje acarreado. Ver figura N° 7, anexo N° 3 y anexo N° 4.

### **2.3.4. Análisis de datos**

“La estadística descriptiva es: recolectar, procesar, presentar y analizar los datos. Las medidas estadísticas descriptivas son de amplio conocimiento, consenso y experiencia, no necesitan realizar análisis de validez y fiabilidad. El uso descriptivo de la estadística está demostrado científicamente.” (Morillo, 2018).

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

“La estadística descriptiva permite realizar el análisis de datos de todo un conjunto, de las cuales se extraerán conclusiones analizadas, solo para ese conjunto”. (Salazar, Castillo, 2018, p. 14).

Es por ello, que para la presente tesis se empleará estadística descriptiva enfocadas en medidas de tendencia central como son promedios y porcentajes para cada variable, como son el tiempo y tonelaje, donde se analizarán de manera aislada cada una de ellas.

#### **2.4. Procedimiento**

Para el desarrollo e implementación de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo en Tacna, se realizó un análisis de la situación de la mina modelo, que se detalla a continuación:

La mina modelo cuenta con un sistema de despacho en cuya base de datos tiene almacenado las habilidades de los operadores que trabajan e interactúan en cada turno de trabajo, así como las guardias de trabajo a las que pertenecen, como se muestra en la figura 6.

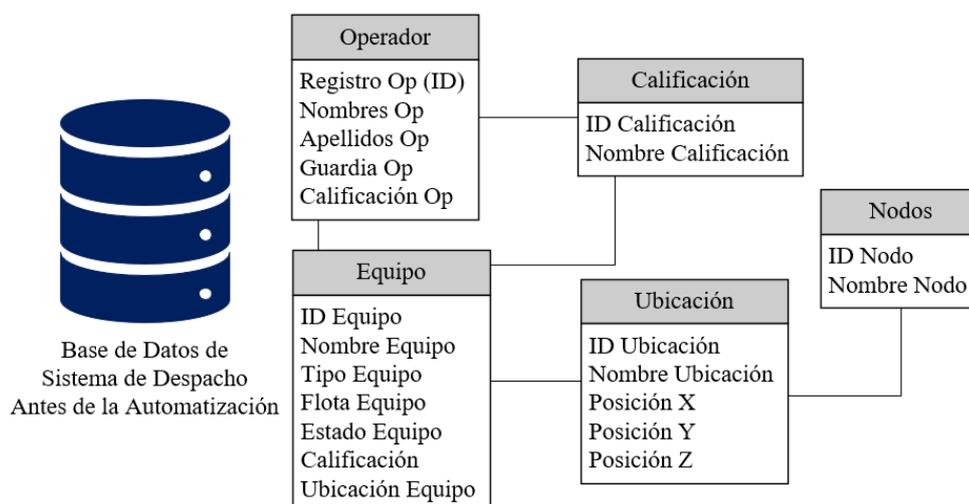
La mina modelo cuenta con equipos de transporte, que llevan a los operadores del espacio donde se realiza el tareo manual hacia los equipos asignados, para lo cual se tenían zonas de parqueo definidas, para que los operadores al finalizar su turno puedan dejar parqueados sus equipos en dichas zonas.

La mina modelo cuenta con formatos impresos, que indican la disponibilidad de equipos, ubicación y dos espacios en blanco para colocar el nombre del operador y para marcar si el operador ha asistido a su turno de trabajo y se le ha comunicado el equipo que se le ha sido asignado, como se muestra en la figura 7.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 6**

Base de datos del sistema de despacho antes de la automatización del tareo



Nota: El esquema de la Base de datos provista en la Figura 6, muestra una parte de la base de datos en la que se involucra las tablas relacionadas a los operadores y equipos del sistema de despacho de la mina modelo antes de la automatización del tareo. Fuente: Autoría propia.

**Figura 7**

Formato de Tareo de Equipos de Mina Modelo

### HOJA DE TAREO DE EQUIPOS

Fecha:

Turno:

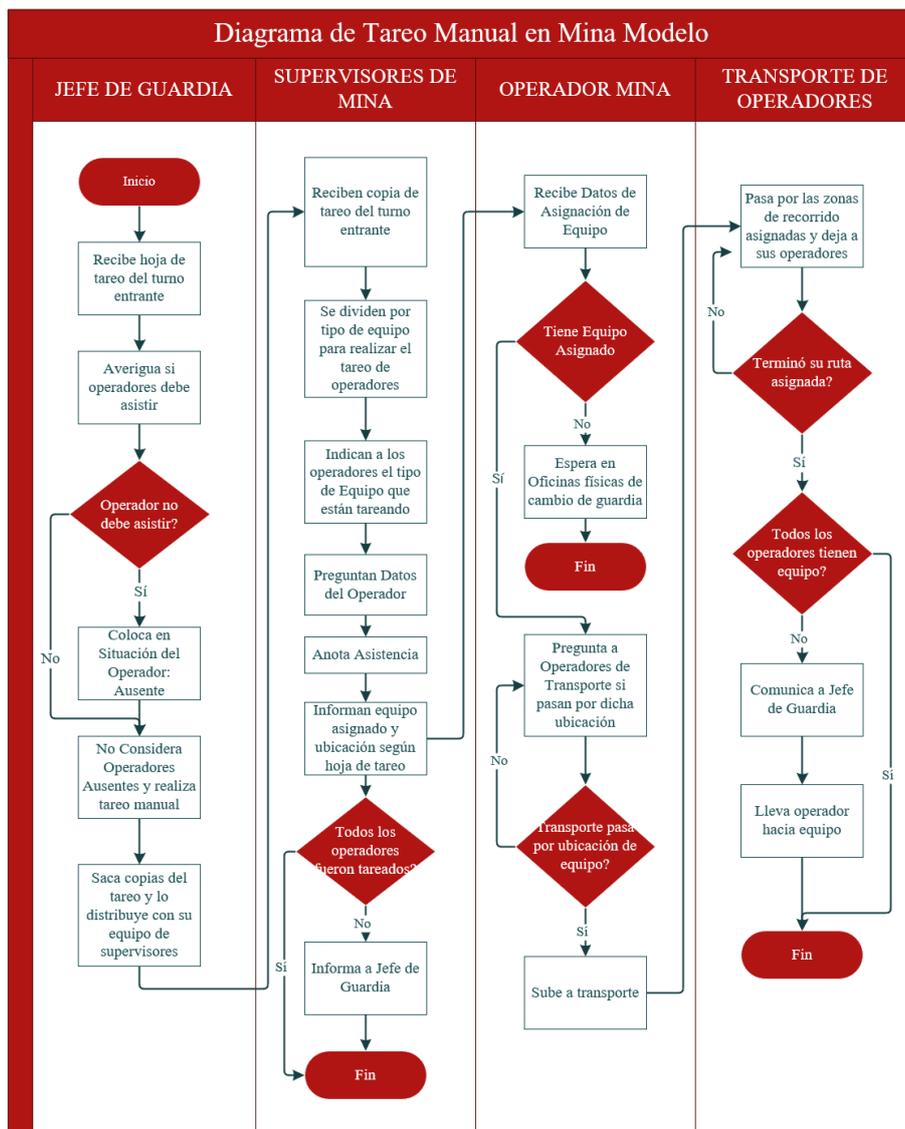
N°	Registro	Apellidos y Nombres	Situación	Equipo Asignado	Ubicación	Tareado?
01						
02						
03						

Nota: Se muestra la cabecera del formato de tareo que tenía la mina modelo, la cual tenía el registro, nombres y apellidos de los operadores pertenecientes al turno entrante, y en donde el equipo de supervisión con su jefe de guardia se encarga de tarezar según se indica en el diagrama de la figura 7. Fuente: Autoría propia.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

La mina modelo cuenta con un Jefe de Guardia y un conjunto de supervisores, quienes de manera conjunta se encargan de realizar el tareo manual de operadores, teniendo en consideración no dejar equipos de alta prioridad sin operador.

**Figura 8**  
Diagrama de Tareo Manual en Mina Modelo



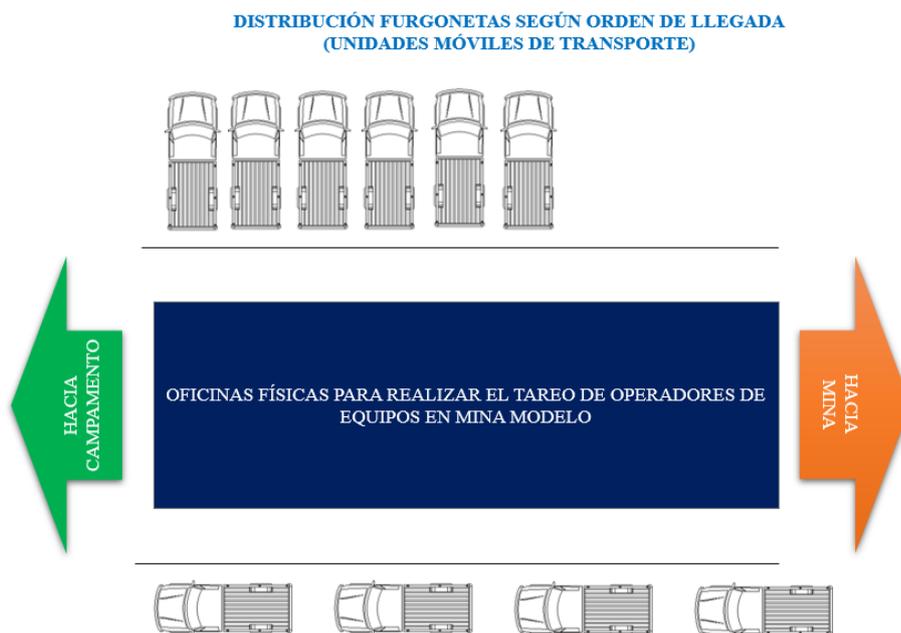
Nota: Se considera que un operador no debería asistir a la operación por razones de: vacaciones programadas, examen médico anual programado, descanso médico o a pedido permiso a su jefe de guardia. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

La mina modelo cuenta con un espacio físico para realizar el cambio de guardia entre los operadores de las guardias entrantes y guardias salientes, en la que posterior al relevo los buses y furgonetas transportan a los operadores hacia los equipos de carguío y acarreo. Dicho espacio no cuenta con una adecuada distribución de los vehículos de transporte, ocasionando que en muchas ocasiones se lleven a operadores a zonas donde no se encuentre su equipo, y, por tanto, reduciendo la utilización del equipo asignado.

### **Figura 9**

#### *Distribución de Furgonetas en Oficinas de Tareo de Operadores*



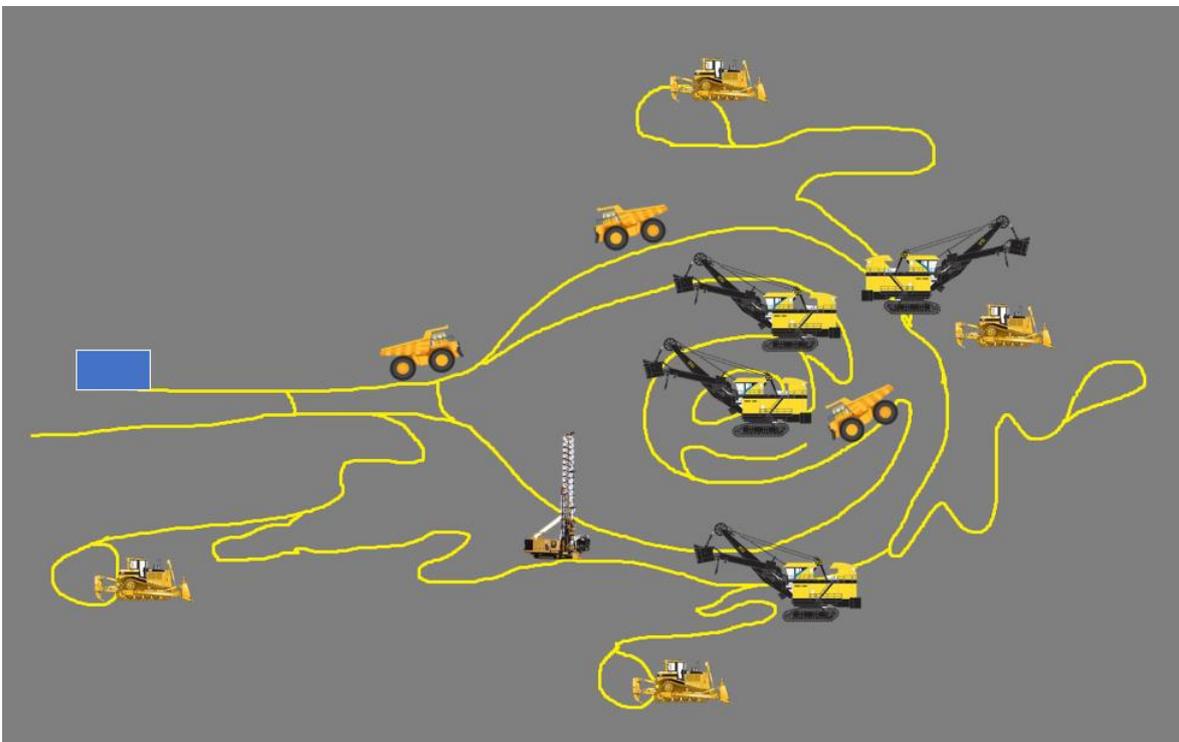
Nota: La distribución y ubicación de las furgonetas no era uniforme, y esta variaba constantemente en función del orden de llegada de estos, lo cual generaba un desorden al momento en que los operadores de los equipos debían abordar dichas unidades de transporte. Adicionalmente en reiteradas ocasiones los operadores abordaban transportes que no pasaban por los lugares donde se encontraban sus equipos, haciendo que se pierda tiempo de utilización de los equipos de mina. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

La mina modelo cuenta con un sistema de despacho que permite visualizar en tiempo real la ubicación GPS de los equipos de carguío y acarreo dentro de la mina. Además de la disponibilidad de dichos equipos al finalizar e iniciar cada turno de trabajo.

### **Figura 10**

*Mapa de Mina del Sistema de Despacho con Rutas y Equipos*



Nota: Las rutas de acarreo de la mina en el sistema de despacho son mostradas a través de líneas curvas, que se definen entre nodos o puntos gps. En dicho mapa se representa también los equipos de mina y su ubicación en tiempo real dentro de la mina modelo. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **Figura 11**

*Nodos de rutas de acarreo de mina modelo*



Nota: Los nodos de las rutas de mina son creados por los administradores del sistema de despacho, y permiten definir y modelar las rutas de acarreo de la mina modelo. Fuente: Autoría propia.

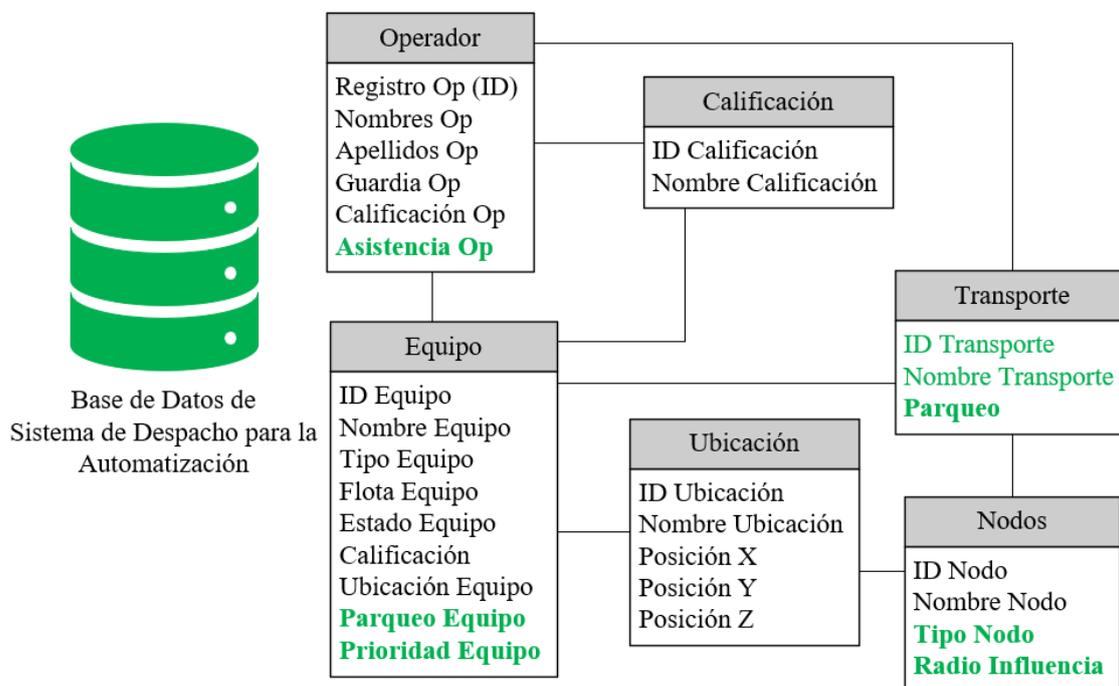
A partir de ello, se implementó un algoritmo de tareo automático en el cambio de guardia de los operadores, que permitiera reducir los tiempos de asignación del tareo y a la vez aumente la productividad de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras.

El algoritmo, involucró incrementar datos adicionales en la base de datos, como se muestra a continuación:

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 12**

*Base de Datos de Sistema de Despacho para la Automatización*



Nota: El esquema de la Base de datos mostrada en la Figura 12, muestra los nuevos atributos y tablas que se implementaron para la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo.

Fuente: Autoría propia.

Los cambios implementados a la base de datos son:

- Tabla Operador: Se agregó el atributo de Asistencia de Operador, cuyo valor por defecto en la tabla será de “Presente”, cualquiera sea el motivo por el que no pudiese asistir, como, por ejemplo: estar de vacaciones, examen médico anual, descanso médico, permiso, su valor será de “Ausente”, que implicará que no será considerado para el tareo de la guardia entrante.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

- Tabla Equipo: Se agregó el atributo de Parqueo Equipo, esto con la finalidad de que los equipos sean asociados a nodos de influencia que permanecen cuasiestáticos y en donde generalmente se parquean los equipos al finalizar el turno, como son:

- Ubicación de Palas
- Ubicación de Parqueos Físicos en la mina modelo
- Ubicación de Grifos
- Ubicación de Botaderos
- Ubicación de Chancadoras

- Tabla Equipo: Se agregó el atributo de Prioridad Equipo, esto con la finalidad de que al momento de realizar la automatización del tareo en el cambio de guardia, se considere a ciertos equipos como críticos y que se priorice la asignación de un operador frente a otros, basados en las calificaciones y asistencia de los operadores.

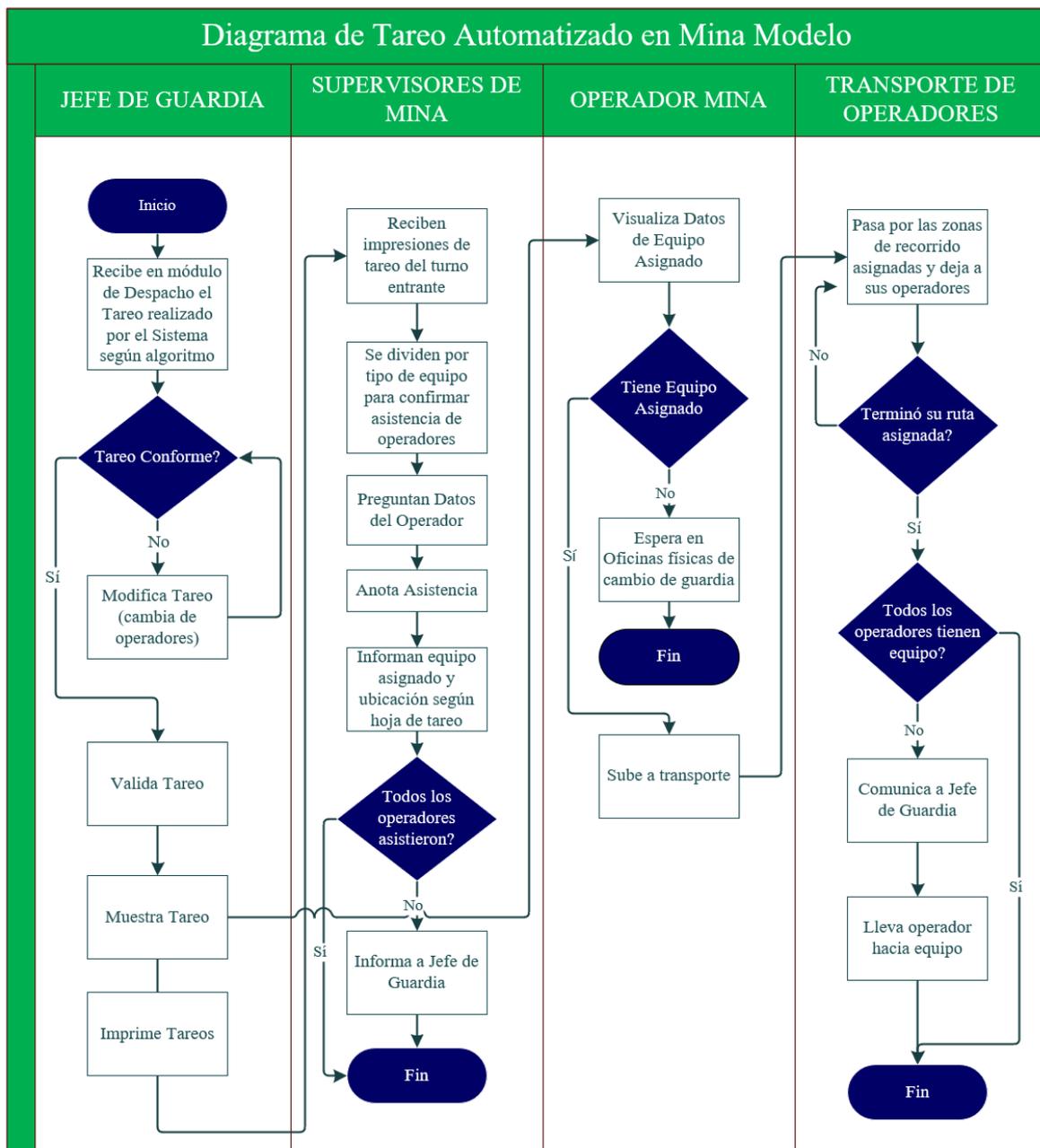
- Tabla Transporte: Se agregó la tabla transporte, a fin de relacionar los equipos asignados, y que los operadores sepan qué transporte abordar. Para ello, también las furgonetas de transporte deberán tener un parqueo previamente asignado por la supervisión, para lo cual será necesario asignar a ciertos nodos el atributo Tipo Nodo, que corresponda a Nodo del tipo Parqueo.

- Tabla Nodos: Esta tabla juega un rol importante, ya que al agregarle el atributo Tipo Nodo, podremos indicar si dicho nodo es del tipo Parqueo, y sumado a un radio de influencia de 300 metros, podremos asociar a todos aquellos equipos que se encuentren dentro de dicho radio, como si estuviesen en un parqueo que les corresponde a determinadas furgonetas de transporte.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 13**

*Diagrama de Automatización de Tareo en Mina Modelo*



Nota: Se considera que un operador no debería asistir a la operación, si es que este tiene: vacaciones programadas, examen médico anual programado, descanso médico o a pedido permiso a su jefe de guardia.

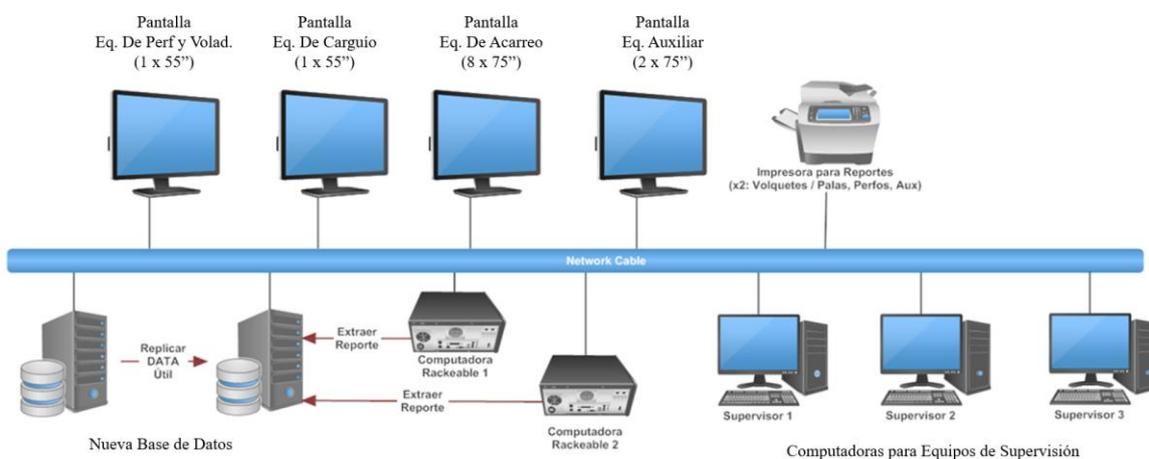
Fuente: Autoría propia.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

Posterior a ello se realizó la implementación física de Infraestructura donde se muestre el tareo de los operadores hacia sus equipos.

**Figura 14**

*Arquitectura de Sistema de Tareo en el cambio de guardia de operadores*



Nota: Para efectos de la presente tesis, el alcance es únicamente para los equipos de carguío y acarreo relacionados directamente con la partida de movimiento de tierras en la mina modelo. Fuente: Autoría propia.

Los criterios para la selección de la cantidad de pantallas, estuvo basado en la cantidad de equipos, así se tiene que el grueso de equipos se encuentra en la partida de carguío y acarreo, según se detalla a continuación:

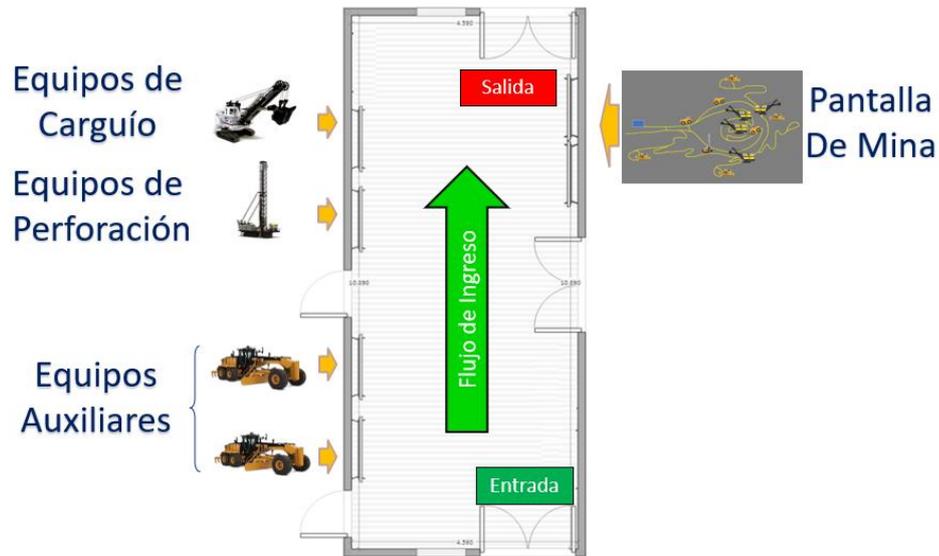
- 92 Volquetes
- 9 Palas

En base a la arquitectura anteriormente planteada se realizó la implementación física, para lo cual se adquirieron e instalaron las pantallas como se muestra a continuación:

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 15**

*Distribución interior de pantallas*



Nota: En el interior del espacio físico donde se realiza el cambio de guardia y asignación de operadores hacia sus equipos se colocaron las pantallas correspondientes a los Equipos de Carguío, Equipos de Perforación y Equipos Auxiliares. Esto por la cantidad de equipos que es mínima comparada con los equipos de acarreo, que fueron situados en la parte exterior. Fuente: Autoría propia.

**Figura 16.**

*Vista 1 - 3D interior de distribución de pantallas en cambio de guardia automatizado*



Nota: Diseño interior de espacio físico de mina modelo en 3D. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

### **Figura 17**

*Vista 2 - 3D interior de distribución de pantallas en cambio de guardia automatizado*



Nota: Diseño interior de espacio físico de mina modelo en 3D. Fuente: Autoría propia.

### **Figura 18**

*Distribución exterior de pantallas*



Nota: Para la distribución exterior se han colocado 4 pantallas tanto en la entrada como en la salida. Ambos lados muestran la misma información, esto con la finalidad de descongestionar y agilizar el ingreso de los operadores, además que al llegar al espacio físico de la mina modelo, desde los buses ya pueden ir visualizando los operadores su equipo asignado. Fuente: Autoría propia.

En cada una de las pantallas se estructuró reportes donde figura el tareo de los operadores hacia sus equipos como se detalla a continuación:

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 19**

Tareo digital de operadores en cambio de guardia

Apellidos de Operador	Nombre Operador	Nombre Equipo	Ubicación	Furgoneta
CHOTA FERNANDEZ	HILTON	Volquete 08	STOCK DE MINERAL	Furgoneta 01, 02
COSTA NINAJA	MAX	Volquete 09	CHANCADORA PRIMARIA	Furgoneta 01, 02
ZARATE VELAZCO	CERVANTES	Volquete 10	STOCK DE MINERAL	Furgoneta 01, 02
LOZANO MACEDO	CRISTOBAL	Volquete 21	PALA 06	Furgoneta 06
LOYOLA VALENZUELA	EDILBERTO	Volquete 11	PALA 08	Furgoneta 08
CIPRIANI MOYA	JUAN	Volquete 19	PALA 06	Furgoneta 06
MEJIA QUISPE	FERNANDO	Volquete 27	CHANCADORA PRIMARIA	Furgoneta 01, 02
COJAL ABANTO	RUBEN	Volquete 35	CHANCADORA PRIMARIA	Furgoneta 01, 02
RABANAL ASTENGO	JUAN	Volquete 43	CHANCADORA SECUNDARIA	Furgoneta 03, 04
RABANAL ROQUE	RAMON	Volquete 51	PALA 04	Furgoneta 04
REYNA FLOREADO	JUSTINO	Volquete 59	BOTADERO 02	Furgoneta 05, 11
SALAS VELAZCO	LEANDRO	Volquete 18	TALLER DE VOLQUETES	Furgoneta 11

Nota: El formato digital de tareo de operadores a mostrar es igual para cada tipo de equipo, considerando siempre que la furgoneta de transporte de acuerdo a la ruta que recorre y que ha sido cargada en el Sistema de Despacho, además la ubicación del Equipo está asociada a los nodos cercanos donde se parqueó y apagó el equipo, así como a los equipos de carguío. Fuente: Autoría propia.

**Figura 20**

Tareo digital de asignación de operadores en la automatización



Reportes Eq. Auxiliares 1

Reportes Eq. Auxiliares 2

Reportes Eq. Perforación

Reportes Equipos de Carguío

Apellidos de Operador	Nombre Operador	Nombre Equipo	Ubicación	Furgoneta
CHOTA FERNANDEZ	HILTON	Volquete 08	STOCK DE MINERAL	Furgoneta 01, 02
COSTA NINAJA	MAX	Volquete 09	CHANCADORA PRIMARIA	Furgoneta 01, 02
ZARATE VELAZCO	CERVANTES	Volquete 10	STOCK DE MINERAL	Furgoneta 01, 02
LOZANO MACEDO	CRISTOBAL	Volquete 21	PALA 06	Furgoneta 06
LOYOLA VALENZUELA	EDILBERTO	Volquete 11	PALA 08	Furgoneta 08
CIPRIANI MOYA	JUAN	Volquete 19	PALA 06	Furgoneta 06
MEJIA QUISPE	FERNANDO	Volquete 27	CHANCADORA PRIMARIA	Furgoneta 01, 02
COJAL ABANTO	RUBEN	Volquete 35	CHANCADORA PRIMARIA	Furgoneta 01, 02
RABANAL ASTENGO	JUAN	Volquete 43	CHANCADORA SECUNDARIA	Furgoneta 03, 04
RABANAL ROQUE	RAMON	Volquete 51	PALA 04	Furgoneta 04
REYNA FLOREADO	JUSTINO	Volquete 59	BOTADERO 02	Furgoneta 05, 11
SALAS VELAZCO	LEANDRO	Volquete 18	TALLER DE VOLQUETES	Furgoneta 11

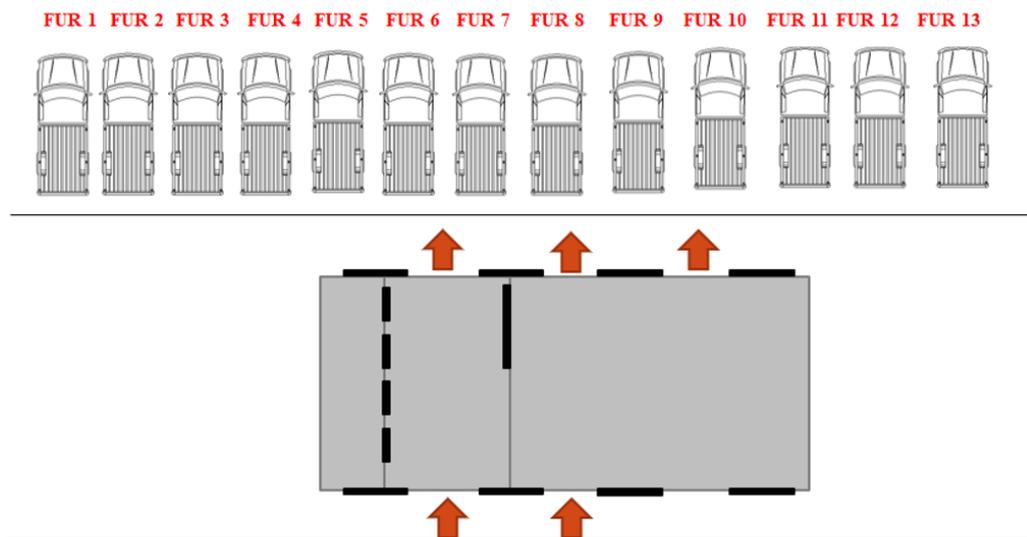
4 Reportes Equipos Acarreo (x2)

Nota: La figura muestra todos los reportes desplegados en cada una de las pantallas. Fuente: Autoría propia.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 21**

*Nueva distribución física de furgonetas de transporte*



Nota: Se rediseñó la distribución y ubicación de las furgonetas de transporte en el espacio físico del cambio de guardia de operadores en la mina modelo, esto con la finalidad de generar un mayor orden y de tener ubicaciones de las furgonetas de transporte de manera ordenada que permita abordar dichas unidades en un menor tiempo. Fuente: Autoría propia.

**Figura 22**

*Time line de tareo en cambio de guardia con la automatización*



Nota: La figura muestra el uso de los módulos implementados como parte de la automatización del tareo en el cambio de guardia, en una línea de tiempo que permite el adecuado funcionamiento del sistema. Fuente:

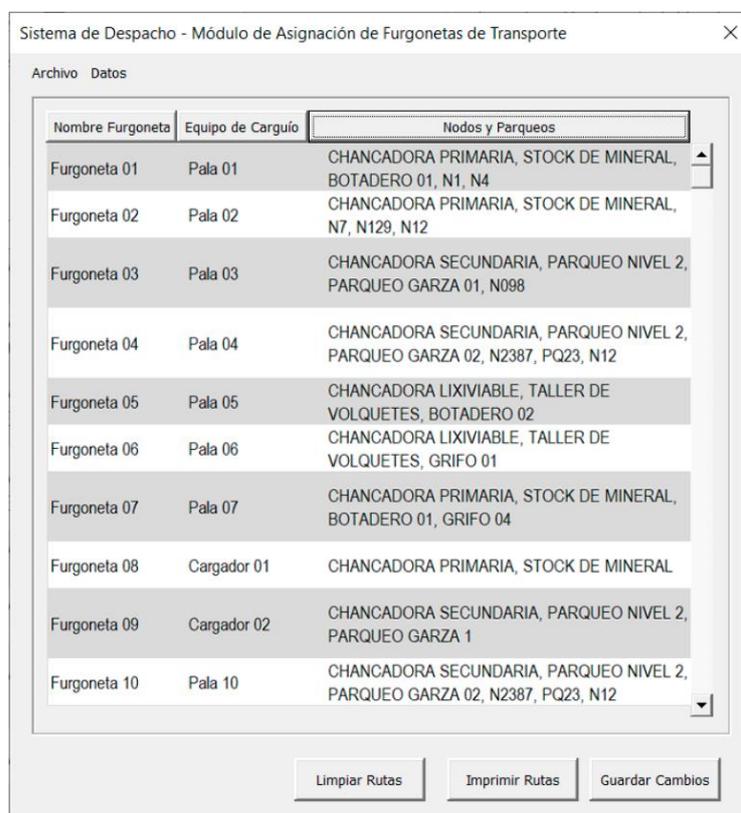
Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

El módulo de asignación de furgonetas de transporte, permite actualizar el recorrido que realizará cada una de las furgonetas, de tal manera que se cubra todos los nodos (algunos considerados como parqueos fijos: Chancadora primaria, secundaria, lixiviables, etc.) donde se encuentren los equipos de la flota de mina. Adicionalmente se tiene una columna en la que pueden modificar los equipos de carguío (pala o cargador) por los que las furgonetas realizarán su recorrido, ya que usualmente al finalizar la guardia los volquetes suelen quedarse en los parqueos que se encuentran ubicados cerca a estos equipos de carguío

**Figura 23**

*Módulo de asignación de furgonetas de transporte*



Nombre Furgoneta	Equipo de Carguío	Nodos y Parqueos
Furgoneta 01	Pala 01	CHANCADORA PRIMARIA, STOCK DE MINERAL, BOTADERO 01, N1, N4
Furgoneta 02	Pala 02	CHANCADORA PRIMARIA, STOCK DE MINERAL, N7, N129, N12
Furgoneta 03	Pala 03	CHANCADORA SECUNDARIA, PARQUEO NIVEL 2, PARQUEO GARZA 01, N098
Furgoneta 04	Pala 04	CHANCADORA SECUNDARIA, PARQUEO NIVEL 2, PARQUEO GARZA 02, N2387, PQ23, N12
Furgoneta 05	Pala 05	CHANCADORA LIXIVIABLE, TALLER DE VOLQUETES, BOTADERO 02
Furgoneta 06	Pala 06	CHANCADORA LIXIVIABLE, TALLER DE VOLQUETES, GRIFO 01
Furgoneta 07	Pala 07	CHANCADORA PRIMARIA, STOCK DE MINERAL, BOTADERO 01, GRIFO 04
Furgoneta 08	Cargador 01	CHANCADORA PRIMARIA, STOCK DE MINERAL
Furgoneta 09	Cargador 02	CHANCADORA SECUNDARIA, PARQUEO NIVEL 2, PARQUEO GARZA 1
Furgoneta 10	Pala 10	CHANCADORA SECUNDARIA, PARQUEO NIVEL 2, PARQUEO GARZA 02, N2387, PQ23, N12

Nota: El módulo de asignación de furgonetas de transporte fue implementado en el sistema de despacho.

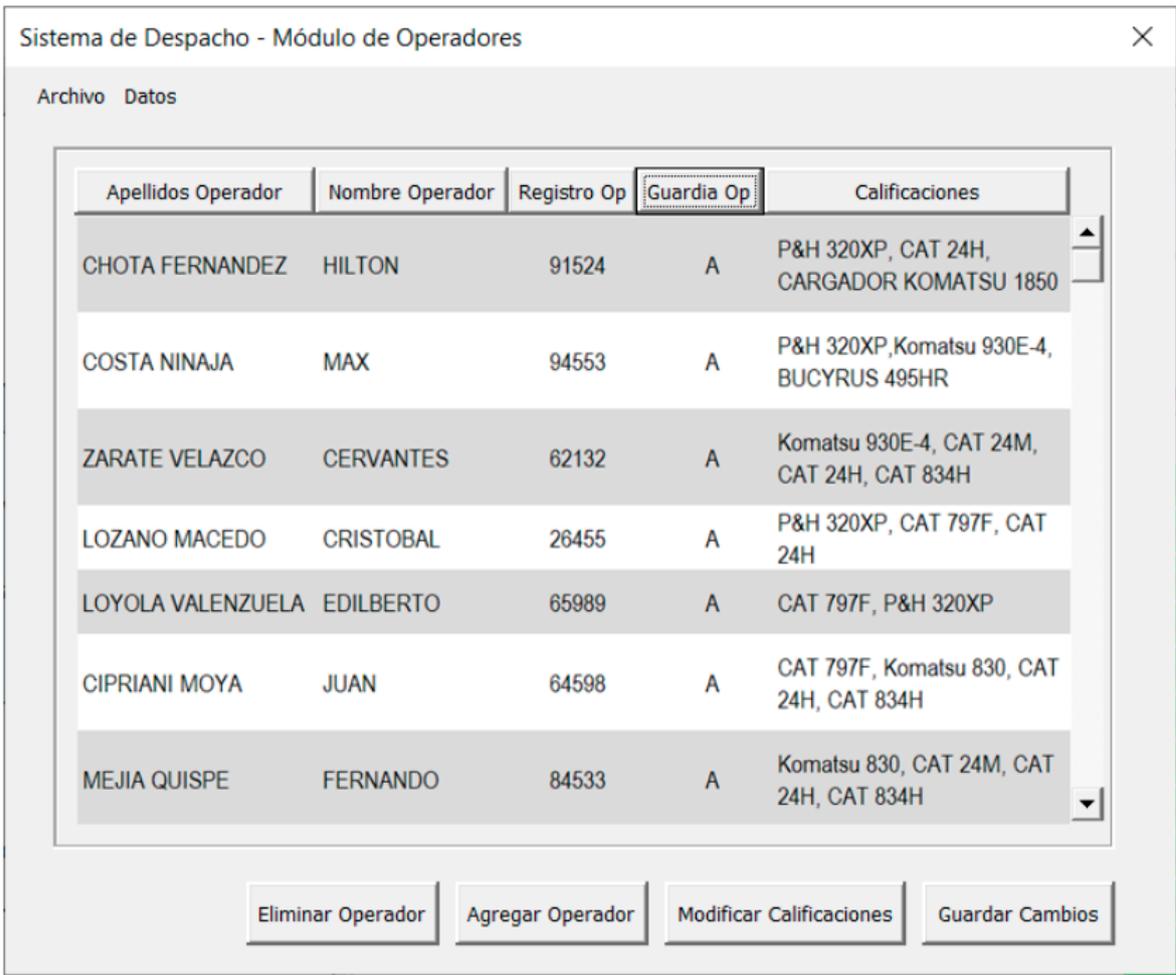
Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

El módulo de operadores permite actualizar las calificaciones que posee un operador (agregar o quitar calificación para poder operar un equipo), la cual le permite ser asignado a un determinado equipo de manera correcta en el algoritmo de asignación. Además, este módulo permite editar la guardia a la que pertenece un operador.

## Figura 24

### Módulo de operadores



Apellidos Operador	Nombre Operador	Registro Op	Guardia Op	Calificaciones
CHOTA FERNANDEZ	HILTON	91524	A	P&H 320XP, CAT 24H, CARGADOR KOMATSU 1850
COSTA NINAJA	MAX	94553	A	P&H 320XP, Komatsu 930E-4, BUCYRUS 495HR
ZARATE VELAZCO	CERVANTES	62132	A	Komatsu 930E-4, CAT 24M, CAT 24H, CAT 834H
LOZANO MACEDO	CRISTOBAL	26455	A	P&H 320XP, CAT 797F, CAT 24H
LOYOLA VALENZUELA	EDILBERTO	65989	A	CAT 797F, P&H 320XP
CIPRIANI MOYA	JUAN	64598	A	CAT 797F, Komatsu 830, CAT 24H, CAT 834H
MEJIA QUISPE	FERNANDO	84533	A	Komatsu 830, CAT 24M, CAT 24H, CAT 834H

Eliminar Operador    Agregar Operador    Modificar Calificaciones    Guardar Cambios

Nota: El módulo de operadores ya estaba implementado en el sistema de despacho antes de la automatización. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

El módulo de tareo permite modificar la asistencia de los operadores que serán tareados para la guardia entrante, así como realizar el tareo automático en base a los operadores que asistirán, sus calificaciones y estado de los equipos.

**Figura 25**

*Módulo de tareo*

Sistema de Despacho - Módulo de Tareo

Archivo Datos

Apellidos Operador	Nombre Operador	Registro Op	Guardia Op	Asistencia	Equipo Asignado	Estado Equipo	Calificación Operador
CHOTA FERNANDEZ	HILTON	91524	A	Asiste	Volquete 08	Operativo	P&H 320XP, CAT 24H, CARGADOR KOMATSU 1850
COSTA NINAJA	MAX	94553	A	Asiste	Volquete 09	Operativo	P&H 320XP, Komatsu 930E-4, BUCYRUS 495HR
ZARATE VELAZCO	CERVANTES	62132	A	Asiste	Volquete 10	Operativo	Komatsu 930E-4, CAT 24M, CAT 24H, CAT 834H
LOZANO MACEDO	CRISTOBAL	26455	A	Asiste	Volquete 21	Operativo	P&H 320XP, CAT 797F, CAT 24H
LOYOLA VALENZUELA	EDILBERTO	65989	A	Asiste	Volquete 11	Operativo	CAT 797F, P&H 320XP
CIPRIANI MOYA	JUAN	64598	A	Asiste	Volquete 19	Operativo	CAT 797F, Komatsu 830, CAT 24H, CAT 834H
MEJIA QUISPE	FERNANDO	84533	A	Asiste	Volquete 12	Operativo	Komatsu 830, CAT 24M, CAT 24H, CAT 834H
AGUIRRE RAMOS	WILDER	45863	A	Falta	-	Falta	P&H 320XP, Komatsu 930E-4, BUCYRUS 495HR, Komatsu 830, CAT 24M, CAT 24H, CAT 834H

Limpiar Asistencia    Guardar Asistencia    Tareo Automático    Imprimir

Nota: El módulo de tareo fue implementado en el sistema de despacho. Fuente: Autoría propia.

Finalmente se implementó el módulo de validación de tareo, el cual permite al responsable de la guardia entrante (Jefe de Guardia o Supervisor designado) que revise el tareo generado por el sistema, y realizar las modificaciones en cuanto a operadores asignados que considere pertinente y finalmente validar el tareo para que este se visualice en el espacio físico donde se realiza el cambio de guardia. Dicho módulo resulta de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en el Sistema de Despacho de la mina modelo.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 26**

*Módulo de validación de tareo*

Sistema de Despacho - Módulo de Validación de Tareo

Archivo Datos

Guardia:

Nombre Equipo	Tipo Equipo	Estado Equipo	Operador Asignado
Perforadora 11	P&H 320XP	Mantenimiento	
Perforadora 15	P&H 320XP	Operativo	
Tractor Orugas 09	Komatsu 930E-4	Mantenimiento	
Perforadora 02	P&H 320XP	Operativo	
Volquete 07	CAT 797F	Operativo	
Volquete 08	CAT 797F	Mantenimiento	CHOTA FERNANDEZ, HILTON
Volquete 09	Komatsu 830	Operativo	COSTA NINAJA, MAX
Volquete 10	Komatsu 830	Operativo	ZARATE VELAZCO, CERVANTES
Volquete 21	Komatsu 830	Mantenimiento	LOZANO MACEDO, CRISTOBAL
Volquete 11	CAT 793D	Operativo	LOYOLA VALENZUELA, EDILBERTO
Volquete 34	CAT 793D	Operativo	
Volquete 19	Komatsu 930E-4	Operativo	MEJIA QUISPE, FERNANDO
Volquete 17	Komatsu 930E-4	Operativo	
Volquete 12	Komatsu 930E-3	Operativo	RABANAL ASTENGO, JUAN
Motoniveladora 2	CAT 24H	Mantenimiento	RABANAL ROQUE, RAMON
Pala 02	BUCYRUS 495HR	Operativo	REYNA FLOREADO, JUSTINO
Perforadora 27	P&H 320XP	Operativo	SALAS VELAZCO, LEANDRO
Volquete 32	Komatsu 930E-4	Operativo	SALAZAR TICTO, EDGAR
Volquete 18	CAT 793D	Mantenimiento	SALAS CONDOR, JOSE

Nota: El módulo de validación de tareo fue implementado en el sistema de despacho. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Resultados – Hipótesis General

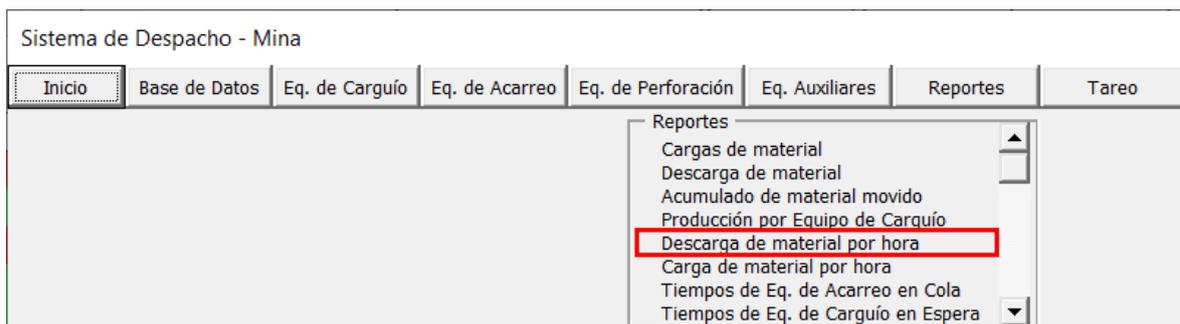
Para los resultados, se hizo uso de los reportes del sistema de despacho, de manera que se obtengan los datos cuantificados durante la primera hora que es el alcance de la presente tesis.

Lo referido a la partida de movimiento de tierras, se cuantifica directamente analizando las descargas realizadas por los equipos de acarreo durante el turno del trabajo.

Así, dentro del sistema de despacho hicimos uso del módulo de Reportes, y analizamos la descarga de material por hora, que permite obtener todas las descargar (mineral, desmonte y lixiviable) movido por horas del turno trabajado. De estos resultados se hará el contraste de información antes y después de la implementación de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo.

#### Figura 27

*Reportes del sistema de despacho*



Nota: Módulo de reportes en sistema de despacho. Fuente: Autoría propia.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

**Tabla 1**

*Resumen de impacto en producción promedio en toneladas durante la primera hora de cada turno*

DESCRIPCIÓN	TONELADAS PROMEDIO (TON)	
	PRIMERA HORA TURNO DÍA	PRIMERA HORA TURNO NOCHE
Antes de la implementación	12,205	13,180
Después de la implementación	17,029	17,170
Incremento (Toneladas)	4,824	3,990
Incremento (Porcentaje)	40%	30%

Nota: La tabla 1 fue obtenida del análisis de los datos proporcionados por el sistema de despacho desde enero del 2018 hasta julio del 2019. Fuente: Autoría propia.

De la tabla 1, se muestra el resumen del impacto en la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras antes y después de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo en Tacna 2020, a través de la variación del promedio de producción durante la primera hora en del 40% y 30% para el turno día y turno noche de la mina modelo, esto desde enero del 2018 hasta julio del 2019.

Con ello se determina que el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna- 2020.

### **3.2. Resultados – Hipótesis Específica 1**

La tabla 2 muestra el horario promedio en el que los operadores colocaban el estado de sus equipos asignados, como operativos, es decir, que empezaban a operar durante la primera hora, antes y después de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores de la mina modelo, en cada uno de los turnos de la mina modelo.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Tabla 2**

*Hora de Inicio promedio durante el inicio de cada turno por mes antes y después de la implementación del proyecto de automatización*

DESCRIPCIÓN	MES	HORA DE INICIO PROMEDIO		MEDIA
		Turno Día	Turno Noche	
		Inicio Turno	Inicio Turno	
<b>Antes de la implementación</b>	Enero 2018	07:40	07:38	07:40
	Febrero 2018	07:40	07:40	
	Marzo 2018	07:42	07:43	
	10-Abril 2018	07:43	07:40	
	11-Abril 2018	07:35	07:32	
	Mayo 2018	07:40	07:38	
	Junio 2018	07:35	07:33	
	Julio 2018	07:33	07:30	
	Agosto 2018	07:35	07:32	
	Sept 2018	07:30	07:32	
<b>Después de la implementación</b>	Octubre 2018	07:32	07:33	07:32
	Nov 2018	07:32	07:30	
	Dic 2018	07:33	07:32	
	Enero 2019	07:35	07:32	
	Febrero 2019	07:30	07:30	
	Marzo 2019	07:31	07:30	
	Abril 2019	07:33	07:30	
	Mayo 2019	07:34	07:32	
	Junio 2019	07:31	07:32	
	Julio 2019	07:30	07:30	

Nota: Tabla obtenida a partir del reporte de inicio de promedio de operación de equipos del sistema de despacho. Fuente: Autoría propia.

Con los datos mostrados, aplicaremos estadística inferencial, de prueba de hipótesis para diferencias de media, de muestras grande, procediendo de la siguiente manera:

- Definir la hipótesis nula y alternativa
- Seleccionar un nivel de significación y definición del valor crítico
- Identificar el estadístico de prueba

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

d. Formular la regla de decisión

e. Tomar una decisión

Entonces, para aplicar dicha metodología, dividiremos en 2 a nuestra muestra, teniendo como primera los minutos transcurridos después de las 7 en la que los operadores ponen en marcha a sus equipos dentro de la partida de movimiento de tierras antes de la implementación, la cual comprende del 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018; y como segunda minutos transcurridos después de las 7 en la que los operadores ponen en marcha a sus equipos dentro de la partida de movimiento de tierras después de la implementación, la cual comprende del 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019.

**Tabla 3**

*Datos Estadísticos Muestra 1 – Minutos transcurridos después de las 7 antes de la implementación*

	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Media (min)</b>	<b>Desviación Estándar (min)</b>
<b>Antes de la implementación</b>	200*	40.75	1.75

Nota: \*La cantidad de la muestra resulta de la cantidad de días comprendidos entre el 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018, multiplicados por 2 (2 guardias por día).

**Tabla 4**

*Datos Estadísticos Muestra 1 – Minutos transcurridos después de las 7 antes de la implementación*

	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Media (min)</b>	<b>Desviación Estándar (min)</b>
<b>Después de la implementación</b>	950**	32.41	2.39

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

Nota: \*La cantidad de la muestra resulta de la cantidad de días comprendidos entre el 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019, multiplicados por 2 (2 guardias por día).

De la tabla 3 y tabla 4, tenemos que el tamaño de muestra para ambas es mayor a 30, por lo que aplicaremos estadística inferencial de prueba de hipótesis para diferencias de media, para muestras de tamaño grande.

$$H_0: \mu_1 : \mu_{\text{min antes implemetación}} = \mu_2 : \mu_{\text{min después implemetación}}$$

$$H_1: \mu_1 : \mu_{\text{min antes implemetación}} > \mu_2 : \mu_{\text{min después implemetación}}$$

Posteriormente a ello, tendremos el nivel de significación y definición del valor crítico:

$$\alpha = 5\%$$

$$Z_c = 0,50 + 1,1449$$

$$Z_c = 1,6449$$

Identificamos al estadístico de prueba:

$$Z_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{\sqrt{n_1}}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{\sqrt{n_2}}\right)^2}}$$

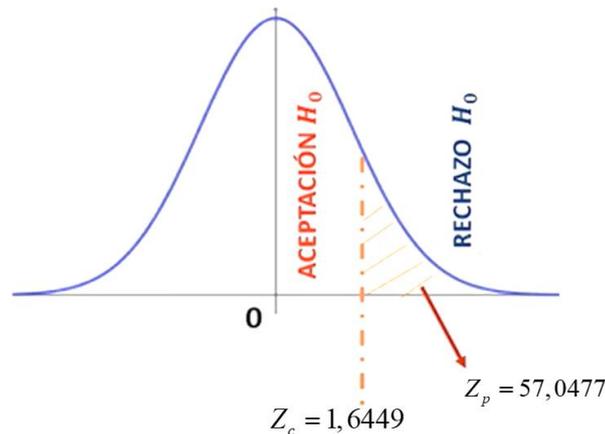
$$Z_p = \frac{40,75 - 32,41}{\sqrt{\left(\frac{1,75}{\sqrt{200}}\right)^2 + \left(\frac{2,39}{\sqrt{950}}\right)^2}}$$

$$Z_p = 57,0477$$

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 28**

Curva de 1 cola para regla de decisión de media de minutos



Nota: Se indican áreas de aceptación y de rechazo de  $H_0$ . Fuente: Autoría propia.

De los valores obtenidos, nos encontramos en el área de rechazo, por lo  $H_0$  es rechazada y  $H_1$  es aceptada.

$$H_0: \mu_1 : \mu_{\min \text{ antes implemetación}} = \mu_2 : \mu_{\min \text{ después implemetación}} \text{ (rechazado)}$$

$$H_1: \mu_1 : \mu_{\min \text{ antes implemetación}} > \mu_2 : \mu_{\min \text{ después implemetación}} \text{ (aceptado)}$$

Finalmente tenemos que de  $H_1$ , se desprende que la media de minutos transcurridos pasados las 7 en la partida de movimiento de tierras antes de la implementación es menor a la media de minutos transcurridos pasados las 7 en la partida de movimiento de tierras después de la implementación.

El impacto en los tiempos involucrados en la primera hora por guardia se ha reducido en un promedio de 8 minutos, con lo que se determina que el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores reduce significativamente los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna- 2020.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

### 3.3. Resultados – Hipótesis Específica 2

Del reporte de descarga por hora, se obtuvo el tonelaje de tierras movido hora a hora, con lo cual, a partir de dichos datos se recolectaron los datos comprendidos durante la primera hora, con lo que se analizaron en una hoja de cálculo la producción en un antes y un después de la implementación en la primera hora de producción de cada guardia.

**Figura 29**

*Reporte de descarga por hora*

Sistema de Despacho - Reporte Descarga por hora

Archivo Filtros

Fecha de inicio: 01/01/2018      Fecha de término: 31/07/2019

Turno: Día      Turno: Día

Equipo de Carguío	Toneladas Mov	Primera Hora	Segunda Hora	Tercera Hora	Cuarta Hora	Quinta Hora
Pala 01	16120.69	1149.2	648.05	216.02	1647.15	3436.5
Pala 02	6673.52				1291.65	1076.37
Pala 03	46829.61	1505.18	3441.26	5377.34	3800.01	4732.97
Pala 04	30490.01		647.06	1581.48	1726.15	3954.68
Pala 05	41732.06	2870.97	3585.55	3371.09	3524.63	4530.44
Pala 06	14161.94					
Pala 07	53636.03	1792.77	5158.93	5736.09	6022.7	5808.24
Pala 08	52640.6	1726.15	6042.51	6904.6	4242.04	2373.21
Pala 09	4171.69	2373.21	1798.48			
Cargador 01	10147.65		1292.69	646.35	864.06	1080.08
Cargador 02	15768.43	215.27				
Cargador 03	2866.07	573.21				
	295238.3	12205.96	22614.53	23832.97	23118.39	26992.49

Exportar

Nota: Reporte de Descarga por hora. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se muestra la tabla 5, en la que se detalla la producción promedio mensual de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras durante la primera hora antes y después de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna - 2020, en cada uno de los turnos de la mina modelo.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

Dicha tabla resultó del promedio de la producción de material en la partida de movimiento de tierras en la primera hora durante cada inicio de turno de cada mes.

**Tabla 5**

*Producción promedio en toneladas durante la primera hora de cada turno por mes antes y después de la implementación del proyecto de automatización*

DESCRIPCIÓN	MES	PROMEDIOS MENSUALES (TON)	
		PRODUCCIÓN DURANTE LA PRIMERA HORA TURNO DÍA	PRODUCCIÓN DURANTE LA PRIMERA HORA TURNO NOCHE
<b>Antes de la implementación</b>	Enero 2018	11,063	11,638
	Febrero 2018	12,455	13,756
	Marzo 2018	12,410	14,103
	10-Abril 2018	14,406	13,486
	11-Abril 2018	16,025	15,063
<b>Después de la implementación</b>	Mayo 2018	14,021	15,896
	Junio 2018	16,050	15,997
	Julio 2018	14,853	15,835
	Agosto 2018	15,849	15,762
	Sept 2018	15,716	15,198
	Octubre 2018	16,695	16,291
	Nov 2018	16,915	16,133
	Dic 2018	15,386	15,461
	Enero 2019	17,153	16,124
	Febrero 2019	15,042	15,452
	Marzo 2019	19,547	21,583
	Abril 2019	20,030	20,134
	Mayo 2019	20,811	19,747
Junio 2019	19,279	20,422	
Julio 2019	18,961	21,660	

Nota: Tabla obtenida a partir de los datos recopilados del sistema de despacho. Fuente: Autoría propia.

Con los datos mostrados, aplicaremos nuevamente estadística inferencial, para lo cual procederemos de la siguiente manera:

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

- a. Definir la hipótesis nula y alternativa
- b. Seleccionar un nivel de significación y definición del valor crítico
- c. Identificar el estadístico de prueba
- d. Formular la regla de decisión
- e. Tomar una decisión

Entonces, para aplicar dicha metodología, dividiremos en 2 a nuestra muestra, teniendo como primera al movimiento de tierras producidas antes de la implementación, la cual comprende del 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018; y como segunda al movimiento de tierras producido después de la implementación, la cual comprende del 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019

### Tabla 6

*Datos Estadísticos Muestra 1 – Movimiento de tierras antes de la implementación*

	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Media (Ton)</b>	<b>Desviación Estándar (Ton)</b>
<b>Antes de la implementación</b>	200*	12914,78	1206,92

Nota: \*La cantidad de la muestra resulta de la cantidad de días comprendidos entre el 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018, multiplicados por 2 (2 guardias por día).

### Tabla 7

*Datos Estadísticos Muestra 1 – Movimiento de tierras después de la implementación*

	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Media (Ton)</b>	<b>Desviación Estándar (Ton)</b>
<b>Después de la implementación</b>	950**	17308,47	2511,71

Nota: \*La cantidad de la muestra resulta de la cantidad de días comprendidos entre el 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019, multiplicados por 2 (2 guardias por día).

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

Como el tamaño de muestra para ambos es mayor a 30, aplicaremos estadística inferencial de prueba de hipótesis para diferencias de media, para muestras de tamaño grande.

$$H_0: \mu_1 : \mu_{ton \text{ antes implemetación}} = \mu_2 : \mu_{ton \text{ después implemetación}}$$

$$H_1: \mu_1 : \mu_{ton \text{ antes implemetación}} < \mu_2 : \mu_{ton \text{ después implemetación}}$$

Posteriormente a ello, tendremos el nivel de significación y definición del valor crítico:

$$\alpha = 5\%$$

$$Z_c = 0,50 - 2,1449$$

$$Z_c = -1,6449$$

Identificamos al estadístico de prueba:

$$Z_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{\sqrt{n_1}}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{\sqrt{n_2}}\right)^2}}$$

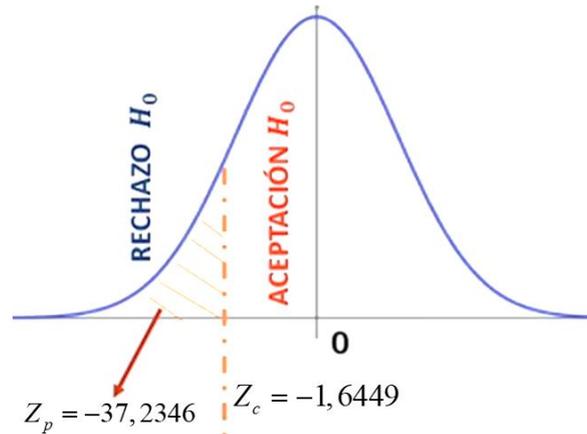
$$Z_p = \frac{12914,78 - 17308,47}{\sqrt{\left(\frac{1206,92}{\sqrt{200}}\right)^2 + \left(\frac{2511,71}{\sqrt{950}}\right)^2}}$$

$$Z_p = -37,2346$$

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Figura 30**

Curva de 1 cola para regla de decisión de media de producción



Nota: Se indican áreas de aceptación y de rechazo de  $H_0$ . Fuente: Autoría propia.

De los valores obtenidos, nos encontramos en el área de rechazo, por lo  $H_0$  es rechazada y  $H_1$  es aceptada.

$H_0: \mu_1 : \mu_{ton \text{ antes implemetación}} = \mu_2 : \mu_{ton \text{ después implemetación}}$  **(rechazado)**

$H_1: \mu_1 : \mu_{ton \text{ antes implemetación}} < \mu_2 : \mu_{ton \text{ después implemetación}}$  **(aceptado)**

Finalmente tenemos que de  $H_1$ , se desprende que la media de producción en la partida de movimiento de tierras antes de la implementación es menor a la media de producción en la partida de movimiento de tierras después de la implementación.

El impacto en el incremento de producción en la primera hora por guardia ha sido de un aumento promedio de 4,824 Ton durante el turno día, y 3,990 Ton durante el turno noche, contribuyendo al finalizar el día con aproximadamente de 8,814 Ton.

Con lo anteriormente indicado, se determina que el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el tonelaje de

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, TACNA- 2020.

### 3.4. Resultados – Hipótesis Específica 3

En base a los resultados obtenidos en la tabla 2, se tiene que el tiempo efectivo se incrementa en 8 minutos.

$$\text{Utilización efectiva (\%)} = (\text{horas trabajadas} / \text{horas totales}) \times 100$$

**Tabla 8**

*Utilización antes de la implementación del proyecto de automatización*

	<b>Inicio de Operación</b>	<b>Fin de primera hora</b>	<b>Minutos</b>	<b>Horas</b>
<b>Horas efectivas</b>	07:40	08:30	50	0.83
<b>Hora total</b>			1.00	*
<b>Utilización</b>			0.83	

Nota: \*Se considera como hora total sólo a la primera hora, en la que se analiza el incremento de la utilización. Fuente: Autoría propia.

**Tabla 9**

*Utilización después de la implementación del proyecto de automatización*

	<b>Inicio de Operación</b>	<b>Fin de primera hora</b>	<b>Minutos</b>	<b>Horas</b>
<b>Horas efectivas</b>	07:32	08:30	58	0.97
<b>Hora total</b>			1.00	*
<b>Utilización</b>			0.97	

Nota: \*Se considera como hora total sólo a la primera hora, en la que se analiza el incremento de la utilización. Fuente: Autoría propia.

El impacto en el incremento de la utilización en la primera hora por guardia ha aumentado de 0.83 a 0.97 en promedio, con lo que se determina que el proceso de

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta

significativamente la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de

movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna- 2020.

### 3.5. Resultados – Hipótesis Específica 4

En base a los resultados obtenidos en la tabla 2, se tiene que las toneladas en promedio totales son:

**Tabla 10**

*Sumarizado de movimiento de tierras*

<b>SUMARIZADO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS (TON)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRODUCCIÓN DURANTE LA PRIMERA HORA TURNO DÍA</b>	<b>PRODUCCIÓN DURANTE LA PRIMERA HORA TURNO NOCHE</b>	<b>MATERIAL MOVIDO TOTAL</b>
<b>Antes de la implementación</b>	50,335	52,984	103,318
<b>Después de la implementación</b>	277,113	276,758	553,871
		<b>Diferencia</b>	450,553

Nota: Para calcular el impacto de la muestra, se hará la diferencia del tonelaje producido por el movimiento de tierras durante la primera hora Fuente: Autoría propia.

A continuación, procederemos a calcular un estimado del impacto económico por el incremento de material movido en la partida de movimiento de tierras después de la implementación realizada, para lo cual, para efectos prácticos únicamente consideraremos el precio del cobre y del molibdeno como materiales aprovechables, y una relación de 8.5 toneladas de mineral respecto a 1 Tonelada de desmonte.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

**Tabla 11**

*Cálculo Económico de impacto en movimiento de tierras*

**CÁLCULO ECONÓMICO DEL IMPACTO POR INCREMENTO EN MOV DE TIERRAS**

Toneladas de material movido promedio	450,553
Proporción Mineral:Desmante	8.5
Mineral producido (Ton Métricas)	47,427
Ley Cu en Mineral (%)	0.853
Ley Mo en Mineral (%)	0.056
Recuperación Cu Concentradora (%)	91.70
Recuperación Mo Concentradora (%)	67.70
Recuperación Fund. (%)	97.40
Recuperación Refin. (%)	99.97
Toneladas Cu fino Concentradora (Ton)	361.22
Toneladas Mo fino Concentradora (Ton)	17.98
Libras Cu a vender (Lb)	796,348
Libras Mo a vender (Lb)	39,640
Precio Cobre (US\$/Lb)	2.76
Precio Molibdeno (US\$/Lb)	12.00
Costo Total x Libras (US\$/Lb)	1.71
Ingreso por Cobre (US\$)	2,198,717
Ingreso por Molibdeno (US\$)	475,679
<b>Ingreso Total (US\$)</b>	<b>2,674,395</b>
<b>Costo Total (US\$)</b>	<b>1,363,348</b>
<b>Ganancia por mineral producido (US\$)</b>	<b>1,311,048</b>

Nota: Para efectos de cálculo se considera únicamente al cobre y al molibdeno, con precios promedios para toda la muestra. Fuente: Autoría propia.

El impacto económico por el aumento de producción por la primera hora por guardia ha sido de US\$ 1,311,048 desde que se realizó la implementación hasta el 31 de julio del 2019.

Con lo anteriormente indicado, se determina que el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el impacto económico del tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna- 2020.

## **CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **5.1. Discusión**

Como se pudo confirmar en los resultados de la presente tesis, la implementación de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo ha mejorado la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras, lo cual al igual que en la tesis “MEJORAMIENTO DE PRÁCTICAS OPERACIONALES PARA EL AUMENTO DE HORAS EFECTIVAS CAMIONES DE EXTRACCIÓN GERENCIA MINA, DIVISIÓN MINISTRO HALES CODELCO CHILE” realizada por Gustavo Córdova, tienden a mejorar la productividad de la operación minera aumentando las horas efectivas de la flota e incrementando el material movido sin tener que realizar inversiones asociadas a la adquisición de nuevos equipos o incrementando la cantidad de operadores a la unidad.

Cabe mencionar, que Córdova (2017), logra este aumento de productividad a través de mejoras operacionales como fueron la incorporación de la metodología Lean Management a las operaciones unitarias de Carguío y Transporte, así como la implementación de plataformas tecnológicas para el control, monitoreo y reportabilidad en línea de los signos vitales de los equipos mina. Esto en fondo es igual que la presente tesis, ya que se mejora un proceso asociado a la operación unitaria de carguío y acarreo, disminuyendo los tiempos muertos; sin embargo, es distinta en cuanto a forma, ya que en la presente investigación se aumentan las horas efectivas a través de un proceso de automatización de manera puntual en el cambio de guardia. Con esto, queda en claro, que podemos seguir investigando y encontrando diferentes oportunidades de mejora, tanto directa o indirectamente a mejoras sobre la partida unitaria de carguío y acarreo.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

Además, en base a los resultados obtenidos se pone en evidencia que a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia se ha podido disminuir el tiempo de esta actividad y poder hacer uso de este tiempo en la operación de los equipos en cada turno, aumentando así el tiempo efectivo de los equipos. De esta manera, al igual que en la tesis “PROPUESTAS DE MEJORA DE LA UTILIZACIÓN EFECTIVA EN BASE A DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE EN MINERA LOS PELAMBRES” desarrollada por José Bonzi (2016), se colige que efectivamente una forma de dar valor agregado al negocio es con la incorporación de nuevas tecnologías a los sistemas actuales de operación, permitiendo disminuir los tiempos de pérdidas operacionales e incrementar el tiempo efectivo de la flota de equipos. Así, la infraestructura tecnológica con la que se equipó al espacio físico de la mina modelo, destinado para el cambio de guardia de operadores entre los turnos involucrados, permitieron que el tareo se visualice con antelación y aún más, gracias al aprovechamiento de los datos obtenidos del sistema de despacho se permitió que los operadores puedan visualizar su equipo asignado y además sepa su ubicación y que furgoneta será la que los trasladará, con lo que se redujo el tiempo de tareo, asignación y visualización en 8 minutos que se convirtieron en un aumento de horas efectivas de los equipos.

Además, de manera similar a la tesis “REDISEÑO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE RELEVO MINA EN LA OPERACIÓN LOS BRONCES DE ANGLO AMERICAN” desarrollada por Díaz (2016), hemos realizado un procedimiento para el cambio de guardia que se evidencia a través del nuevo diagrama de flujo, basado en la automatización implementada, que trajo consigo la modificación de la base de datos, así como el desarrollo e implementación de nuevos módulos que doten a la supervisión de herramientas

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

tecnológicas para agilizar el tareo y visualización de las asignaciones que se darán a los operadores de la guardia entrante. Así, al enfocarnos en la mejora del cambio de operadores o relevo de mina al finalizar el turno, se ha logrado que el tiempo aprovechado con la implementación de la automatización, se traduzca en un mayor tiempo para operar los equipos durante la primera, y que a su vez permiten obtener un movimiento de tierras extra, aumentando la cantidad de toneladas por hora producidas de material tanto de mineral, lixiviable y de desmonte. En esencia, el procedimiento sigue siendo el mismo, colocando a operadores en sus respectivos equipos, pero la forma en la que se ha llegado a realizarlo, produce muchos beneficios como el incremento de la producción.

Finalmente, se observa que en cada una de las tesis o trabajos de investigación descritos, se han producido mejoras de manera directa o indirecta sobre los procesos asociados a la partida de carguío y acarreo; y siendo la presente tesis, una manera en la que haciendo uso de la tecnología y como premisa que todo proceso manual y repetitivo puede automatizarse, así como que existe la mejora continua, servirá de precedente para las futuras investigaciones en las que se vea al cambio de guardia como un proceso en el que se tiene una oportunidad de mejora constante y que impacta en la productividad de los equipos de carguío y acarreo de cualquier mina.

## **5.2. Conclusiones**

- De la presente tesis se concluye que a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores se mejora significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, ya que como se muestra en la tabla 1 de resultados, *Resumen de Impacto en Producción Promedio en Toneladas durante la Primera Hora de cada turno*, se obtiene un incremento del

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

material acarreado durante la primera hora del turno día de 40% y durante el turno noche del 30%.

- De la presente tesis se concluye que a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores se reduce significativamente los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, siendo según la tabla 2, *Hora de Inicio promedio durante el inicio de cada turno por mes antes y después de la implementación del proyecto de automatización*, que se logra una reducción promedio de 8 minutos después de la implementación durante la primera hora.

- De la presente tesis se concluye que a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores se aumenta significativamente el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, ya que se muestra ya en la tabla 5, *Producción Promedio en Toneladas durante la Primera Hora de cada turno por mes antes y después de la implementación del proyecto de automatización*, y en la tabla 1 de resultados, *Resumen de Impacto en Producción Promedio en Toneladas durante la Primera Hora de cada turno*, que hubo un aumento promedio de 4,824 Ton. durante el turno día y 3,990 Ton. durante el turno noche en cada primera hora, aumentado al finalizar el día con un promedio de 8,814 Ton. adicionales.

- De la presente tesis se concluye que a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores se aumenta significativamente la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, siendo según la tabla 8, *Utilización antes de la implementación del proyecto de*

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

*automatización*, y tabla 9, *Utilización después de la implementación del proyecto de automatización*, en las que se logra un aumento de 0.83 a 0.97 en promedio después de la implementación.

- De la presente tesis se concluye que a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores se aumenta significativamente el impacto económico por el tonelaje movido de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, siendo según la tabla 11, *Cálculo Económico de impacto en movimiento de tierras* que se logra una utilidad de US\$ 1,311,048.

### **5.3. Recomendaciones**

- Para futuras investigaciones dentro del área de Ingeniería Civil asociadas a la productividad y el movimiento de tierras se recomienda tomar la presente tesis como base para proponer un proceso de automatización en la asignación de personal hacia los equipos que operarán, que permita aumentar el tiempo asociado a las horas efectivas de las horas hombre y horas máquinas de la cuadrilla de personal y equipos respectivos. Además de fomentar el uso de tecnologías para aprovechar los recursos con los que cuente una organización como pieza fundamental en la mejora continua; cabe mencionar, que el deber de todo Ingeniero Civil, será mantenerse capacitado tecnológicamente y buscar oportunidades de mejora que permitan lograr los objetivos de cualquier organización con la mayor eficiencia de sus recursos. Siendo la presente investigación una descripción clara de lo anteriormente mencionado.

- Se recomienda que se analicen y se busquen oportunidades de mejora a través de automatización de procesos manuales que implican demoras operativas y en las cuales se desaprovechan horas hombre y horas máquina, que merman la productividad de estos, en

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

partidas asociadas a la operación minera, como es la partida de movimiento de tierras. Es así, que para aquellas faenas o trabajos de construcción de menor y gran escala, que tengan un proceso de cambio de guardia manual es recomendable analizar la viabilidad de automatizar dicho proceso a fin de aumentar significativamente la productividad de los equipos de carguío y acarreo.

- Se recomienda que se analicen y se busquen oportunidades de mejora referidos a la reducción de tiempos asociados a la actividad del cambio de guardia de cada mina en la que se quiera implementar una solución basada en la presente tesis, siendo así, la automatización del tareo y el reordenamiento adecuado de las furgonetas o unidades de transporte, una forma en la que se reduce significativamente los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo.

- Se recomienda que se analicen y se busquen oportunidades de mejora referidos al aumento de producción de los equipos de carguío y acarreo, para el caso de las minas que tengan un cambio de guardia manual, se puede lograr un aumento del tonelaje de movimiento de tierras de forma indirecta automatizando el cambio de guardia.

- Se recomienda que se analicen y se busquen oportunidades de mejora referidos al aumento de producción de los equipos de carguío y acarreo, para el caso de las minas que tengan un cambio de guardia manual, se puede lograr un aumento del tonelaje de movimiento de tierras de forma indirecta automatizando el cambio de guardia.

- Se recomienda que se analicen y se busquen oportunidades de mejora referidos al aumento de la utilización de los equipos de carguío y acarreo, ya que este indicador está asociado directamente a la cantidad de horas efectivas de trabajo de cada equipo realizando la función para la cual fue creada, para el caso de las minas que tengan un cambio de

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

guardia manual, se puede lograr un aumento de la utilización de estos equipos de forma indirecta automatizando el cambio de guardia, y aprovechando los minutos reducidos de esta actividad para el aumento de las horas efectivas durante la primera hora de producción.

- Se recomienda que cada vez que se quiera realizar algún tipo de implementación, siempre se analice el indicador de costo/beneficio, a fin de cuantificar y ver si es rentable la inversión para llevar a cabo la implementación de cualquier tipo de mejora, como es la presente tesis, en la que se obtiene para la muestra analizada una utilidad de US\$ 1,311,048.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

## REFERENCIAS

- Bonzi Ríos, J. I. (2016). *Propuestas de Mejora de la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad de la Flota de Carguío y Transporte en Minera Los Pelambres*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile].  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139829>
- Camps Paré, R. (2005). Bases de Datos. *Universitat Oberta de Catalunya*.  
<http://www.uoc.edu>
- Cañon Ordoñez, H. F. (2015). La figura del operador minero: actividades y beneficios que aporta a un proyecto minero. *Interempresas*.  
<https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/>
- Chuctaya Laucata, D. J., Larota Chara M. E. (2020). *Optimización de Carguío y Transporte en tiempo real mediante el Software Jmineops en Minería Superficial – Caso de Estudio*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2816>
- Condori Condori, R. B. (2017). *Estudio del sistema de acarreo de interior mina para optimizar tiempos, disminuir costos e incrementar la producción en E.E. NCA Servicios Mina Morococha*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3396>
- Córdova Alfaro, G. A. (2017). *Mejoramiento de prácticas operacionales para el aumento de horas efectivas camiones de extracción Gerencia Mina, División Ministro Hales Codelco Chile* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile].  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145967>

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

Cornejo Ordoñez, E. F. (2013). Sistema de optimización de Transporte para la Mediana Minería. *Sonami*. <https://www.sonami.cl/>

Durant Broden, J. (2005). *Manual de acarreo y transporte*. Universidad Nacional del Altiplano.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M. (2006). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill Interamericana México D.F.

Meza Castro, J. E. (2011). *Desarrollo de un modelo para la aplicación de simulación a un sistema de carguío y acarreo de desmonte en una operación minera a tajo abierto* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/941>

Morillo León, C. A. (2018). *Aplicación del mantenimiento autónomo para incrementar la productividad en el área de mantenimiento de máquinas herramienta de la empresa AIRTEC S.A. Callao 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].  
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43703>

Lozada Gamero, J. E. (2014). Investigación aplicada: Definición, Propiedad intelectual e industria. *Revista CienciAmérica*, (30).  
<http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30>

Llontop Ramos, R. (2018). *Gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica para el equipo LH307-Cargador frontal de bajo perfil, aplicado en minería subterránea* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao].  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/2767>

Quispe Mamani, W. (2017). *Optimización de costos de acarreo con equipo mecanizado en la unidad minera Tambomayo Cia. de Minas Buenaventura Arequipa* [Tesis de

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4070>

Reymer Mullizaca, D. L. (2013). *Gestión del Sistema de despacho para la optimización del ciclo de acarreo en la Unidad Minera Lagunas Norte CIA. Minera Barrick Misquichilca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146295>

Urrutia Goldsack, D. I. (2017). *Optimización en la asignación de estacionamientos de los camiones de extracción para el cambio de turno mediante la utilización de redes neuronales y árboles de decisión*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146295>

Vara Horna, A. A. (2015). *7 pasos para elaborar una Tesis*. Lima: Editora Macro EIRL, 2015. ISBN 978-612-304-311-7.

Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia. San Pedro, Universidad de Costa. *Revista Educación*. <https://www.redalyc.org/>

Velásquez Aravena, R. (2015). Mejorando la Eficiencia del Cambio de Turno en la Mina. *Quality. Artículos*. <https://www.quality.cl/mejorando-la-eficiencia-del-cambio-de-turno-en-la-mina/>

Vergara Arenas, D. A. (2016). *Rediseño de los procedimientos de relevo mina en la operación Los Bronces de Anglo American*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140387>

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **ANEXOS**

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

## ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Figura 31

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</b></p> <p>¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores, mejora significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?</p>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar el impacto en la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores mejora significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b> <b>Variable Independiente (X)</b></p> <p>X1. Automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores. Indicadores: - Tiempo en minutos involucrado en el tareo en el cambio de guardia (tiempo de asignación, visualización y transporte)</p> <p><b>Variable Dependiente (Y)</b></p> <p>Y1. Productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras. Indicadores: - Varación de porcentaje de Toneladas producidas en mineral, desmonte y lixiviable dentro de la partida de movimiento de tierras.</p> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>X1. Tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo Indicadores: - Tiempos en minutos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo</p> <p>X2. Tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo Indicadores: - Toneladas movidas de mineral, desmonte y lixiviable dentro de la partida de movimiento de tierras.</p> <p>X3. Utilización de los equipos de carguío y acarreo Indicadores: - Utilización de los equipos durante la primera hora dentro de la partida de movimiento de tierras.</p>	<p>- <b>Tipo de Investigación</b> Investigación Aplicada</p> <p>- <b>Diseño de la Investigación</b> Investigación Descriptiva</p> <p>- <b>Ámbito de Estudio</b> Innovación y tecnología en las organizaciones.</p> <p>- <b>Limitantes</b> Sólo equipos de carguío y acarreo.</p> <p>- <b>Población y muestra</b> En tal sentido, para efectos de esta investigación se consideró como población a la totalidad de los operadores y equipos de la mina modelo en Tacna. Siendo esta una flota de equipo compuesta por: -92 Volquetes -9 Palas -18 Perforadoras -43 Equipos Auxiliares Y un total de 161 operadores por turno, ya sea turno día o turno noche. Como muestra a los operadores y equipos, anteriormente descritos, pero acotados en las guardias involucradas durante los 638 días comprendidos entre el 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018 (antes de la implementación de la automatización) y del 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019.</p> <p>- <b>Técnicas e Instrum de Recolección de datos</b> Muestreo del tipo no probabilística y uso del método por criterio. Datos recopilados a partir del sistema de despacho y su sistema reporteador de tonelaje de material acarreado en la partida de movimiento de tierras, posteriormente a ello se realizará un análisis de los tonelajes movidos por los equipos de carguío y acarreo durante la primera hora en las fechas indicadas mediante la estadística descriptiva.</p>
<p><b>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</b></p> <p>¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores reduce significativamente los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?</p> <p>¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?</p> <p>¿De qué manera la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020?</p>	<p><b>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para reducir los tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p> <p>Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p> <p>Describir el proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores para aumentar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p>	<p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores mejora significativamente la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p> <p>El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente el tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p> <p>El proceso de automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores aumenta significativamente la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras en una mina modelo, Tacna - 2020.</p>	<p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>X1. Tiempos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo Indicadores: - Tiempos en minutos involucrados en la asignación de los operadores a sus equipos de carguío y acarreo</p> <p>X2. Tonelaje de material movido por los equipos de carguío y acarreo Indicadores: - Toneladas movidas de mineral, desmonte y lixiviable dentro de la partida de movimiento de tierras.</p> <p>X3. Utilización de los equipos de carguío y acarreo Indicadores: - Utilización de los equipos durante la primera hora dentro de la partida de movimiento de tierras.</p>	<p>- <b>Tipo de Investigación</b> Investigación Aplicada</p> <p>- <b>Diseño de la Investigación</b> Investigación Descriptiva</p> <p>- <b>Ámbito de Estudio</b> Innovación y tecnología en las organizaciones.</p> <p>- <b>Limitantes</b> Sólo equipos de carguío y acarreo.</p> <p>- <b>Población y muestra</b> En tal sentido, para efectos de esta investigación se consideró como población a la totalidad de los operadores y equipos de la mina modelo en Tacna. Siendo esta una flota de equipo compuesta por: -92 Volquetes -9 Palas -18 Perforadoras -43 Equipos Auxiliares Y un total de 161 operadores por turno, ya sea turno día o turno noche. Como muestra a los operadores y equipos, anteriormente descritos, pero acotados en las guardias involucradas durante los 638 días comprendidos entre el 01 de enero del 2018 al 10 de abril del 2018 (antes de la implementación de la automatización) y del 11 de abril del 2018 al 31 de julio del 2019.</p> <p>- <b>Técnicas e Instrum de Recolección de datos</b> Muestreo del tipo no probabilística y uso del método por criterio. Datos recopilados a partir del sistema de despacho y su sistema reporteador de tonelaje de material acarreado en la partida de movimiento de tierras, posteriormente a ello se realizará un análisis de los tonelajes movidos por los equipos de carguío y acarreo durante la primera hora en las fechas indicadas mediante la estadística descriptiva.</p>

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

## ANEXO N° 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Figura 32**

*Matriz de operacionalización*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable Independiente</b>			
Automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores	Proceso tecnológico mediante el cual se ha tecnificado el proceso manual y repetitivo del cambio de guardia de operadores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de tareo</li> <li>- Tiempo de visualización de tareo</li> <li>- Tiempo de transporte de personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo en minutos de tareo de personal</li> <li>- Tiempo en minutos de visualización de tareo</li> <li>- Tiempo en minutos de transporte de personal</li> </ul>
<b>Variable Dependiente</b>			
Productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras	Indicador que hace referencia a la cantidad de producción que tienen los equipos de carguío y acarreo operados durante un turno de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material mineral</li> <li>- Material Lixiviable</li> <li>- Material Desmonte</li> <li>- Utilización Efectiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonelaje de Material mineral</li> <li>- Tonelaje de Material Lixiviable</li> <li>- Tonelaje de Material Desmonte</li> <li>- Indicador de Utilización</li> <li>- Horas Efectivas</li> </ul>

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

### ANEXO N° 03: FORMATO DE TAREO DE PERSONAL EN MINA

**Figura 33**

*Formato de Tareo de Operadores*

Reg.	Apellidos y Nombres	Gpo.	Cond.	Asig.	Ubic.	DETALLE	Mov.	V"B*
1	Amésquita Castro, Patricio	2	SUT SPCC	TQ81	VACACIONES	22-Apr	21-May	✓
2	Apaza Enriquez Heyner	2	JEVO PERSON	T93				✓
3	Anas Quispe, Carlos Orlando	2	No afiliado					✓
4	Arviri Molloapaza, Miguel	2	No afiliado	D11T-4				✓
5	Caceres Pinares, Juan Diego	2	NUEVO PERS	834H-1				✓
6	Caceres Tejada, Luis Raúl	2	SUT SPCC	TQ80				✓
7	Callomamani Yunca, Norberto	2	SUT SPCC	24M-5				✓
8	Ccama Aguilar, Enrique	2	No afiliado	D11T-2				✓
9	Choqueña Ccallata, Ever	2	SUT SPCC	D11T-5	VACACIONES	22-Apr	21-May	✓
10	Esquiagolá Yañez, Juan	2	STTA	834H-5				✓
11	Flores Alfaro, Alexander Javier	2	SUT SPCC	834H-3				✓
12	Gallegos Ormeño, Jorge Abraham	2	No afiliado	T54				✓
13	Luvon Espinoza, Cesar Augusto	2	SUT SPCC	834H-6				✓
14	Moscoco Caballero, David Carlos	2	No afiliado	S95				✓
15	Ortiz Suller, Juan Antony	2	JEVO PERSON	834H-1				✓
16	Panduro Arevalo, Jorge Christian	2	No afiliado	834H-4				✓
17	Quispe Flores, Miuler	2	No afiliado					✓
18	Turpo Flores, Guido	2	SUT SPCC	S96				✓
20	Yauri Sumire, Darwin	2	STTA	S08				✓
21	Alfaro Mamani, Roger Luis	7	NUEVO PERS	T07	VACACIONES	22-Apr	21-May	✓
22	Ayala Paripanca, Javier Encolar	7	JEVO PERSON	24H-2				✓
23	Condo Canazas, Luis Alberto	7	SUT SPCC	D11T-2	VACACIONES	1-Apr	30-Apr	✓
24	Diaz Tello, Lelis Anunciacion	7	STTA	834K-3				✓
25	Escobar Chavez Merejido Francisco	7	No afiliado	WD600-10				✓
26	Escobar Flores, Edwin Edilberto	7	No afiliado	834K-1				✓

Nota: Formato utilizado para el tareo y registro de operadores. Fuente: Sistema Integrado de Gestión de mina modelo.

“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”

### ANEXO N° 04: FORMATO DE TAREO DE PERSONAL EN MINA

Figura 34

Formato de tareo de operadores

18	96590	Turpo Flores, Guido	2	SUT SPCC	S96						✓
20	93688	Yauri Sumire, Darwin	2	STTA	S08						✓
21	95557	Añaro Mamani, Roger Luis	7	NUEVO PERSC	T07	VACACIONES	22-Apr	21-May			✓
22	95501	Ayala Panpanca, Javier Encolar	7	JEVO PERSON	24H-2						✓
23	96583	Condo Canazas, Luis Alberto	7	SUT SPCC	D11T-2	VACACIONES	1-Apr	30-Apr			✓
24	10678	Diaz Tello, Lelis Anunciacion	7	STTA	834K-3						✓
25	96517	Escobar Chavez Morejido Francisco	7	No afiliado	WD600-10						✓
26	97763	Escobar Flores, Edwin Edilberto	7	No afiliado	834K-1						✓
27	97995	Fernandez Uribe, Jampier Alexander	7	No afiliado	D11R-1						✓
28	97615	Flores Choquejahua Fabio	7	No afiliado	CAT3740L-1						✓
29	97244	Huiza Vargas Shamir	7	No afiliado	D11T-3						✓
30	91649	Jove Montenegro, Raúl Alcides	7	STTA	834K-1						9,10,11,12,14,13,15
31	10649	Lunazo Tapia, Ruben Humberto	7	SUT SPCC	D11T-3	ENFER.INDEFINIDO	22-Apr				E
32	97264	Mamani Quispe, John Fabian	7	No afiliado	C994						✓
33	98027	Mamani Tiahuanca, Herlin	7	No afiliado	T-56						9,10
34	93585	Manchago Boto, Enrique	7	STTA							✓
35	96873	Mayta Catalana, Joe	7	SUT SPCC	24M-4						✓
36	91889	Manessa Triona, Felipe Gustavo	7	STTA	TQ82						✓
37	97918	Paquera Flores, Francisco	7	STTA	834K-3						2,4
38	96872	Quispelupan Molloapaza, Bato Nicolas	7	No afiliado							✓
39	99209	Torres Guerra, Ashraf	7	No afiliado	D475						✓

Nota: Formato utilizado para el tareo y registro de operadores. Fuente: Sistema Integrado de Gestión de mina modelo.

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **ANEXO N° 05: FURGONETAS DE TRANSPORTE PARA CAMBIO DE GUARDIA**

**Figura 35**

*Furgoneta de transporte parqueadas para cambio de guardia*

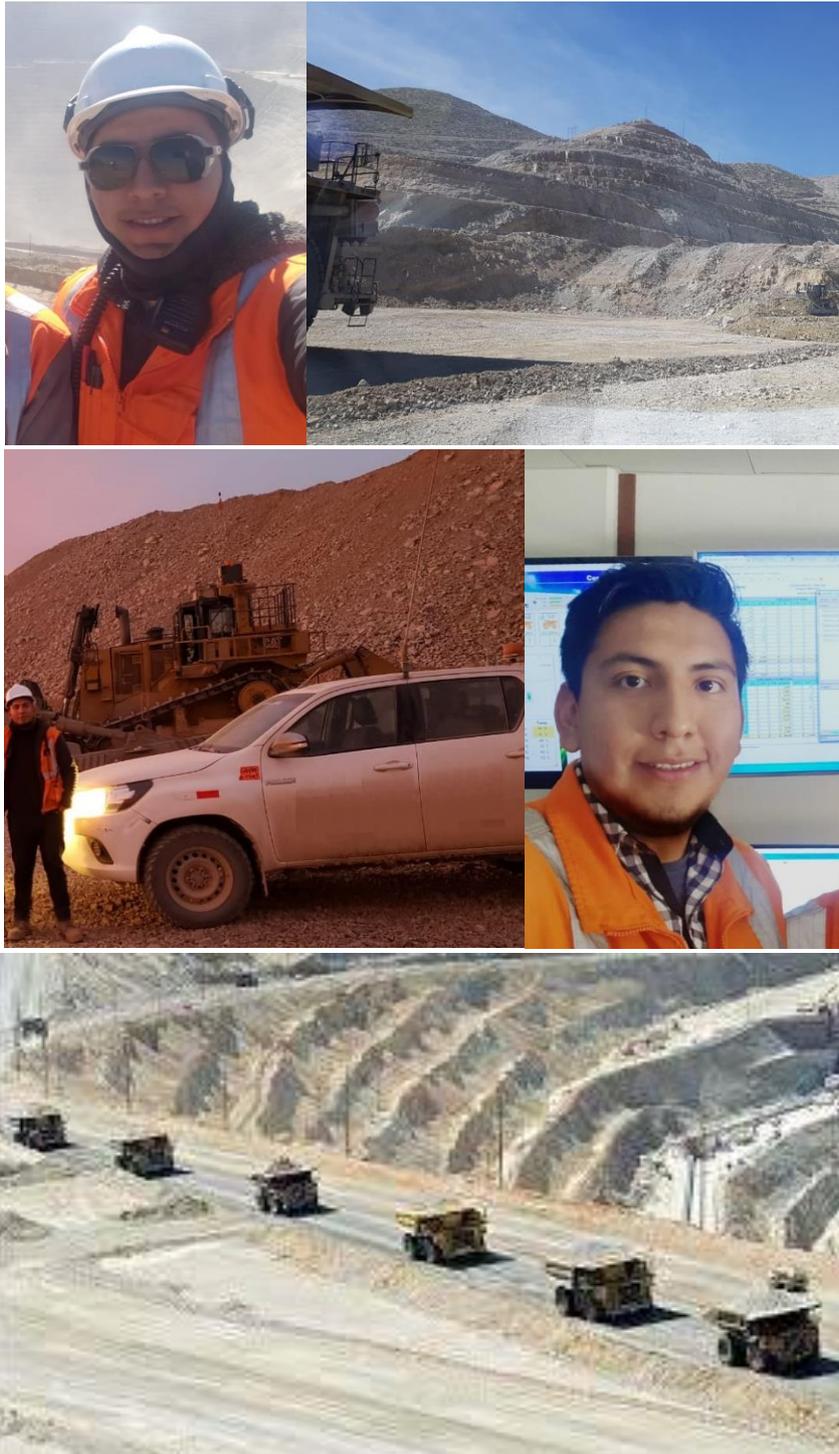


*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## ANEXO N° 06: PANEL FOTOGRÁFICO

**Figura 36**

*Panel fotográfico para implementación*



*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **ANEXO N° 07: ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS**

*“Mejora de la productividad de equipos de carguío y acarreo en la partida de movimiento de tierras a través de la automatización del tareo en el cambio de guardia de operadores en la mina modelo, Tacna 2020”*

## **ANEXO N° 08: ACTA DE SUSTENTACIÓN**