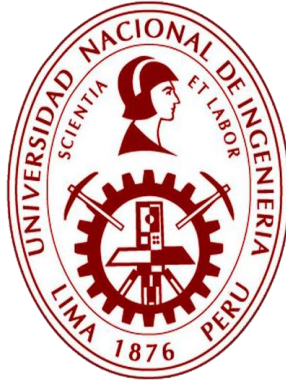


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Optimización del sistema motriz de un Alimentador de Placas para reducir los costos por Mantenimiento en la unidad minera Uchucchacua

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Juan Renato Díaz Durán

 [0009-0004-1075-7178](https://orcid.org/0009-0004-1075-7178)

Asesor:

 [0009-0007-4317-1685](https://orcid.org/0009-0007-4317-1685)

Ing. Justo Reynaldo Villanueva Uré

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Díaz, 2025)
Referencia/Reference	Díaz, J. (2025). <i>Optimización del sistema motriz de un Alimentador de Placas para reducir los costos por Mantenimiento en la unidad minera Uchucchacua</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Índice

Índice de Tablas	V
Índice de Figuras	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
Introducción	IX
CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Descripción de la realidad problemática	3
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
1.3.3. Justificación e importancia	11
CAPÍTULO II: Marco Teórico	13
2.1. Bases teóricas	13
2.1.1. Fundamentos del proceso y manejo de materiales	13
2.1.2. Alimentadores de placas.....	14
2.1.3. Partes del alimentador de placas.....	16
2.1.4. Sistema motriz de transmisión de alimentador de placas:.....	18
2.1.5. Selección de motorreductor:	27
2.1.6. Definición de mantenimiento.....	37
2.1.7. Tipos de mantenimiento.....	38
2.1.8. Costo por mantenimiento.....	40
2.2. Marco conceptual	42
2.3. Metodología.....	42
CAPÍTULO III: Desarrollo del trabajo	44
3.1. Análisis y descripción del sistema de transmisión actual:	44
3.3. Cálculo de torque requerido:.....	48
3.4. Selección de equipamiento:.....	49
3.5. Cálculo de costo por mantenimiento para nuevo accionamiento:.....	60
3.6. Cálculo de disponibilidad para nuevo accionamiento:	62
3.7. Análisis de costos y tiempo de retorno:.....	63
CAPÍTULO IV: Resultados.....	64

4.1. Análisis de resultados.....	64
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS	69
ANEXOS.....	71

Índice de Tablas

Tabla 1 Componentes del Alimentador de Placas NICO de la planta concentradora	6
Tabla 2 Mantenimiento Preventivo Mensual – Alimentador de placas.....	7
Tabla 3 Mantenimiento Preventivo Semestral – Alimentador de placas	8
Tabla 4 Mantenimiento Preventivo Anual – Alimentador de placas	8
Tabla 5 Costos generales anuales para el mantenimiento de Alimentador de placas	9
Tabla 6 Factor de pico de carga	31
Tabla 7 Factor de Arranque	32
Tabla 8 Torque Nominal de reductores Planetarios	34
Tabla 9 Costos generales para mantenimiento de Alimentador de placas	47
Tabla 10 Torque Nominal de reductores Planetarios	56
Tabla 11 Cuadro de selección de Reductores Planetarios.....	58
Tabla 12 Costos generales por repuestos para motor de 30 kW.....	60
Tabla 13 Costos generales por repuestos para reductor duplo planetario.....	61
Tabla 14 Costos generales anuales para el mantenimiento del alimentador de placas después del cambio sugerido	62
Tabla 15 Análisis de costos a lo largo de múltiples periodos.....	63

Índice de Figuras

Figura 1 Accionamiento motriz de faja transportadora de mineral.....	4
Figura 2 Sistema motriz de alimentador de placas – unidad minera Uchucchacua	5
Figura 3 Tipo de sistema de alimentación vs tamaño de rocas	14
Figura 4 Fuerzas externas sobre eje de salida de reductor.....	29
Figura 5 Esquema de sistema motriz actual – minera Uchucchacua	45
Figura 6 Sistema motriz del alimentador de placas NICO	50
Figura 7 Posiciones de montaje para motorreductor planetario	52
Figura 8 Configuración propuesta para mejora de sistema motriz.....	53

Resumen

El presente documento aborda la problemática del sistema motriz actual en un alimentador de placas, el cual es accionado mediante un sistema que cuenta con numerosos elementos, que por su naturaleza mecánica, generan altos costos en mantenimiento, de igual forma, debido a la cantidad de elementos la disponibilidad de la máquina sufre una disminución considerable, para ello, se sugiere el cambio del accionamiento motriz completo por un motorreductor en acción directa a la máquina, lo cual facilitará el sistema de gestión de mantenimiento en la unidad minera poseedora de este Alimentador de placas.

Con este fin, se desarrolla la metodología para la selección de este nuevo accionamiento teniendo en cuenta algunas exigencias adicionales en capacidad y carga que la unidad minera imprime, para ello se utilizarán cálculos de torque y factores de servicio, así como criterios específicos para este tipo de accionamientos, y se obtendrá una comparativa de costos de ambos sistemas, lo cual conllevará a una reducción de costos y con esto la mejora del sistema de gestión de mantenimiento.

Palabras Clave: Alimentador de placas, mantenimiento, selección, costos.

Abstract

This document addresses the problems of the current drive system in a Plate Feeder, which is driven by a system that has numerous elements, which in turn, due to their mechanical nature, generate high maintenance costs, in addition to considering a decrease in the availability of the machine. To this end, it is suggested to change the complete drive for a geared motor in direct action to the machine, which will facilitate the maintenance management system in the mining unit that has this Plate Feeder.

To this end, the methodology for the selection of this new drive is developed taking into account some additional demands in capacity and load that the mining unit prints. For this purpose, torque calculations and service factors will be used, as well as specific criteria for this type of drive, and a cost comparison of both systems will be obtained, which will lead to a reduction in costs and thus the improvement of the maintenance management system.

Keywords: Plate feeder, maintenance, selection, costs.

Introducción

En el sector minero, muchas plantas de extracción y procesamiento cuentan con más de 40 años de antigüedad; aunque los conceptos de eficiencia y mantenibilidad ya existían, no fueron sino hasta después de los años dos mil, que estos conceptos cobraron relevancia debido a los altos costos que se derivan de su incorrecta implementación. La maquinaria seleccionada e incluida dentro de los proyectos originales y sus ejecuciones fueron seleccionadas con el fin de manipular la materia extraída utilizando los recursos y espacios disponibles, sin tener en cuenta ni considerar los costos que acarrearán estos accionamientos. Esto repercute, años después, no solo en materia energética, sino también en los costos implicados por el mantenimiento de los equipos en planta, entrando en conflicto con los nuevos estándares de mantenimiento utilizados.

De acuerdo con estos estándares, se busca la mayor disponibilidad de los equipos, así como el menor costo en su mantención; esto hace necesario que el diseño y construcción de estos sistemas sea optimizado, pensando tanto en la producción, así como también en el resto de los costos que conlleva este activo a lo largo de su vida útil.

En este documento se intentará dar una luz sobre cómo seleccionar el accionamiento apropiado para un alimentador de placas, reemplazando así el accionamiento motor pre – existente, el cual conlleva de manera inherente, costos de mantenimiento mayores.

Se utilizará en este cálculo, conceptos básicos de cálculo de torque, potencia, eficiencia, además del uso de tablas para la selección correcta de un accionamiento que pueda cumplir con los estándares actuales de eficiencia, sea compacto y pueda desempeñarse con precisión y excelencia.

CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema

1.1. Antecedentes Investigativos

Carvajal, D. y Rojas, M. (2010)¹ diseñaron un banco de pruebas de múltiples sistemas de transmisión de potencia, evaluando el desempeño de distintos elementos tales como: engranajes rectos, fajas planas, fajas trapezoidales y cadenas de rodillos. Esto permitió analizar el comportamiento de cada uno de estos elementos y su trabajo en conjunto, añadiendo etapas adicionales a la transmisión y velocidades variables, permitiendo así, recabar información empírica respecto a las pérdidas de torque en cada uno de estos elementos y por consiguiente la reducción de su eficiencia a lo largo de distintas etapas.

Escalante, A. (2016)² evaluó que los sistemas de mantenimiento en las plantas mineras son reactivos, es decir, se aplica el mantenimiento correctivo. Esto es debido a que operan en plantas maduras con un diseño que no permite ejecutar labores de mantenimiento eficiente, existiendo de este modo tareas duplicadas, tareas que se realizan con alta frecuencia de manera innecesaria, tareas que no generan beneficios sino gastos, etc., y dentro de estos trabajos el cambio de componentes con bajo grado de disponibilidad significan un gasto constante en la gestión de mantenimiento de una planta.

¹ Carvajal, D., & Rojas, M. (2010). *Banco de pruebas de sistemas de Transmisión de Potencia*. [Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1095>

²Escalante, A. (2016). *Propuesta de Optimización del Mantenimiento Planificado en el Área de Chancado Primario en una Empresa Minera de Cobre*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5300>

Aguilar, C. (2022)³ sostuvo que en la minería se requiere una alta disponibilidad de equipos motrices en sus medios de transporte de material con el fin de asegurar su producción, para ello se implementan planes de acción basados en ingeniería de mantenimiento, estos planes incluyen el cambio de elementos desgastados que deben ser realizados con rapidez y eficacia; para el caso de un alimentador de placas, el cual es el centro de estudio, indica que el cambio de elementos en su accionamiento motriz demanda una gran cantidad de tiempo y recursos, además poseer de manera intrínseca riesgos a la salud en el personal que ejecuta dicha labor.

Martínez, D. et al (2024)⁴ analizaron el movimiento y la eficiencia de un sistema de transmisión de potencia entre ejes no paralelos conducido por una rueda motriz con pines colocada a 90° del eje conductor, comparándolo a un sistema motriz conducido por cadenas de rodillos y otro por engranajes cónicos. En este experimento se puede concluir que la eficiencia del sistema motriz por engranajes cónicos es alta, cercana al 99.4%, de igual forma la eficiencia del sistema por cadenas de rodillos logro una eficiencia cercana al 99%, sin embargo, este último tiene el inconveniente de las pérdidas que se generan con relación a la forma en cómo se acopla a las ruedas dentadas formando polígonos, esta característica produce pérdidas de energía por ruido y vibraciones.

³ Aguilar, C. (2022). *Diseño e Implementación de Sistema para Facilidades de Cambio de Cadena de Alimentador de Placas en una Planta Concentradora de Cobre en el Sur del Perú*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12187>

⁴ Martínez, D., Garcia-Barbosa, J., & Nino, J. (2024). Análisis geométrico, de movimiento y eficiencia de un sistema de transmisión de potencia entre ejes no paralelos. *Revista chilena de ingeniería*, 32:4. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052024000100204>

1.2. Descripción de la realidad problemática

Dentro de las unidades mineras, los accionamientos más comunes para el traslado y acopio de materiales son las fajas transportadoras, alimentadores de placas, transportadores helicoidales y otros, su diseño y motorización está supeditado a la cantidad de material a trasladar en un intervalo de tiempo determinado (flujo). Los elementos de transmisión de potencia de estas máquinas están conformados por distintos componentes y elementos unitarios, que pueden ser: motor (eléctrico o por combustión), fajas, poleas, cadenas, catalinas, reductor primario, reductor secundario, acoplamientos, frenos, antirretorno, entre otros.

Estos accionamientos pueden abarcar distintos tamaños y potencias que, en los casos de mayor envergadura, utilizan elementos con costos unitarios elevados, y debido a su tipo de funcionamiento y alta criticidad, hace imprescindible una correcta selección de elementos en la transmisión de potencia para otorgar facilidad en las labores de mantenimiento y con esto una mejora en los costos de inversión utilizados, tales como: horas – hombre, horas – máquina, equipos de izaje, equipos de seguridad, etc.

El montaje de los accionamientos en los transportadores es realizado directamente al eje motriz de la polea, ya sea de cabeza o de cola, utilizando distintos elementos de transmisión para aprovechar el espacio disponible, tales como: cadenas, catalinas, fajas, poleas, etc., esto se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1

Accionamiento motriz de faja transportadora de mineral



Fuente: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/portal/wp-content/uploads/sites/1400/2021/08/fajas-transportadoras-01.jpg>

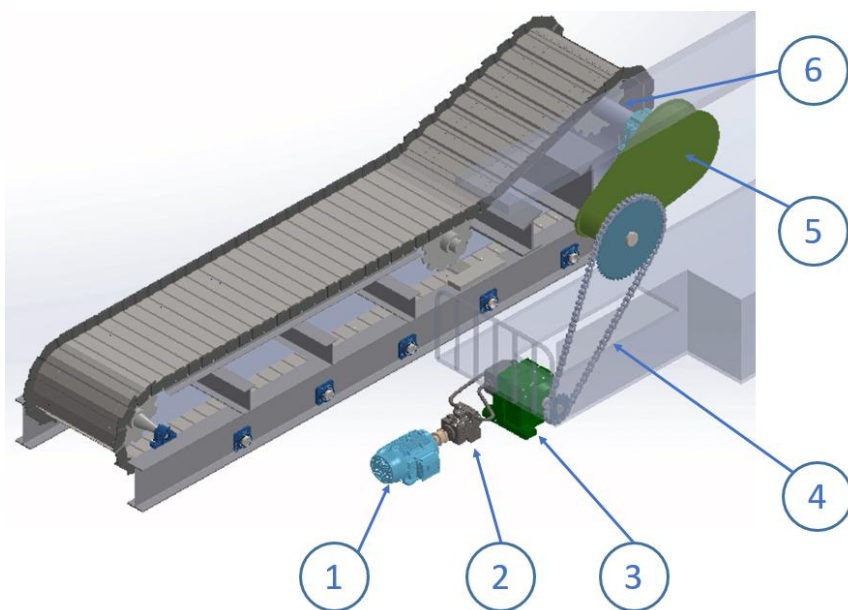
Sin embargo, el mantenimiento de este tipo de transmisiones tiene periodos repetitivos de alta frecuencia, debido a su naturaleza (transmisiones abiertas), es decir, a las condiciones ambientales y operacionales en las cuales se desempeña (alta humedad relativa, corrosión, polución, etc.). Esto genera que los costos por mantenimiento se eleven; los problemas por contaminación, alta humedad relativa, corrosión, polución, erosión, lubricación, etc. son frecuentes en este tipo de sistemas de transmisión, lo cual reduce su eficiencia energética además de incrementar la necesidad de un monitoreo constante para asegurar su correcto desempeño.

A esto se suman los costos asociados por manipulación de múltiples elementos de transmisión en las labores de desmontaje, alineamiento y montaje, esto implica mayor cantidad de recursos para asegurar la correcta operatividad del sistema motriz.

Como caso de estudio, se tomará el accionamiento de un alimentador de placas empleado por la unidad minera Uchucchacua (ver figura 2). Esta unidad minera se encuentra ubicada en el distrito de Oyón, provincia de Oyón, Región Lima, ubicada a más de 4500 msnm, es una operación subterránea descubierta por Cía. Buenaventura donde se produce plata, plomo y zinc, iniciando sus operaciones en 1975, actualmente tiene una capacidad de producción de 3910 TMD dentro de la cual se ubica la zona de concentrado, donde se utiliza un alimentador de placas marca NICO. Este alimentador está constituido por los elementos mostrados en la Figura 2.

Figura 2

Sistema motriz de alimentador de placas – unidad minera Uchucchacua



Fuente: SEW Eurodrive del Perú SA – Área HIS

Este arreglo, a pesar de ser un arreglo funcional, genera pérdidas de eficiencia y costos por mantenimiento, a continuación, se enlistan los componentes del sistema motriz.

Tabla 1

Componentes del alimentador de placas NICO de la planta concentradora.

ITEM	Descripción del componente
1	Motor eléctrico Delcrosa 24 HP
2	Bomba y motor hidráulico Sundtrand 5000PSI
3	Reductor primario coaxial Falk
4	Sprocket, catalina y cadena de una hilera.
5	Reductor secundario paralelo Nico
6	Eje motriz para catalina de alimentador

Fuente: Área de mantenimiento unidad de minera Uchucchacua

De acuerdo con el programa de mantenimiento realizado para el sistema motriz, los elementos a intervenir son: cadenas, ruedas dentadas, reductor primario y secundario, bomba hidráulica, motor eléctrico. Este diseño fue concebido desde el origen de la unidad minera considerando el poco espacio disponible para su instalación.

El mantenimiento de estos componentes se realiza de manera preventiva, teniendo en cuenta los distintos rangos de tiempo para distintas labores, tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 2***Mantenimiento preventivo mensual – alimentador de placas***

Componentes	Servicio de mantenimiento
Caja de chumaceras	• Verificar la pérdida de grasa y reparar (cambiar sellos y retenes). • Verificar el nivel de ruido , el nivel máximo aceptable de ruido a un metro de distancia es de 85dB. • Comprobar vibración y temperatura • Verificar nivel de aceite
Motor hidrostático y bomba	• Verificar el nivel de ruido. • Verificar temperatura de operación. • Verificar pérdida de aceite - fugas • Comprobar alineamiento de acoplamientos • Verificar alertas de temperatura
Motor eléctrico	• Verificar si hay ruidos en los rodamientos • Verificación de nivel de vibraciones • Verificar apriete en los pernos de fijación. • Verificar el juego entre las bandejas y la guía de materia
Placas o bandejas	• Verificar el alineamiento de los sistemas • Verificar el apriete de los pernos de las zapatas. • Comprobar el torque de los pernos de la cadenas y bandejas.
Cadenas y ruedas dentadas de accionamiento	• Verificar engrase de componentes • Verificación de tensado de cadena • Verificación de estado de dientes de sprocket • Verificar el nivel de ruido
Reductor de velocidad primario y secundario	• Comprobar vibración y temperatura • Verificar nivel de aceite • Verificar temperatura de operación. • Verificar pérdida de aceite - fugas

Fuente: Área de mantenimiento unidad de minera Uchucchacua

Tabla 3***Mantenimiento preventivo semestral – alimentador de placas***

Componentes	Servicio de mantenimiento
Caja de chumaceras	• Verificar ruidos anormales o sobrecalentamiento • Verificar la grasa con respecto a la suciedad y contaminantes • Inspeccionar retenes
Rueda dentada	• Verificar el desgaste de los dientes • Verificar el apriete de los pernos de los segmentos dentados
Tornillos	• Verificar el apriete de los pernos de las zapatas, revestimientos, etc.
Sistema de lubricación	• Verificar si todos los componentes están funcionando sin pérdida ni contaminación de grasa
Cadenas y ruedas de	• Verificación de alineamiento y corregir en caso de requerirse
Reductor de	• Analisis de aceite
velocidad primario y	• Verificación de estado de retenes y respirador

Fuente: Área de mantenimiento unidad de minera Uchucchacua

Tabla 4***Mantenimiento preventivo anual – alimentador de placas***

Componentes	Servicio de mantenimiento
Placas o bandejas	• Verificar la flecha entre las bandejas y las guías y los rodillos • Verificar estado de las bandejas y realizar cambio en caso de requerirse
Rodillos de carga	• Verificar el desgaste y realizar cambio en caso de requerirse
Caja de chumaceras	• Hacer un plan detallado de inspección y cambio de grasa
Cadenas y ruedas dentadas de accionamiento	• Verificar plan de mantenimiento (cambio de rodamientos, retenes, lubricante, etc)
Reductor de velocidad primario y secundario	• Verificar plan de mantenimiento (cambio de rodamientos, retenes, lubricante, etc)
Motor hidrostático y bomba	• Verificar plan de mantenimiento (cambio de rodamientos, retenes, lubricante, etc)
Motor eléctrico	• Verificar plan de mantenimiento (cambio de rodamientos, retenes, lubricante, etc)

Fuente: Área de mantenimiento unidad de minera Uchucchacua

De acuerdo con estas tareas, se puede observar en la tabla 5 el impacto económico anual implicado en la tarea de mantenimiento, considerando los costos indicados por el usuario de la unidad minera.

Tabla 5

Costos generales anuales para el mantenimiento de Alimentador de placas

EQUIPO	MANTENIMIENTO DE COMPONENTE	TIEMPO DE MANTTO	NÚMERO DE MANTO ANUAL	CANTIDAD TECNICOS	H-H	COSTO H-H	COSTO PROMEDIO REPUESTOS	CANTD CAMBIO REPUESTOS	COSTO MATERIALES CONSUMIBLES	COSTO TOTAL
APRON FEEDER	Caja de chumaceras	15	1	4	60	\$ 960.00	\$ 150.00	12	\$ 100.00	\$ 2,860.00
	Placas o bandejas	20	1	3	60	\$ 960.00	\$ 350.00	10	\$ 65.00	\$ 4,525.00
	Rueda dentada	6	1	2	12	\$ 192.00	\$ 150.00	5	\$ 50.00	\$ 992.00
	Cadenas de Alimentador	20	1	3	60	\$ 960.00	\$ 85.00	10	\$ 6.00	\$ 1,816.00
	Rodillos de carga	15	1	4	60	\$ 960.00	\$ 150.00	12	\$ 100.00	\$ 2,860.00
	Motor Eléctrico	8	0.5	2	16	\$ 128.00	\$ 300.00	1	\$ 50.00	\$ 389.00
	Motor Hidrostático y bomba	16	1	2	32	\$ 512.00	\$ 1,500.00	1	\$ 150.00	\$ 2,162.00
	Cadenas y ruedas dentadas de accionamiento	8	2	2	16	\$ 512.00	\$ 50.00	20	\$ 200.00	\$ 2,424.00
	Reductor de Velocidad primario	10	0.5	2	20	\$ 160.00	\$ 1,000.00	1	\$ 150.00	\$ 1,155.00
	Reductor de Velocidad secundario	14	0.5	2	28	\$ 224.00	\$ 1,250.00	1	\$ 150.00	\$ 1,437.00
	TOTAL									\$ 20,620.00

Fuente: Área de mantenimiento unidad de minera Uchucchacua

Como se puede ver en la tabla 5, el costo anual por el mantenimiento del sistema actual asciende a poco más de veinte mil seiscientos dólares, teniendo en cuenta solo gastos por horas hombre, repuestos básicos (como rodamientos y sellos) y consumibles, por lo que nace la pregunta: ¿Cómo podemos reducir los costos por mantenimiento del este sistema, generando, además, una mejora en la disponibilidad del alimentador y reduciendo la cantidad de horas hombre invertidas en esta tarea? ¿El cambio de sistema motriz por un motorreductor mejoraría estos indicadores?

Se debe considerar de manera adicional, que la gerencia de esta unidad minera tiene como plan realizar el incremento de producción a mediano plazo, se calcula un incremento final hasta 50% sobre el flujo de material que este alimentador maneja actualmente.

Con estos datos, el usuario de mantenimiento requiere una evaluación sobre el sistema motriz actual, y sus posibilidades de mejora teniendo en cuenta la gestión de mantenimiento de la máquina y el incremento final de flujo que transitará por este alimentador.

Se tiene como expectativa, que el nuevo sistema motriz pueda generar una mejora en los costos de mantenimiento, alrededor del 25% menos que el sistema actual.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Optimizar el sistema motriz actual del alimentador de placas de la unidad minera Uchucchacua, con la finalidad de reducir los costos por mantenimiento.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el sistema motriz actual.
- Evaluar los nuevos requerimientos de potencia, velocidad y torque.
- Evaluar las opciones para el cambio del sistema motriz.
- Seleccionar un motorreductor capaz de reemplazar el sistema motriz actual.
- Comparar los costos por mantenimiento del nuevo sistema motriz.

1.3.3. Justificación e importancia

Económica: Este cambio es requerido y justificado por la necesidad de mejorar el proceso de mantenimiento en el sistema de transmisión del alimentador de placas, el cual posee distintos y numerosos elementos que deben ser desmontados y posteriormente instalados en cada proceso de mantenimiento, siendo esto un punto de gasto de recursos en Horas Hombre, Horas Máquina, Herramientas, y Proveedores.

Ambiental: El uso de un menor número de componentes en los procesos de mantenimiento del alimentador de placas, influirá en la disminución de los deshechos

originados por el proceso de desmontaje y posterior montaje del accionamiento (lubricantes, paños, deshechos metálicos, etc.)

Seguridad: El sistema motriz actual cuenta con diversos elementos que pueden generar riesgos a la seguridad del personal que realiza las tareas de mantenimiento y operación, al reducir el número de elementos en este sistema, por consecuencia, se reduce la cantidad de riesgos a la salud.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Fundamentos del proceso y manejo de materiales

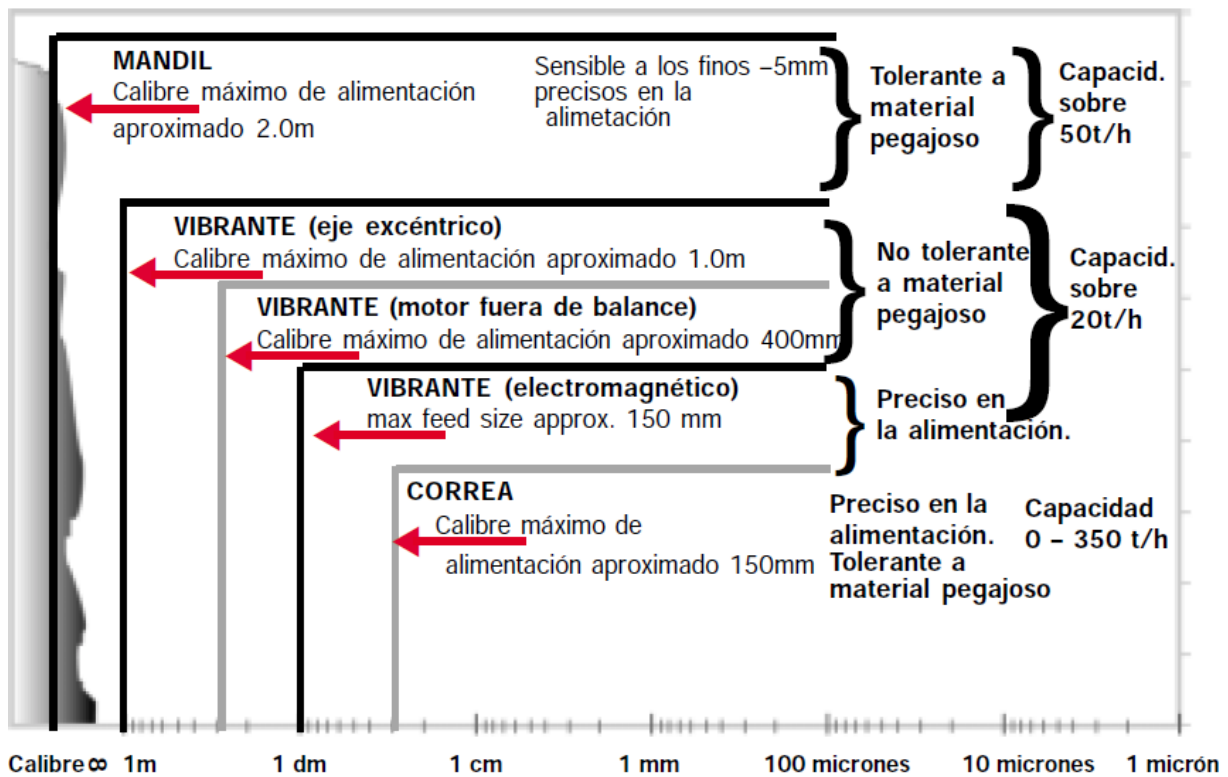
Dentro del proceso de la minería, la reducción del tamaño de la roca, su control de partícula y refinamiento son los procesos primordiales para optimizar el valor de los minerales, por tanto, el manejo de materiales juega un rol clave. De manera genérica podemos describir los tipos de manejo como: carga y descarga, almacenamiento, alimentación y transporte. (Metso Minerals, 2005)

Para nuestros fines, analizaremos el manejo de materiales en el proceso de alimentación, es decir, aquellos sistemas que proveen de un flujo constante de rocas y alimentan otros procesos de la planta minera. Estos se pueden categorizar de acuerdo con el tamaño de material a manejar, siendo los alimentadores de placas, o de mandil, aquellos sistemas con mayor capacidad de flujo y tonelaje por hora, después de estos se encuentran los alimentadores vibratorios y posterior a ellos, los de correas, ver figura 3.

Este estudio se centra en los alimentadores de placas o de mandil, los cuales poseen la siguiente estructura: placa de apoyo, cadena de tracción, riel guía, rueda soporte y el elemento motriz. Este último transmite energía rotativa a la catalina y este a su vez inicia el movimiento continuo de toda la cadena de tracción, las ruedas soporte tienen la finalidad de proveer estabilidad a las placas de apoyo mientras el sistema esté en movimiento, esta placa se encuentra unida a la cadena mediante pines, y esta guía a la placa en un movimiento sincronizado. (Peng, et al., 2023)

Figura 3

Tipo de Sistema de Alimentación vs Tamaño de rocas



Fuente: (Metso Minerals, 2005)

2.1.2. Alimentadores de placas

Los alimentadores de placas son equipos de transporte usados en industrias que demanden traslado de materiales de gran tamaño como rocas, en materiales con alta humedad, donde el proceso y traslado con otro tipo de alimentador no sea provechoso, o como alimentadores secundarios o terciarios debido a su alta confiabilidad y bajo costo en mantenimiento, generalmente son instalados debajo de la abertura de descarga de las tolvas. (TECSUP, s.f.)

Los alimentadores de placas se usan para la alimentación o extracción de material bajo las siguientes condiciones: distancias cortas y velocidades muy bajas, esto con la finalidad de disminuir y/o evitar los golpes causados por el material a transportar y que son depositados en los chutes de alimentación para trituración o las mallas de tamizado; de acuerdo con HENAN EXCELLENT MACHINERY CO., LTD (S.F.), fabricante de este tipo de maquinaria, sus principales aplicaciones son:

- Alimentación para trituradoras
- Descarga de vagones
- Descarga de tolvas
- Descarga de pila de reservas

Según Roberts (2001), el flujo de transporte desarrollado por el alimentador de placas es calculado por volumen, es decir, entregan una cantidad en metros cúbicos por hora, y la capacidad en tonelaje es calculado con la densidad aparente del material a transportar, este es afectado por la sección del área de descarga, así como la velocidad del alimentador y el volumen es afectado por una eficiencia volumétrica que simboliza el máximo rendimiento sobre el flujo respecto al máximo teórico.

- Capacidad en t/h: $\rho \times A(x) \times V_b \times n_v(x)$

$A(x)$: Área - sección (m^2)

V_b : Velocidad de Alimentador (m/s)

ρ : Densidad aparente de material (t/m^3) en la zona de alimentación

n_v : Eficiencia volumétrica

2.1.3. Partes del alimentador de placas

De acuerdo con lo mostrado por manual del fabricante (HENAN EXCELLENT MACHINERY CO., LTD (S.F.)), los diseños de los alimentadores cuentan con varios elementos, siendo los principales y más comunes:

- **Estructura principal o marco:** Soporte principal del alimentador, consta de vigas y travesaños soldados o atornillados que brindan un soporte rígido para los rodillos y placas de transporte, de acuerdo con su tamaño se calcula el flujo de material que será posible manipular con el alimentador.
- **Placas o bandejas:** Elemento de contacto con el material a transportar, diseñado con aleaciones de acero y manganeso, es la parte del alimentador con mayor carga de impacto y alta abrasión, son reforzadas en su parte inferior para evitar deflexiones y diseñadas para superponerse con el mayor ajuste posible y así evitar fuga de material por debajo de la bandeja, en sus intersecciones o articulaciones.
- **Rueda dentada:** Elemento de transmisión interno, unido al eje motriz del alimentador, este genera el movimiento constante actuando simultáneamente con las cadenas a lo largo del alimentador, son diseñadas para un montaje rápido y eficiente, por lo que generalmente son suministrados en segmentos reversibles.
- **Rueda de cola:** Este elemento templador consta de ruedas dentadas independientes sin un eje común, estas son montadas sobre un armazón que soporta el templado de la cadena, usualmente selladas de por vida, no requiere lubricación regular, el ajuste de la cadena se logra mediante cilindros hidráulicos, agujeros ranurados en el armazón, espárragos o tornillos roscados.

- **Cadenas:** Elemento transmisor de energía, estas se encuentran unidas a las placas mediante pernos y tuercas de alta resistencia para la transmisión de energía cinética, sus eslabones están forjados para una gran capacidad de carga; en adición a este elemento se cuenta también con tornillos tensores de cadena, los cuales son localizados en los ensambles de la cola y son usados para evitar una excesiva soltura en la cadenas, pues esto generaría trabamientos; estos son necesarios para asegurar una transición suave entre la rueda dentada y el primer eslabón de retorno.
- **Eje motriz:** Este componente se encuentra montado sobre chumaceras y rodamientos, unido a las ruedas dentadas principales para la transmisión de movimiento, son calculados para servicio pesado.
- **Soporte rotativo:** Estos rodillos de carga trabajan en conjunto con las cadenas, brindando soporte y estabilidad durante el movimiento, sirven de soporte también para las placas, están fabricados usualmente con acero aleado forjado y endurecido con tratamientos térmicos para lograr un alto tiempo de vida, estos también se encuentran sellados y lubricados de por vida.
- **Rieles guía de impacto:** Ubicados en la parte inferior de las placas, para evitar su deflexión durante la operación, un alimentador puede tener uno, dos o tres rieles, dependiendo del nivel de impacto y flujo de carga que maneje el alimentador, usualmente existe una luz de 3 mm de espacio entre la parte superior del riel de impacto y la bandeja de placas.

2.1.4. Sistema motriz de transmisión de alimentador de placas:

Sistema de transmisión de energía ubicado en el eje motriz del alimentador, de acuerdo con el tipo de diseño este, puede contener distintos elementos, tales como:

- **Motor eléctrico:** Máquina que lleva a cabo la transformación de la energía eléctrica en mecánica, utilizada para impulsar y generar el movimiento en distintas máquinas de acuerdo con su utilidad. Para fines específicos de este documento detallaremos de manera puntual los motores del tipo trifásico de inducción o asíncrono. (Farina, 2018)

De forma resumida, su funcionamiento se basa en la generación de movimiento gracias a la creación de campos electromagnéticos en las bobinas alojadas en el estator debido al flujo de corriente que circula a través de ellas y la fuerza electromagnética rotativa generada en el núcleo magnético del rotor. De acuerdo con la cantidad de bobinas, se puede variar la velocidad rotativa del motor eléctrico. (Farina, 2018)

Está compuesto de diversas partes las cuales se muestran a continuación:

- Carcasa: Parte que contiene al resto de componentes
- Estator: Bloque con chapas de acero ranuradas para alojar los bobinados.
- Rotor: Elemento giratorio del motor formado por un núcleo magnético.
- Eje: Parte soportada por rodamientos, unido al rotor y ventilador
- Rodamientos, tapas, sellos, caja de conexiones.

- **Motor hidrostático:** Es un tipo de motor hidráulico que transforma la energía hidráulica en energía mecánica a través del uso de lubricantes presurizados. Estos motores utilizan la acción de un fluido a presión sobre elementos internos como pistones, paletas o engranajes. Esta presión genera una fuerza que provoca la rotación de un eje, transmitiendo así el movimiento a una carga y pueden ser clasificados de acuerdo con los siguientes tipos: (Blackburn, et al., 1960)
 - De pistones: Pudiendo utilizar los pistones con desplazamiento axial, radial o con desplazamiento variable.
 - De paletas: Paletas que giran en un anillo excéntrico generando el desplazamiento.
 - De engranajes: Engranajes que presionan el fluido provocando su desplazamiento.

Estos motores suelen ser usados en distintas industrias (de producción, vehículos, automatización, etc.) por su gran versatilidad y control preciso, sin embargo, tienen como punto débil las grandes pérdidas que sufren por fricción y temperatura, riesgo de fugas, complejidad de sistema y contaminación; teniendo de igual forma un costo elevado de instalación debido a sus múltiples componentes (bombas, tuberías, válvulas, etc.). (Merritt, Trad. 1967)

- **Cadenas y ruedas dentadas:** Estos constituyen un sistema de transmisión de potencia muy común en los accionamientos electromecánicos, debido a su gran capacidad de transmisión de carga, operatividad en entornos hostiles y facilidad de manipulación.

Esta transmisión está compuesta de una rueda dentada motriz (unida usualmente al motor de transmisión), una o varias ruedas dentadas conducidas y un tramo de cadenas unido por ambos extremos, que engrana sobre las ruedas. La velocidad de transmisión que las cadenas pueden brindar está dada por la relación de las ruedas dentadas, su número de dientes y la distancia entre los centros de ejes. (Dobrovolski, 1970) Esta transmisión es del tipo flexible, debido a la naturaleza de la cadena, la cual consta de eslabones unidos mediante pasadores.

En muchos casos son adicionadas guardas protectoras por temas de seguridad y, en otros, dependiendo de la velocidad y carga a transmitir, se consideran bandejas metálicas para lubricación por inmersión de aceite, aplicados en la zona de contacto entre la cadena y las ruedas dentadas.

Debido a su naturaleza flexible, de acuerdo con la distancia que separa las ruedas dentadas, es posible el uso de tensores intermedios. Según Gonzáles (2001), las cadenas y ruedas dentadas tienen una gran utilidad en distintos tipos de aplicaciones por los que pueden ser divididas en:

- Cadenas de carga: Empleadas para elevar, suspender o bajar cargas, empleando eslabones simples generalmente redondos, estos trabajan con velocidades bajas (hasta 0.25 m/s). (González, 2001)
- Cadenas de tracción: Son usadas para mover cargas en máquinas transportadoras, suelen trabajar a velocidades medias (entre 2 – 4 m/s) y estar compuestas por eslabones de paso largo (50 – 1000 mm). (González, 2001)

- Cadenas de transmisión de potencia: Usados como engranaje flexible para transmisión de torque de un eje rotativo a otro, suelen estar compuestos por eslabones pequeños de mayor precisión que los anteriores tipos, con pasos entre 4 y 63.5 mm. (González, 2001)

Este último tipo de cadenas es el que posee mayor difusión en la industria debido a las ventajas mencionadas previamente. (González, 2001)

- **Reductores de velocidad:** Máquina de transmisión por engranajes con la finalidad de convertir el par motriz a través del número de revoluciones del árbol conducido. Este por lo general va unido al motor mediante acoplamientos, cadenas, fajas, etc., o mediante una unión directa insertando el eje rotor del motor a través de un piñón de ataque, a este arreglo se le conoce como moto-reductor; existen en la actualidad muchos tipos de reductores de velocidad tales como: cilíndricos, cónicos, planetarios, por tornillo sin fin y mixtos los cuales han sido difundidos a través de la mayoría de las industrias a nivel mundial. (Mattolini, 2015)

De acuerdo con el fabricante SEW EURODRIVE (2018), los reductores de velocidad cuentan con diversas ventajas debido a su concepto de unidad – máquina, sintetizando la tarea de la modificación de torque y velocidad a través de los árboles motrices, en un solo cuerpo compacto, generalmente sellado y hermético, que garantiza una operatividad amplia con periodos de mantenimiento distanciados, los cuales pueden ser usados en distintos campos industriales, sobreponiéndose a las dificultades ambientales como humedad, corrosión, polución, etc. mediante distintos mecanismos que pueden ser implementados de acuerdo a sus diseños (unidades de lubricación, unidades de

enfriamiento, pintura especial, etc.). De igual forma, brindan ventajas sobre otros tipos de transmisiones de par, dado a su gran capacidad modular y adición de accesorios útiles de acuerdo con las necesidades de la aplicación o tarea a realizar (frenos, antirretornos, sensores, etc.).

Como ya fue mencionado de manera previa, los reductores pueden ser divididos en distintos tipos debido a su forma constructiva y cada uno de ellos cuenta con distintas ventajas de acuerdo a la aplicación en donde se instale, por otro lado, también podemos mencionar que existen variantes de estos reductores de velocidad de acuerdo con el tipo de engranaje que se utilice, ya sea recto o helicoidal; sin embargo, el diseño de esta máquina puede variar de acuerdo a la necesidad final, pudiendo existir más tipos de reductores de velocidad tales como: reductores de potencia bifurcada, de engranajes bi-helicoidales o de espina de pescado, etc., por lo que la clasificación mencionada es solo referencial, y hace mención a la mayor parte de reductores instalados en la industria actual.

De acuerdo con su forma constructiva:

- Reductores cilíndricos o coaxiales: Los reductores de este tipo buscan optimizar el tamaño y distribución de elementos internos, brindando al eje de entrada tanto como al de salida, un mismo eje de rotación (o aproximado). De acuerdo con el fabricante de reductores NEUGART (SF) los reductores coaxiales tienen las siguientes ventajas: Excelente eficiencia (la cual depende de la cantidad de etapas de reducción), facilidad de construcción,

distribución compacta, pueden utilizarse en medios con altas necesidades higiénicas (Acero inoxidable).

- Reductores de ejes paralelos: Estos reductores poseen como característica principal, una distancia axial considerable entre los ejes de entrada y de salida, los cuales quedan posicionados de manera paralela el uno del otro, estos reductores son los equipos con mayor capacidad instalada a nivel industrial, debido a su fácil mantenimiento, alta eficiencia y gran capacidad de transmisión. (SEW EURODRIVE, 2018)
- Reductores ortogonales o cónicos: Como su nombre lo indica, estos reductores poseen un ángulo ortogonal o recto entre el eje de la etapa de entrada y el eje de salida, con el fin de cambiar la dirección del par a transmitir. Estos reductores pueden poseer dos tipos de arreglo de acuerdo con la posición de sus ejes ortogonales: Ejes coplanares, los cuales exigen que sus ejes o sus proyecciones se crucen en un plano axial a los mismos, y ejes no coplanares, los cuales no poseen esta condición, estos reductores son comúnmente llamados hipoidales. Este diseño busca optimizar la distribución de espacios donde se deba instalar el reductor y aumentar la relación de transmisión. (SEW EURODRIVE, 2018)
- Reductores por tornillo sin fin – corona: Estos reductores realizan la transmisión de potencia a través de una corona dentada y un tornillo sin fin, brindando una alta relación de transmisión, a través de la modificación del diámetro de la corona dentada. Estos reductores logran su transmisión a

través del giro del tornillo sin fin y su fricción en los dientes de la corona, sin embargo, debido a esta característica, este reductor posee altas pérdidas de eficiencia debido al calor generado por esta fricción; en muchos de los casos, y dependiendo de la relación de transmisión entre la corona dentada y el tornillo sin fin, estos reductores pueden tener la característica de ser auto bloqueantes, es decir, la transmisión de par solo es posible desde el tornillo sin fin hacia la corona y no viceversa. (Alva, 2002)

- Reductores planetarios: Este tipo de reductores posee varios elementos girando a través de una “órbita” entre un piñón solar y una corona exterior. A los elementos que giran en medio se les conoce como “planetas”, estos rotan en contacto con el piñón solar y la corona, generando la reducción de velocidad y transmisión de par; en este tipo de reductores el tamaño de los planetas determina la reducción de velocidad a obtener; son comúnmente usados para altas reducciones con alto par de transmisión debido a su alta confiabilidad y eficiencia, pues al tener distintos puntos de contacto a la vez en su transmisión, posee una alta densidad de potencia, es decir, transmiten un gran torque con una disposición muy compacta en comparación a reductores de otro tipo. (SEW EURODRIVE, 2016)

De acuerdo al tipo de engranaje:

- Reductores con engranajes rectos: Los engranajes de este tipo de reductores cuentan con una transmisión de carga instantánea en una línea del flanco coaxial al eje del diente, la cual se traslada de manera radial a lo largo del

diente a medida que se genera la rotación, esta carga , al ser transmitida de manera instantánea entre diente y diente, genera un impacto en el flanco del engranaje el cual es sometido a deformaciones por compresión y flexión; este tipo de engranajes son de fácil fabricación y gran eficiencia, aunque transmiten mayor ruido a diferencia de otro tipo de dientes, generalmente usado en mecanismos con bajas RPM. (SEW EURODRIVE, 2018)

- Reductores con engranajes helicoidales: Estos engranajes dibujan una hélice en su longitud, permitiendo que la fuerza de transmisión pueda ser dividida en tres componentes, permitiendo así, un traslado de carga gradual a diferencia de los engranajes rectos, esto genera menos ruido en la transmisión y una menor deformación en los flancos del diente; de igual forma debido a su hélice, es posible que en ciertos puntos de engrane, la carga sea dividida entre dos o tres dientes, esto depende de la longitud de la hélice y el ángulo de ataque. Sin embargo, al existir una descomposición de fuerzas, la carga axial generada en el engranaje debe ser soportada por otro elemento en la máquina, por lo general soportada por los rodamientos. Este tipo de reductor es el más utilizado a nivel industrial, debido a su alta eficiencia y mayor capacidad de carga. (SEW EURODRIVE, 2018)

Los reductores de velocidad pueden ser montados de distintas formas, de acuerdo con el requerimiento de la máquina a accionar o de acuerdo con el espacio disponible, estos se clasifican en dos tipos principalmente:

- Montaje por patas y base fija: Como hace mención su nombre, utiliza los agujeros en las patas del reductor para el anclaje a un base fija (por lo general metálica), cuyo peso será sostenido por dicha base a lo largo de su funcionamiento. Al ser un montaje rígido, debido al uso de pernería en su fijación, este tipo de montaje demanda de un proceso de alineamiento fino entre los componentes del accionamiento y la máquina a mover, de igual forma, requiere que su instalación cuente con acoplamientos flexibles (acoplamientos elastoméricos, de grilla, de pines, etc.) para asegurar la absorción de vibraciones o desalineamientos mínimos remanentes, esto es conocido como damping o amortiguamiento. (VULKAN Drive Tech, Trad. 2017)
- Montaje al eje: este tipo de montaje nos sugiere que el accionamiento sea soportado solamente por el eje de la máquina accionada, sin necesidad de la existencia de una base fija y evitando así costos civiles como la cimentación. Sin embargo, este tipo de montaje exige que el peso completo del accionamiento sea soportado por el eje de la máquina movida, por lo que se requiere un estudio de los puntos de soporte del eje antes del uso de este tipo de montaje. Por lo general se utilizan reductores con eje hueco para este tipo de montaje, reduciendo así el brazo de palanca que generaría el centro de gravedad del accionamiento por estar separado del punto de apoyo más próximo, sin embargo, también es visto que se utilicen acoplamientos rígidos o bridados en este tipo de montaje. Este montaje busca la mayor rigidez en la zona de contacto del eje del reductor y de la máquina movida,

por lo que es necesario la implementación de un brazo de torque que nos ayude en la absorción de vibraciones a través un medio elástico y evite la rotación del accionamiento por completo. (SEW EURODRIVE, 2016)

2.1.5. Selección de motorreductor:

De acuerdo con el manual de SEW Eurodrive (2016), se debe considerar para la selección del motorreductor los siguientes datos iniciales:

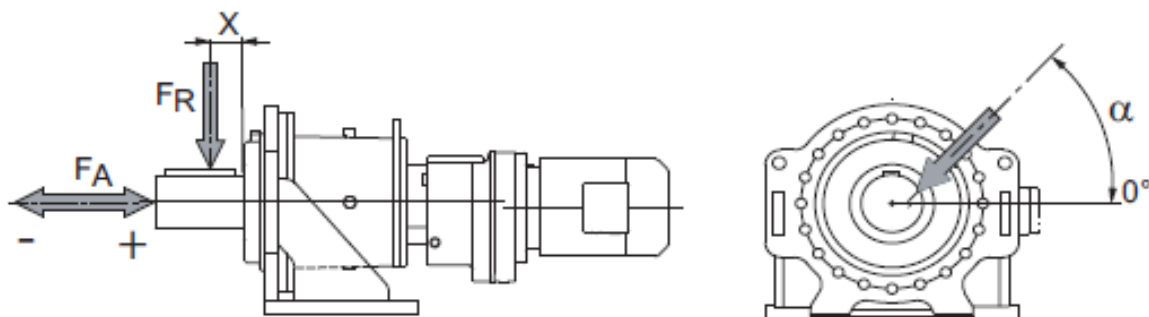
- Máquina en LSS (normalmente la máquina conducida)
 - Campo de aplicación.
 - Aplicación.
 - Temperatura ambiente (°C).
 - Altitud (m).
 - Instalación (bajo techo, con flujo de aire, bajo el sol, etc.).
 - Condiciones ambientales (corrosivo, húmedo, polvoriento, etc.).
- Características de carga
 - Velocidad requerida n_2 , en RPM.
 - Potencia de operación P_{k1} en el eje de alta velocidad o HSS, en kW
 - Torque de operación M_{k2} en el eje de baja velocidad o LSS, en Nm.
 - Frecuencia de picos de carga por hora.
 - Número de arranques por hora.

- Dirección de rotación bajo carga (horario, antihorario, ambos, reversible).
- Periodo de operación durante el día, en horas.
- Requiere antirretorno o freno.
- Máquina en HSS (normalmente la máquina conductora)
 - Tipo (motor eléctrico, AC/DC, motor hidráulico, servomotor, etc.).
 - Potencia de motor P_m , en kW.
 - Velocidad de motor n_m , en RPM.
 - Torque de motor M_m , en Nm.
 - Velocidad de ingreso al reductor n_1 , en RPM.
 - En caso de ser motor eléctrico: IEC o NEMA, talla de carcasa.
 - Posición de montaje para motor (B3, B5, V1, otros).
 - Posición de la caja de conexiones.
- Requerimiento de reductor de velocidad.
 - Reductor helicoidal cilíndrico.
 - Reductor cónico helicoidal.
 - Posición de montaje de reductor.
- Factor de servicio específico de aplicación $F_{s\ min}$.
- Horas de vida requeridos para rodamientos.

- Tipo de montaje de carcasa (patas, brida, brazo de torque).
- Conexión de LSS con eje de la máquina conducida (acoplamiento flexible, rígido, rueda dentada, piñón, eje hueco y brazo de torque, disco de contracción, etc.).
- Diseño de eje de reductor (sólido con canal chavetero, sólido liso, sólido estriado, hueco con canal chavetero, etc.).
- Conexión con motor (Base metálica, adaptador con acoplamiento, fajas y poleas, etc.)
- Disposición de rodamientos en eje de la máquina movida.
- Fuerzas en LSS
 - Carga Axial A_{R2} , en N.
 - Carga Radial F_{R2} , en N.
 - Punto de aplicación X, en mm.
 - Ángulo de carga radial o rotativa, para mejor referencia ver figura 4.

Figura 4

Fuerzas externas sobre eje de salida de Reductor



Fuente: (SEW EURODRIVE, 2016)

- Suministro eléctrico para equipo principal y para equipos auxiliares, en V.
- Cálculo de los datos básicos: De acuerdo con el fabricante SEW Eurodrive (2016), se debe considerar los siguientes cálculos:

- Torque de operación:

$$M_{k2}(Nm) = \frac{P_{k2}(kW) \times 9550}{n_2 (RPM)} \times Eff$$

M_{k2} : Torque de operación en LSS, en Nm.

P_{k2} : Potencia de operación en LSS, en kW.

n_2 : Velocidad de rotación en LSS, en RPM.

Eff : Eficiencia del accionamiento.

- Relación de transmisión de reductor:

$$i = \frac{n_1 (RPM)}{n_2 (RPM)}$$

n_1 : Velocidad de rotación en HSS, en RPM.

n_2 : Velocidad de rotación en LSS, en RPM.

- Eficiencia:

Según Budynas y Nisbett (2012), los engranajes tienen una eficiencia elevada, entre 1 y 2% de pérdida por etapa (acople de engranes), por lo que, la eficiencia del reductor está principalmente determinada por las pérdidas por fricción en los

engranajes y rodamientos, de igual forma, por las pérdidas debido al calor desprendido de esta operación.

- Selección de los factores de aplicación:

- Factor de servicio específico de la aplicación $F_{s\ min}$:

Este factor considera el típico rango de carga sobre la máquina conducida, el cual referencia valores de acuerdo con el área de aplicación, el tipo de máquina, las horas de operación por día, revisar Anexos, tabla 15 y tabla 16.

- Factor de pico de carga F_F :

Este factor toma en cuenta la capacidad de sobrecarga en los engranajes y las partes que transmiten torque, esto depende del tipo de reductor a emplear, se puede tomar como ejemplo la tabla 5.

Tabla 6

Factor de pico de carga

Tipo/Talla reductor planetario	Factor de pico de carga — F_F					
	Frecuencia de pico de carga por hora					
	1...5	6...20	21...40	41...80	81...160	> 160
Eje de Salida sólido P002...P102	1	1.2	1.3	1.5	1.75	2.0
Eje de Salida hueco con disco de contracción P002	1.25	1.25	1.3	1.5	1.75	2.0
Eje de Salida hueco con disco de contracción P012...P102	1.1	1.2	1.3	1.5	1.75	2.0

Fuente: (SEW EURODRIVE, Trad. 2016)

- Factor de arranque F_{start} :

Este factor toma en cuenta la sobrecarga causada por los arranques en el reductor, ver tabla 6.

Tabla 7

Factor de Arranque

Modo de Arranque	Factor de Arranque – F_{Start}
Directo	3.0
Arrancador suave	1.8
Variador de Frecuencia	1.5 to 2.0 ¹⁾
Estrella / Delta	1.3
Acoplamiento Hidráulico sin Cámara de retardo	2.0
Acoplamiento Hidráulico con Cámara de retardo	1.6

1) Depende de la configuración

Fuente: (SEW EURODRIVE, Trad. 2016)

- Factor de vida de operación f_{LC} :

Para aplicaciones con un tiempo de vida definido:

$$f_{LC} = \frac{L_h \times n_2}{1000}$$

L_h : Tiempo de vida requerido, en horas.

n_2 : Velocidad de rotación en LSS, en RPM.

Para aplicaciones con un tiempo infinito de fatiga, de acuerdo con DIN3990,

$$f_{LC} > 107.5$$

- Cálculo de torque nominal requerido en el reductor:

- Carga en una dirección constante:

$$M_{n2}(Nm) \geq M_{k2}(Nm) \times F_{s\ min}$$

M_{n2} : Torque nominal de reductor, en Nm.

M_{k2} : Torque de operación en LSS, en Nm.

$F_{s\ min}$: Factor de servicio para aplicación específica.

- Carga en una dirección reversible:

$$M_{n2}(Nm) \geq M_{k2}(Nm) \times F_{s\ min} \times 1.43$$

M_{n2} : Torque nominal de reductor, en Nm.

M_{k2} : Torque de operación en LSS, en Nm.

$F_{s\ min}$: Factor de servicio para aplicación específica.

- La selección del torque nominal del reductor M_{n2} se realizará de acuerdo con las tablas de torque nominal de los fabricantes de reductores de velocidad, se puede tomar como ejemplo la siguiente tabla 7:

Tabla 8

Torque Nominal de reductores Planetarios

Talla	Factor de Vida de Operación - f_{LC}											M_{N2} Lim [Nm]
	≤ 7.5	≤ 15	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 45	≤ 52.5	≤ 70	≤ 95	≤ 107.5	$> 107.5^{1)}$	
	M_{N2}											
P.002	29 200	26 300									24 830	49 660
P.012	46 200	41 600	38 500								36 810	73 620
P.022	64 200	60 100	55 600	54 200	54 200	54 200	54 200	54 200	54 200		51 190	102 380
P.032	86 800	84 900	78 600	76 600	76 600	76 600	76 600	76 600	76 400	73 700	69 620	139 240
P.042	111 000	111 000	103 200								100 170	200 340
P.052	140 600	134 500									124 060	248 120
P.062	209 100	201 400									185 660	371 320
P.072	274 600	274 600	264 500	257 300	256 400	256 400	256 400				245 660	491 320
P.082	397 100	397 100	397 100	383 500							359 400	718 800
P.092	513 900	513 900	488 900	476 200	476 200	446 300					423 000	846 000
P.102	631 300	630 800	572 300	541 800	517 300						500 000	1 000 000

Fuente: (SEW EURODRIVE, Trad. 2016)

- Selección de la potencia nominal del motor P_m :

$$P_m(kW) \geq P_{k1}(kW) = \frac{P_{k2}(kW)}{eff}$$

P_m : Potencia Nominal de motor, en kW.

P_{k1} : Potencia de operación en HSS, en kW.

P_{k2} : Potencia de operación en LSS, en kW.

Eff : Eficiencia del accionamiento

- La selección final del reductor debe realizarse de acuerdo con sus características y beneficios en la aplicación, estos pueden ser:
 - Característica dimensional: Toma en cuenta el tamaño del reductor en comparación al espacio disponible
 - Tipo de montaje: Toma en cuenta el tipo de montaje que requiere la aplicación, estos pueden variar de acuerdo con la cantidad de elementos incluidos dentro del sistema, así como su facilidad para las labores de montaje y desmontaje, el peso tiene mucha relevancia en este aspecto.
 - Tipo de reductor: Considera el tipo de reductor a usar, teniendo en cuenta las opciones comerciales con repuestos sin obsolescencia.
- Después de seleccionar la mejor opción, se debe comprobar el torque de salida del reductor elegido:

$$M_a(Nm) \geq M_{k2}(Nm).$$

- Se debe realizar la revisión de condiciones de pico de carga
 - Para carga en una dirección constante:

$$M_{k2per}(Nm) = \frac{M_{n2\ Lim}(Nm)}{F_F}$$

M_{k2per} : Torque pico permitido, en Nm.

$M_{n2\ Lim}$: Torque límite nominal de reductor, en Nm.

F_F : Factor de pico de carga.

- Para carga reversible:

$$M_{k2per}(Nm) = \frac{M_{n2\ Lim}(Nm)}{F_F} \times 0.7$$

- Cálculo del pico de carga:

$$M_{k2max}(Nm) = M_a(Nm) \times F_{start}$$

M_{k2max} : Torque pico máximo, en Nm.

M_a : Torque de operación de acuerdo con la potencia del motor, en Nm.

F_{start} : Factor por tipo de arranque.

Para la verificación del reductor es necesario comprobar lo siguiente:

$$M_{k2max}(Nm) \leq M_{k2per}(Nm)$$

2.1.6. Definición de mantenimiento

De acuerdo con Duffuaa (2000), el mantenimiento es la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen en un estado en que pueda realizar las funciones designadas, es decir, engloba todas las acciones necesarias para asegurar que un equipo o sistema funcione de manera eficiente y confiable a lo largo de su vida útil. Estas actividades pueden incluir:

- Inspecciones: Evaluación de estado del equipo para detectar posibles fallas.
- Reparaciones: Corrección de fallas identificadas para restaurar funcionalidad de equipo.
- Lubricación: Aplicar lubricantes en puntos específicos para reducir fricción y el desgaste.
- Ajustes: Regular componentes del equipo durante la operación para garantizar su correcto funcionamiento.
- Reemplazos: Sustitución de partes o componentes que hayan llegado al final de su vida útil.

La importancia del mantenimiento según Duffuaa (2000) radica en la mejora de los siguientes puntos:

- Reducción de costos: Con un programa de mantenimiento efectivo es posible prevenir fallas complejas y reducir los costos de reparación.
- Aumento de disponibilidad: Los equipos correctamente mantenidos tienen una mayor disponibilidad, lo que significa una mayor productividad.

- Prolongación de la vida útil: Realizar correctamente el mantenimiento de un activo puede incrementar la vida útil del mismo, lo que implica ingresos mayores.
- Mejora de la seguridad: El mantenimiento preventivo ayuda a identificar y corregir situaciones inseguras antes de que ocurra algún tipo de accidente.

2.1.7. Tipos de mantenimiento

Duffuaa (2000) clasifica los diferentes tipos de mantenimiento de acuerdo con una visión estratégica de la gestión de activos; estos se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Mantenimiento planeado: Este tipo de mantenimiento se caracteriza por ser ejecutado con una planificación previa, considerando aspectos como: previsión (anticipación de las necesidades de mantenimiento), control (seguimiento y evaluación de las actividades realizadas) y registros (documentación detallada de todas las intervenciones). Esto abarca los siguientes tipos de mantenimiento:
 - Mantenimiento preventivo: Acciones programadas para evitar fallas, basadas en el tiempo de uso o las condiciones del equipo, tiene las siguientes características (Duffuaa, 2000):
 - Planificado: Se establecen calendarios y procedimientos específicos para equipo o sistema.
 - Proactivo: Se actúa antes de que se presente la falla, con el fin de evitar paradas no programadas y pérdidas de producción.

- Basado en tiempo o condiciones: Las tareas se programan en función del tiempo de uso del equipo o de acuerdo con la medición de ciertos parámetros que indiquen estado de deterioro.
- Mantenimiento predictivo: Duffuaa (2000) menciona que al igual que el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento basado en la condición, esto quiere decir que las decisiones de mantenimiento se toman en función del estado real del equipo. Para su ejecución se utilizan técnicas de monitoreo continuo para predecir cuándo fallará un componente, permitiendo realizar intervenciones de manera oportuna, estos pueden ser: análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía, ultrasonido, etc.
- Mantenimiento correctivo: Según Moubray (2004), este tipo de mantenimiento es una respuesta reactiva a una falla, es decir, se actúa solo cuando un equipo ha dejado de funcionar, por lo general, este tipo de mantenimiento no está planificado, tiene un alto impacto en la productividad y conlleva costos elevados y ocultos.
- Mantenimiento de oportunidad: De acuerdo con Duffuaa (2000), este tipo de mantenimiento aprovecha el tiempo muerto en las paradas programadas para realizar tareas de mantenimiento adicionales como limpiezas, lubricación, ajustes, alineamientos, etc. Este tipo de mantenimiento no sustituye al mantenimiento preventivo ni predictivo, y sirve como complemento.

- Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM): Esta estrategia se enfoca en identificar las funciones críticas de un equipo y las fallas que pueden afectar su desempeño. El objetivo es determinar las acciones de mantenimiento necesarias para garantizar la disponibilidad del equipo y evitar fallas catastróficas de acuerdo con Moubray (2004),
- Otros tipos de mantenimiento: Además de los mencionados anteriormente, Duffuaa (2000) también hace referencia a otros tipos de mantenimiento, como:
 - Mantenimiento autónomo: Empodera a los operadores para que realicen tareas básicas de mantenimiento en sus equipos
 - Mantenimiento productivo total (TPM): Involucra a todos los empleados en la mejora continua de la confiabilidad de los equipos.

La elección del tipo de mantenimiento dependerá de diversos factores, como: la criticidad del equipo (equipos críticos requerirán un mantenimiento más riguroso), la edad del equipo (equipos más antiguos pueden necesitar más mantenimiento preventivo), los costos asociados a las fallas (realizar un análisis de los costos ayudará a determinar la frecuencia óptima de las intervenciones).

2.1.8. Costo por mantenimiento

De acuerdo con Duffuaa (2000), los costos por mantenimiento son una parte integral del ciclo de vida de los equipos y sistemas; pues su correcta gestión es un indicador de la competitividad de una organización. Los costos por mantenimiento son inherentes a la operación de cualquier sistema, por lo que no pueden ser eliminados por completo, sin embargo,

pueden optimizarse, de acuerdo con esto, la información detallada y la estrategia de mantenimiento juegan un rol clave en esta gestión.

Los costos de mantenimiento están influenciados por diversos factores tales como: la filosofía de mantenimiento adoptada, el ciclo de operación, el tipo de sistema a mantener, los procedimientos establecidos, etc., por lo que la elección del tipo de mantenimiento a emplear es crucial en la gestión de costos de mantenimiento. Para un control efectivo de los costos de mantenimiento es esencial contar con información detallada y precisa con el fin de tener la mejor toma de decisiones, generar una planificación acertada y reducir así, los costos de esta gestión; es importante también realizar un análisis de estos costos para identificar tendencias e implementar mejoras continuas en el proceso, según Duffuaa (2000).

Para la gestión de estos costos es necesario identificar lo siguiente:

- Costos directos: Incluyen los costos de materiales, mano de obra y servicios externos relacionados con las actividades de mantenimiento.
- Costos indirectos: Engloban los costos generales de mantenimiento, como la depreciación de los equipos, los costos de energía y los salarios del personal de mantenimiento.
- Costos de oportunidad: Se refieren a los costos asociados a la pérdida de producción o a la disminución de la calidad del producto debido a fallas en los equipos.

2.2. Marco conceptual

- **Potencia nominal:** Es la cantidad máxima de energía que una máquina puede consumir o soportar en condiciones normales de operación continua.
- **Factor de servicio:** Parámetro introducido para diseño y selección de máquinas, se define como un factor multiplicativo de la potencia de nominal de la máquina para calcular la carga máxima que pueda soportar en operación de manera segura y bajo ciertas condiciones.
- **Torque nominal:** Torque desarrollado por una máquina a su máxima potencia en condiciones normales de operación de manera continua.
- **LSS:** Eje rotativo de baja velocidad en una máquina.
- **HSS:** Eje rotativo de alta velocidad en una máquina.
- **Carga reversible:** Este concepto se refiere a una que carga opera tanto en sentido horario como antihorario, alternando de manera frecuente esta rotación.
- **TMD:** Este concepto hace referencia a la capacidad de producción diaria de mineral expresada en toneladas.

2.3. Metodología

De acuerdo con los objetivos de este trabajo, se requiere evaluar componentes, calcular valores de potencia, torque, velocidad y comparar opciones existentes en el mercado actual para el reemplazo del sistema motriz del alimentadore de placas NICO, esto nos empuja a utilizar

una metodología en función al enfoque cuantitativo y cualitativo, por lo que podemos considerarla de tipo mixto.

Respecto a su nivel, consideramos cálculos y criterios a partir de datos brindados por los usuarios de mantenimiento además de la experiencia del autor, por lo que el nivel de esta metodología es de calidad descriptiva; de igual forma consideramos una hipótesis que brindaría una solución sobre el requerimiento del usuario tanto de mantenimiento como de producción por lo que también posee un enfoque explicativo, en este ámbito también podemos considerarla de enfoque mixto.

El método de recolección de la data usada en este trabajo fue por entrevistas con los usuarios de mantenimiento, así como la observación del componente en campo y su situación actual.

Cabe resaltar que el tipo de comparación para este trabajo es del tipo relativo, considerando puntos intrínsecos al accionamiento motriz y sus costos por mantenimiento, no se considera una comparación absoluta con respecto al total de beneficios que la unidad minera pudiera obtener a partir de los cambios sugeridos.

CAPÍTULO III: Desarrollo del trabajo

3.1. Análisis y descripción del sistema de transmisión actual:

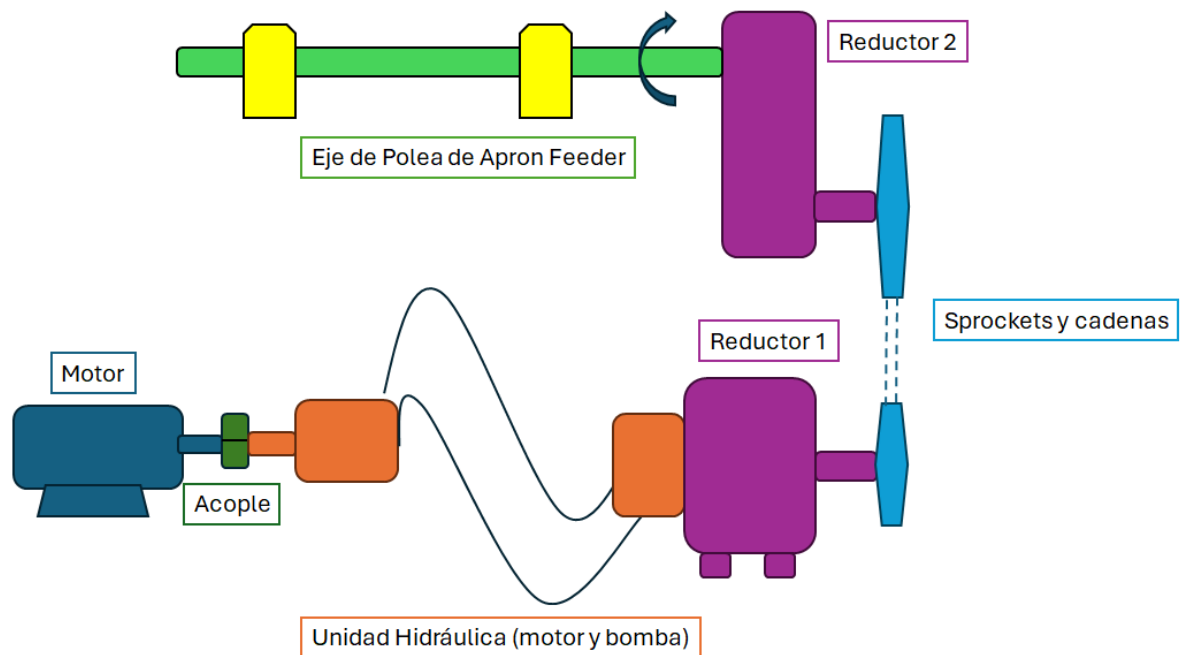
El sistema actual utilizado por la unidad minera Uchucchacua consta de los siguientes componentes: motor eléctrico Delcrosa, acoplamiento, bomba y motor hidráulico SUNDTRAND, reductor primario, sistema de cadena y rueda dentada, reductor secundario y eje motriz; esto de acuerdo con la configuración de la figura 5, cada uno de ellos con las siguientes características:

- Motor eléctrico Delcrosa
 - Modelo: NV180M4
 - Potencia: 24 HP (17.88 kW)
 - Velocidad de salida: 1,750RPM
 - Voltaje: 440 V
 - Amperaje: 31 A
 - Diámetro de eje: 1.625 pulgadas
- Acoplamiento de rejilla FALK
 - Modelo: 1040 T-10
 - Torque nominal: 249 Nm
 - Velocidad Máx: 4500 RPM
- Bomba y motor hidrostático SUNDTRAND HIDRO
 - Presión máxima: 5000 PSI
 - Diámetro de eje: 1.375 pulgadas
- Reductor primario FALK
 - Modelo: 2080FC3BS
 - Relación de transmisión: 47.04
 - Factor de servicio: 2.27

- Velocidad N1: 0 – 1,411 RPM
- Velocidad N2: 0 – 30 RPM
- Potencia nominal: 19.1 HP (14.23 kW)
- Rueda dentada y cadenas
 - Paso: 2 pulgadas
 - Longitud de Cadena: 19 pulgadas
- Reductor secundario NICO
 - Modelo: RS – 556^a
 - Relación de transmisión: 6
 - Diámetro de eje: 100 mm
- Eje de polea de alimentador de placas:
 - Velocidad de giro: 1.5 RPM

Figura 5

Esquema de sistema motriz actual – Minera Uchucchacua



Fuente: SEW Eurodrive del Perú SA – Área HIS

3.2. Cálculo de disponibilidad de alimentador de placas:

El alimentador de placas de la unidad minera debe operar de manera continua durante todo el año, sin embargo, el cliente menciona que cuenta con paradas mensuales de 24 horas para trabajos de inspección preventiva, por lo que consideraremos 8000 horas como tiempo de funcionamiento planificado. Con la información brindada por los usuarios de mantenimiento, es posible elaborar la siguiente tabla 9; los datos corresponden al mantenimiento preventivo programado en el alimentador de placas por componente, lo que nos permite hallar el número de horas en las cuales el alimentador se encontrará detenido; de igual forma, esta tabla nos ayudará a cuantificar la cantidad de horas hombre invertidas en cada mantenimiento y su costo, así como el valor por los elementos de recambio.

$$Disponibilidad(\%) = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento Real}}{\text{Tiempo de funcionamiento planificado}} \times 100$$

De la tabla 9 podemos obtener que la cantidad de horas por el mantenimiento de cada componente hacen un total de 124 horas, por lo que la disponibilidad del alimentador de placas es de:

$$Disponibilidad(\%) = \frac{7876}{8000} \times 100 = 98.45\%$$

Tabla 9

Costos generales anuales para mantenimiento de Alimentador de placas

EQUIPO	MANTENIMIENTO DE COMPONENTE	TIEMPO DE MANTTO	NÚMERO DE MANTO ANUAL	CANTIDAD TECNICOS	H-H	COSTO H-H	COSTO PROMEDIO REPUESTOS	CANTD CAMBIO REPUESTOS	COSTO MATERIALES CONSUMIBLES	COSTO TOTAL
APRON FEEDER	Caja de chumaceras	15	1	4	60	\$ 960.00	\$ 150.00	12	\$ 100.00	\$ 2,860.00
	Placas o bandejas	20	1	3	60	\$ 960.00	\$ 350.00	10	\$ 65.00	\$ 4,525.00
	Rueda dentada	6	1	2	12	\$ 192.00	\$ 150.00	5	\$ 50.00	\$ 992.00
	Cadenas de Alimentador	20	1	3	60	\$ 960.00	\$ 85.00	10	\$ 6.00	\$ 1,816.00
	Rodillos de carga	15	1	4	60	\$ 960.00	\$ 150.00	12	\$ 100.00	\$ 2,860.00
	Motor Eléctrico	8	0.5	2	16	\$ 128.00	\$ 300.00	1	\$ 50.00	\$ 389.00
	Motor Hidrostático y bomba	16	1	2	32	\$ 512.00	\$ 1,500.00	1	\$ 150.00	\$ 2,162.00
	Cadenas y ruedas dentadas de accionamiento	8	2	2	16	\$ 512.00	\$ 50.00	20	\$ 200.00	\$ 2,424.00
	Reductor de Velocidad primario	10	0.5	2	20	\$ 160.00	\$ 1,000.00	1	\$ 150.00	\$ 1,155.00
	Reductor de Velocidad secundario	14	0.5	2	28	\$ 224.00	\$ 1,250.00	1	\$ 150.00	\$ 1,437.00
	TOTAL									\$ 20,620.00

Fuente: Área de mantenimiento unidad de minera Uchucchacua

3.3. Cálculo de torque requerido:

Para el cálculo de torque requerido, utilizaremos la siguiente formula:

$$M_{k2}(Nm) = \frac{P_{k2}(kW) \times 9,550}{n_2(RPM)} \times Eff$$

M_{k2} : Torque de operación en LSS, en Nm.

P_{k2} : Potencia de operación en LSS, en kW.

n_2 : Velocidad de rotación en LSS, en RPM.

Eff : Eficiencia del accionamiento.

Para la definición de la eficiencia debemos tener en cuenta la actual disposición del sistema motriz, el cual, a pesar de ser funcional, sufre de pérdidas de eficiencia en cada uno de sus componentes, es lógico pensar que, al tener una mayor cantidad de componentes, esta eficiencia disminuye considerablemente en cada etapa. Sin embargo, para nuestros fines, consideraremos una eficiencia del 95% para sistema completo:

De acuerdo con esto:

$$M_{k2}(Nm) = \frac{17.88 \text{ kW} \times 9,550}{1.5 \text{ RPM}} \times 0.95$$

$$M_2(Nm) = 108,144 \text{ Nm}$$

Con esto sabemos que el torque necesario para el movimiento del sistema motriz es de 108,144 Nm, sin embargo, debemos considerar el segundo requerimiento, realizado por el área de operaciones, el cual indica que se necesita incrementar el flujo que maneja este

alimentador hasta un 50% en un lapso de 4 años, para esto debemos optar por alguna de las siguientes opciones:

- Aumento del flujo a través de incremento de la línea (ancho de bandas, transportadores, etc.), manteniendo la velocidad de operación, esta opción demanda el incremento de la potencia de operación para aumentar el torque que derivará del cálculo del incremento del volumen y masa del material adicional.
- Incremento de la velocidad de operación, manteniendo la configuración geométrica original de la línea, este tipo de incremento demanda el aumento de la potencia de operación, que, a diferencia de la primera opción, requiere mantener el torque original, pues el flujo se incrementará por el aumento de la velocidad y no por mayor cantidad de material. Con esto se considera la nueva velocidad como:

$$n_2(RPM) = 1.5 \text{ RPM} \times 1.5 = 2.25 \text{ RPM}$$

3.4. Selección de equipamiento:

Podemos considerar los siguientes datos para el inicio de la selección del equipamiento:

- Aplicación: Alimentador de placas
- Torque de operación: Este torque es el valor que el reductor deberá transmitir durante toda su operación, este es: 108 kNm.
- Característica dimensional: A continuación, en la figura 6 se muestra el espacio disponible para el sistema motriz.

Figura 6

Sistema motriz del alimentador de placas NICO



Fuente: Fotografía propia.

Se puede observar que la disposición dimensional es bastante estrecha, se presume que esta es la razón por la cual el sistema actual posee la cantidad de elementos indicados previamente y con esto solucionar el problema dimensional.

En la figura 2 se muestra un esquema más limpio de esta disposición, con esto en mente, debemos considerar que la opción para el cambio debe ser un sistema compacto que pueda cubrir el torque requerido y la velocidad indicada; para esta selección es posible utilizar un sistema con motorreductor y poleas, sin embargo, por el ambiente del lugar de operación, no es recomendable utilizar un sistema con elementos expuestos a la polución, humedad, corrosión, etc.

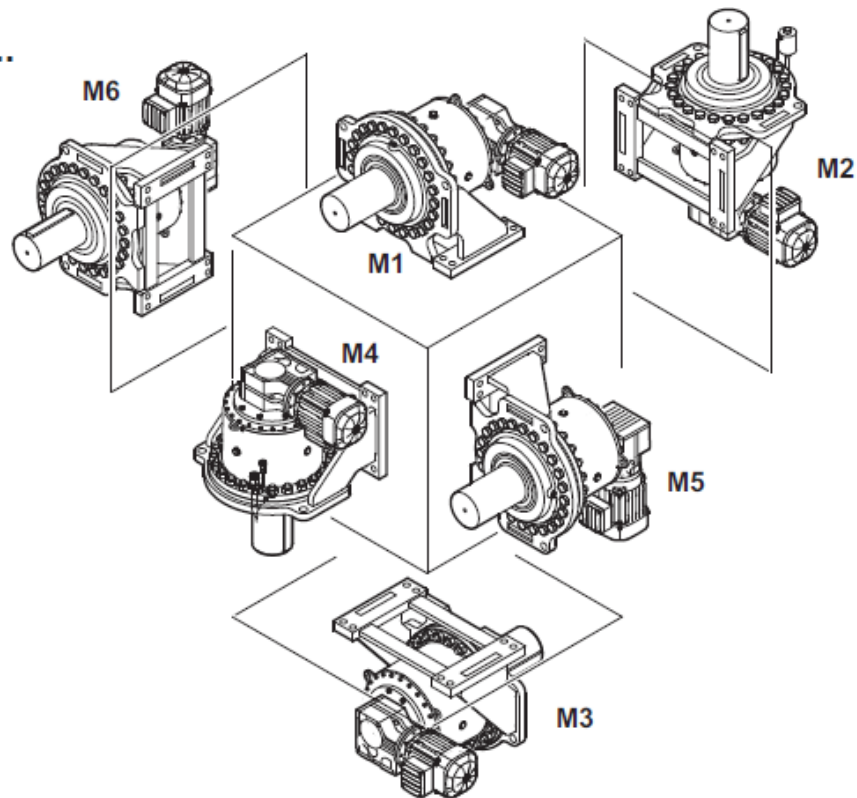
Esto nos hace considerar un sistema de motorreductor compacto con etapa cónica, el cual nos asegura la protección de los elementos de transmisión (engranajes).

- Tipo de reductor: Debido a la baja velocidad que maneja el alimentador de placas y al gran torque que genera, se recomendará el uso de un reductor planetario con una etapa cónica, los reductores planetarios llegan a ser hasta un 30% más ligeros y compactos que un reductor helicoidal cilíndrico o cónico y cuenta con una gran confiabilidad debido a los múltiples puntos de transmisión en su tren de engranajes.
- Tipo de montaje: Se considerará un montaje horizontal con patas (ver figura 7 – posición M1) y acoplamiento flexible en LSS para el alivio de cargas radiales externas en chumaceras del alimentador de placas y, de igual forma, para aislar las fuerzas externas que puedan producir sobrecargas radiales o axiales en el eje de baja velocidad del reductor, evitando así daños en sus rodamientos. (ver figura 7)

Figura 7

Posiciones de montaje para el motorreductor planetario.

P..KF..

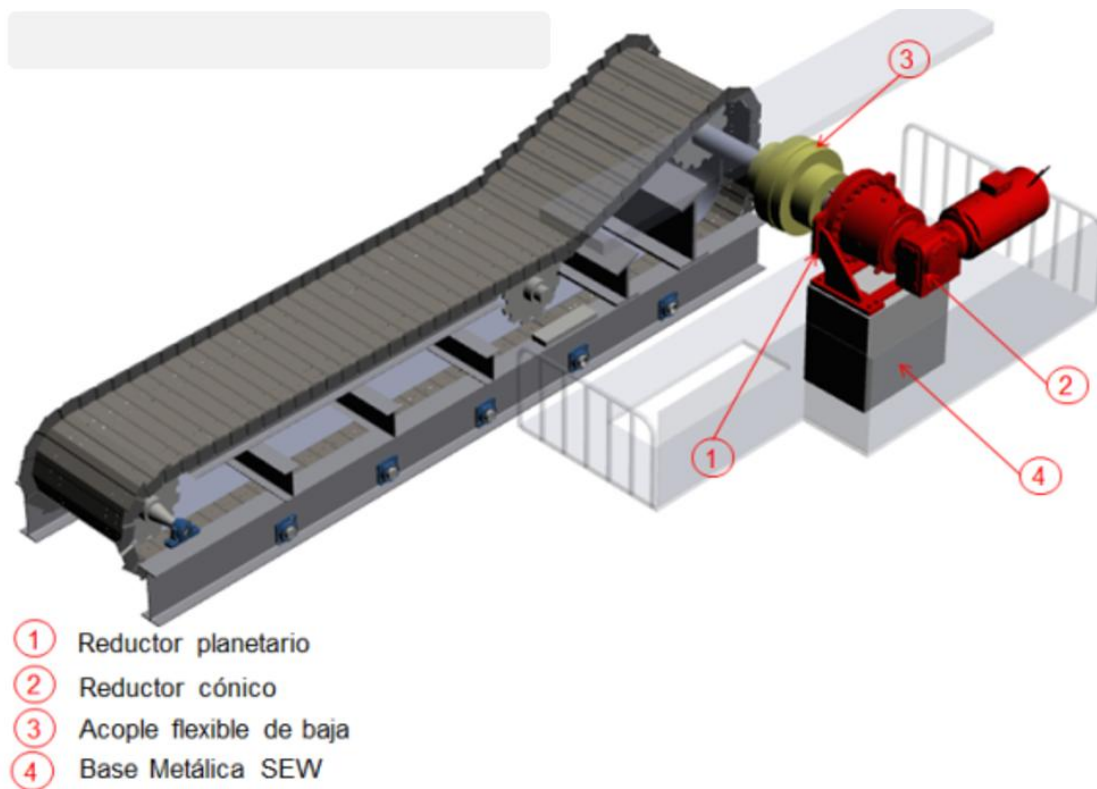


Fuente: (SEW EURODRIVE, 2016)

Con este tipo de accionamiento podemos evitar el uso de múltiples elementos de transmisión en esta máquina, obteniendo de esta forma una mejora en la eficiencia, adicionalmente, gracias al sistema compacto del reductor planetario, es posible introducir este tipo de motorreductor en un lugar con dimensiones estrechas, teniendo la distribución propuesta de acuerdo con la figura 8.

Figura 8

Configuración propuesta para mejora de sistema motriz.



Fuente: (SEW EURODRIVE, 2016)

Se requiere seleccionar un equipo que pueda cumplir con el siguiente requerimiento:

- Torque de operación en LSS: 108kNm

$$M_{k2}(Nm) = \frac{P_{k2}(kW) \times 9,550}{n_2 (RPM)} \times Eff$$

M_{k2} : Torque de operación en LSS, en Nm.

P_{k2} : Potencia de operación en LSS, en kW.

n_2 : Velocidad de rotación en LSS, en RPM.

Eff : Eficiencia del accionamiento.

De acuerdo con esto:

$$108144 (Nm) = \frac{P_{k2}(kW) \times 9,550}{2.25 (RPM)} \times 0.96$$

$$P_{k2}(kW) = 26.54 kW$$

La nueva potencia del motor a usar debe ser al menos de 26.54 kW para poder generar la transmisión hacia el alimentador de placas, en caso de que la producción aumente en el porcentaje esperado.

- Selección de factores para la aplicación:
 - Factor de servicio para aplicación específica $F_{s min}$

Aplicación: alimentador de placas, con un ciclo de operación constante superior a las 10 h.

t = tiempo de vida infinito $\rightarrow F_{s min} = 1.5$

- Factor de pico de carga F_F

Reductor planetario con eje sólido, montado por patas y acoplamiento flexible.

Carga por hora = 41 – 80 $\rightarrow F_F = 1.5$

- Factor por tipo de arranque F_{start}

Arranque por variador de frecuencia con rampa de aceleración superior a los 5 segundos $\rightarrow$

$$F_{start} = 1.5$$

- Factor de vida de operación f_{LC}

Para aplicaciones con tiempo de operación vida definido

$$f_{LC} = \frac{L_h \times n_2}{1,000} = \frac{35,000 (h) \times 2.25 (RPM)}{1,000} = 78.75$$

L_h : Tiempo de vida requerido, en horas.

n_2 : Velocidad de rotación en LSS, en RPM.

- Cálculo del torque nominal requerido en el reductor de velocidad:

Considerando una operación constante en una sola dirección:

$$M_{n2}(Nm) \geq M_{k2}(Nm) \times F_{s \min}$$

M_{n2} : Torque nominal de reductor, en Nm.

M_{k2} : Torque de operación en LSS, en Nm.

$F_{s \min}$: Factor de Servicio para aplicación específica.

De acuerdo con esto:

$$M_{n2}(Nm) \geq 108,144 Nm \times 1.5 = 162,216 Nm$$

- Selección del reductor planetario:

Considerando el torque nominal requerido para el reductor del accionamiento, y teniendo como factor de vida de operación el valor mínimo de 78.75, podemos elegir en la siguiente tabla:

Tabla 10

Torque Nominal de reductores Planetarios

Talla	Factor de Vida de Operación - f_{LC}											$M_{N2 \text{ Lim}}$ Nm
	≤ 7.5	≤ 15	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 45	≤ 52.5	≤ 70	≤ 95	≤ 107.5	$> 107.5^{1)}$	
	M_{N2}											
P.002	29 200	26 300									24 830	49 660
P.012	46 200	41 600	38 500								36 810	73 620
P.022	64 200	60 100	55 600	54 200	54 200	54 200	54 200	54 200	54 200		51 190	102 380
P.032	86 800	84 900	78 600	76 600	76 600	76 600	76 600	76 600	76 400	73 700	69 620	139 240
P.042	111 000	111 000	103 200								100 170	200 340
P.052	140 600	134 500									124 060	248 120
P.062	209 100	201 400									185 660	371 320
P.072	274 600	274 600	264 500	257 300	256 400	256 400	256 400				245 660	491 320
P.082	397 100	397 100	397 100	383 500							359 400	718 800
P.092	513 900	513 900	488 900	476 200	476 200	446 300					423 000	846 000
P.102	631 300	630 800	572 300	541 800	517 300						500 000	1 000 000

Fuente: (SEW EURODRIVE, Trad. 2016)

Se escoge el torque superior próximo al calculado previamente, de igual forma, el factor de vida de operación nos indica el máximo torque nominal que podría soportar el reductor en operación.

De acuerdo con esto el reductor seleccionado es: P062

- Selección de la potencia del motor:

$$P_m(kW) \geq P_{k1}(kW) = \frac{P_{k2}(kW)}{eff} = \frac{26.54 \text{ kW}}{0.96} = 27.65 \text{ kW}$$

P_m : Potencia nominal de motor, en kW.

P_{k1} : Potencia de operación en HSS, en kW.

P_{k2} : Potencia de operación en LSS, en kW.

Eff : Eficiencia del accionamiento.

Motor Seleccionado $\rightarrow P_m = 30 \text{ kW}$ (potencia estándar en motores IEC)

Características: 4 polos a 60 Hz $\rightarrow n_1 = 1,783 \text{ RPM}$, IP 65 y protección térmica F.

- Selección de combinación de motorreductor:

Considerando los siguientes datos:

$$P_m = 30 \text{ kW} ; n_1 = 1,783 \text{ RPM} \wedge n_2 = 2.25 \text{ RPM}$$

$$\therefore \text{Relacion de transmisión} = \frac{1,783}{2.25} = 792$$

$$\wedge M_{n2}(\text{Nm}) \geq 162,216 \text{ Nm}$$

Tabla 11

Cuadro de selección de Reductores Planetarios

P_m = 30 kW											
n₂	M_a	i_{ex}	F_{Ra}¹⁾	M_{N2}						m	
min⁻¹	Nm		N	f_{LC} ≤ 7.5	f_{LC} > 107.5					kg	
				Nm	Nm						
0.57	494700	2608	686500	513900	423000						
0.65	429600	2264	720000	513900	423000	P	092KF187	DRN	200L4	5060	280
0.72	389700	2054	720000	513900	423000	PF	092KF187	DRN	200L4	4360	281
0.84	335700	1770	720000	513900	423000	PH	092KF187	DRN	200L4	5070	280
1.0	282100	1487	720000	513900	423000	PHF	092KF187	DRN	200L4	4370	281
1.1	244300	1288	720000	513900	423000						
0.62	452000	2383	720000	513900	423000						
1.4	197500	1041	720000	513900	423000						
1.5	182500	962	720000	513900	423000	P	092KF167	DRN	200L4	4430	278
1.7	163600	863	720000	513900	423000	PF	092KF167	DRN	200L4	3730	279
1.9	151200	797	720000	513900	423000	PH	092KF167	DRN	200L4	4440	278
2.0	139600	736	720000	513900	423000	PHF	092KF167	DRN	200L4	3740	279
2.2	129000	680	720000	513900	423000						
2.3	123000	649	720000	513900	423000						
2.6	109700	579	720000	513900	423000						
0.62	454100	2394	720000	513900	423000	P	092KF157	DRN	200L4	4050	276
						PF	092KF157	DRN	200L4	3360	277
						PH	092KF157	DRN	200L4	4070	276
						PHF	092KF157	DRN	200L4	3370	277
0.73	386500	2038	629100	397100	359400	P	082KF157	DRN	200L4	3550	274
0.84	333200	1756	676700	397100	359400	PF	082KF157	DRN	200L4	2900	275
1.0	270700	1427	683000	397100	359400	PH	082KF157	DRN	200L4	3550	274
1.3	222900	1175	683000	397100	359400	PHF	082KF157	DRN	200L4	2900	275
1.4	196700	1037	683000	397100	359400						
1.0	274700	1449	515900	274600	245660	P	072KF157	DRN	200L4	2900	272
						PF	072KF157	DRN	200L4	2410	273
						PH	072KF157	DRN	200L4	2950	272
						PHF	072KF157	DRN	200L4	2460	273
1.1	261900	1381	523000	274600	245660	P	072KF127	DRN	200L4	2610	270
1.2	226600	1195	523000	274600	245660	PF	072KF127	DRN	200L4	2120	271
1.4	200000	1055	523000	274600	245660	PH	072KF127	DRN	200L4	2660	270
1.6	172700	911	523000	274600	245660	PHF	072KF127	DRN	200L4	2170	271
1.8	152700	806	523000	274600	245660						
1.4	205900	1086	422500	209100	185660	P	062KF127	DRN	200L4	2180	268
1.6	177800	938	444400	209100	185660	PF	062KF127	DRN	200L4	1820	269
1.8	157300	830	458400	209100	185660	PH	062KF127	DRN	200L4	2170	268
2.1	132200	697	473000	209100	185660	PHF	062KF127	DRN	200L4	1810	269
2.6	106800	563	473000	209100	185660						
1.4	195800	1033	430800	209100	185660	P	062KF107	DRN	200L4	1990	266
1.7	168300	887	451200	209100	185660	PF	062KF107	DRN	200L4	1620	267
1.9	146900	774	465000	209100	185660	PH	062KF107	DRN	200L4	1980	266
						PHF	062KF107	DRN	200L4	1610	267
2.6	106800	563	364000	140600	124060	P	052KF127	DRN	200L4	1700	264
3.0	95100	502	364000	140600	124060	PF	052KF127	DRN	200L4	1500	265
3.5	79900	421	364000	140600	124060	PH	052KF127	DRN	200L4	1690	264
						PHF	052KF127	DRN	200L4	1490	265
2.2	124600	657	355900	140600	124060	P	052KF107	DRN	200L4	1500	262
3.8	73900	390	364000	140600	124060	PF	052KF107	DRN	200L4	1300	263
						PH	052KF107	DRN	200L4	1500	262
						PHF	052KF107	DRN	200L4	1300	263
3.5	79900	421	314100	111000	100170	P	042KF127	DRN	200L4	1550	258
4.3	64500	341	308200	111000	100170	PF	042KF127	DRN	200L4	1360	259
						PH	042KF127	DRN	200L4	1560	258
						PHF	042KF127	DRN	200L4	1370	259

Fuente: (SEW EURODRIVE, 2016)

Combinación seleccionada: P062KF127DRN200L4

Relación de transmisión exacta de reductor:

$$i_{ex} = 774 \text{ (requerido} = 792 \rightarrow OK)$$

$$\therefore n_{2real}(RPM) = \frac{n_1(RPM)}{i_{ex}} = \frac{1,782 \text{ RPM}}{774} = 2.3 \text{ RPM}$$

Revisión del torque de operación según la potencia del motor seleccionado:

$$M_a(Nm) = \frac{P_m(kW) \times 9,550}{n_{2real}(RPM)} \times eff = \frac{30 \text{ kW} \times 9,550 \times 0.96}{2.3 \text{ RPM}}$$

$$M_a = 119,582 \text{ Nm} > M_{k2} = 108,144 \text{ Nm} \rightarrow OK$$

- Revisión de condiciones de cargas pico:

Torque pico permitido – considerando dirección de carga constante:

$$M_{k2per}(Nm) = \frac{M_{n2 Lim}(Nm)}{F_F} = \frac{371,320 \text{ Nm}}{1.5} = 247,546 \text{ Nm}$$

M_{k2per} : Torque pico permitido, en Nm.

$M_{n2 Lim}$: Torque límite nominal de reductor, en Nm.

F_F : Factor de pico de carga.

Cálculo del pico de carga:

$$M_{k2max}(Nm) = M_a(Nm) \times F_{start} = 119,582 \text{ Nm} \times 1.5 = 179,373 \text{ Nm}$$

M_{k2max} : Torque pico máximo, en Nm.

M_a : Torque de operación de acuerdo con la potencia del motor, en Nm.

F_{start} : Factor por tipo de arranque.

$$\therefore M_{k2max}(Nm) < M_{k2per}(Nm) \rightarrow OK$$

- Revisión de cargas externas:

En este caso, no existen cargas radiales ni axiales externas debido al tipo de montaje seleccionado, el cual es montaje por patas y acoplamiento flexible en eje de baja velocidad.

3.5. Cálculo de costo por mantenimiento para nuevo accionamiento:

Para la elaboración de un nuevo cuadro de costo por mantenimiento, requerimos obtener los siguientes valores:

- Costos por repuestos para motor de 30 kW, se considera el siguiente desglose:

Tabla 12

Costos generales por repuestos para motor de 30 kW.

Concepto	Cantidad	Descripcion	Costo Unitari	Costo Total
Rodamientos	2	Rodamientos (de rodillos o bolas)	\$ 260.00	\$ 520.00
Sellos	1	Sellos de Nitrilo	\$ 60.00	\$ 60.00
Piezas DIN	1	Pernos y arandelas	\$ 42.00	\$ 42.00
Pintura	1	Epoxica	\$ 50.00	\$ 50.00
TOTAL			\$	672.00

Fuente: Elaboración propia.

- El costo por repuestos para mantenimiento preventivo de motor: 672 dólares
- Costo por repuestos para reductor duplo planetario, se considera el siguiente desglose:

Tabla 13***Costos generales por repuestos para reductor duplo planetario.***

Concepto	Cantidad	Descripcion	Costo Unitario	Costo Total
Rodamientos planetario	15	Rodamientos (de rodillos o bolas)	\$ 145.00	\$ 2,175.00
Rodamientos primario	6	Rodamientos (de rodillos o bolas)	\$ 65.00	\$ 390.00
Sellos	1	Sellos de Nitrilo	\$ 250.00	\$ 250.00
Piezas DIN	1	Pernos y arandelas	\$ 150.00	\$ 150.00
Pintura	1	Epoxica	\$ 115.00	\$ 115.00
			TOTAL	\$ 3,080.00

Fuente: Elaboración propia.

- El costo por repuestos para mantenimiento preventivo del reductor duplo es de 3080 dólares, este monto será requerido cada 35,000 horas, que es el tiempo de vida usado como referencia para el cálculo y selección del accionamiento, lo que equivale a 4 años de manera aproximada.
- Costo aproximado por cambio del elemento flexible en el acoplamiento: 100 dólares
- Se obtiene los costos anuales de mantenimiento luego del cambio de accionamiento sugerido, de acuerdo con la tabla 14.

Tabla 14

Costos generales anuales para el mantenimiento del alimentador de placas después del cambio sugerido.

EQUIPO	MANTENIMIENTO DE COMPONENTE	TIEMPO DE MANTTO	NÚMERO DE MNTTO ANUAL	CANTIDAD TECNICOS	H-H	COSTO H-H	COSTO PROMEDIO REPUESTOS	CANTD CAMBIO REPUESTOS	COSTO MATERIALES CONSUMIBLES	COSTO TOTAL
APRON FEEDER	Caja de chumaceras	15	1	4	60	\$ 960.00	\$ 150.00	12	\$ 100.00	\$ 2,860.00
	Placas o bandejas	20	1	3	60	\$ 960.00	\$ 350.00	10	\$ 65.00	\$ 4,525.00
	Rueda dentada	6	1	2	12	\$ 192.00	\$ 150.00	5	\$ 50.00	\$ 992.00
	Cadenas de Alimentador	20	1	2	40	\$ 640.00	\$ 85.00	10	\$ 6.00	\$ 1,496.00
	Rodillos de carga	15	1	4	60	\$ 960.00	\$ 150.00	12	\$ 100.00	\$ 2,860.00
	Motor Eléctrico	8	0.5	2	16	\$ 128.00	\$ 336.00	1	\$ 50.00	\$ 425.00
	Reductor de Velocidad	16	0.25	2	32	\$ 128.00	\$ 770.00	1	\$ 100.00	\$ 827.00
	Acoplamiento flexible	2	1	2	4	\$ 64.00	\$ 100.00	1	\$ 50.00	\$ 214.00
TOTAL										\$ 14,199.00

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Cálculo de disponibilidad para nuevo accionamiento:

De la tabla 14 podemos obtener que la cantidad de horas por el mantenimiento del accionamiento es un total de 84 horas, por lo que la disponibilidad del alimentador de placas es de:

$$Disponibilidad(\%) = \frac{7916}{8000} \times 100 = 98.95\%$$

Podemos observar que el parámetro de disponibilidad con el accionamiento propuesto es de 98.95%.

3.7. Análisis de costos y tiempo de retorno:

El costo de inversión por el cambio del accionamiento es de 20,862.64 dólares, esto implica el costo del nuevo motorreductor y el acoplamiento flexible, con esto podemos realizar un análisis de costos utilizando un flujo de caja considerando el ahorro anual como la utilidad a recibir, esto se puede ver en la tabla 15.

Tabla 15

Análisis de costos a lo largo de múltiples periodos.

TASA %	8%					
PERIODO	0	1	2	3	4	5
AHORRO	\$ -	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00
GASTO	\$ 20,862.64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO	\$ -20,862.64	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00	\$ 6,421.00
ACUMULADO	\$ -	\$ 6,421.00	\$ 12,842.00	\$ 19,263.00	\$ 25,684.00	\$ 32,105.00
VAN	\$ 5,115.99					
TIR	16%					
PR	3.25					

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: Resultados

4.1. Análisis de resultados

Se observa que la selección de un motorreductor como accionamiento motriz del alimentador de placas NICO posee los siguientes costos de mantenimiento: 14,199 dólares; esto puede ser comparado a los costos de mantenimiento previos (del accionamiento original) indicados por el usuario del área de mantenimiento, este monto es de 20,620 dólares, esta comparación de costos nos indica que la opción del cambio de accionamiento es ventajosa, pues el ahorro anual es de 6,421 dólares, lo cual representa una mejora en costos anuales de aproximadamente 31%.

Observamos también, que el parámetro de disponibilidad mejora respecto al obtenido con el accionamiento original, esta mejora de 98.45% a 98.95%, y se tiene una mejora en la cantidad horas hombre utilizadas de 124 horas a 84 horas, lo que significa una mejora de 32% en tiempo de intervención lo que nos garantiza una mejora en aspecto de seguridad, disponibilidad de personal, etc.

Con el nuevo accionamiento, se ha aumentado la velocidad de operación de 1.5 RPM a 2.25 RPM, lo cual incrementará la producción en un 50% de acuerdo con lo requerido por el área de producción, esto obliga a incrementar la potencia del motor a 30 kW para cumplir con esta demanda; el motorreductor seleccionado se encuentra calculado para poder trabajar con esta nueva potencia.

Con respecto al costo de inversión de este nuevo accionamiento, el análisis reflejado en la tabla 15 nos indica que el valor neto actual es positivo, por lo que la inversión proyecta ser

rentable, de igual forma el TIR es superior a la Tasa de descuento y el periodo de retorno es menor a 4 años.

CONCLUSIONES

1. El sistema motriz actual del alimentador de placas, a pesar de su funcionalidad y versatilidad en la instalación, posee altos costos asociados a su régimen de mantenimiento, tanto por la cantidad de componentes que posee, como por la cantidad de horas hombre que se invierte.
2. De acuerdo con lo solicitado por el usuario de mantenimiento y de producción, se puede observar que la velocidad del accionamiento debe incrementarse y por consiguiente la potencia del motor para cumplir con el torque requerido.
3. Al ser un accionamiento con elementos expuestos al medio ambiente esto perjudica en la labor de mantenimiento, por lo que la opción para reemplazo debe ser un accionamiento cerrado, esto nos orienta a la elección de un reductor de velocidad; y al tener un espacio estrecho para el montaje, se debe considerar un reductor compacto que pueda cumplir con el requerimiento de torque, por lo que un reductor planetario es la mejor opción.
4. La selección realizada para el cambio del accionamiento del alimentador de placas (P062KF127DRN200L4), asegura la reducción de la cantidad de componentes en el accionamiento y, por consiguiente, la mejora de eficiencia en la transmisión de torque y potencia hacia el alimentador de placas.
5. Los costos calculados en este análisis aseguran que el precio por el mantenimiento del accionamiento propuesto es menor al actual, teniendo un ahorro anual alrededor del 32% en los gastos realizados, adicionalmente, la disponibilidad el alimentador de placas mejora al 98.95% y la cantidad de horas hombre invertida se reduce en 32%, el análisis

de flujo de caja nos brinda también una proyección positiva teniendo un periodo de retorno de 3.25 años y un valor actual neto positivo; todo esto nos indica que el cambio del accionamiento es viable y confiable.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el sistema motriz propuesto e introducir el alimentador de placas a la industria 4.0, es posible añadir un variador de frecuencia que pueda ayudarnos con las medidas de corriente, así como los arranques suavizados de la carga, para esto se recomienda realizar un análisis de red, que nos ayudará a saber la calidad de esta.
2. Para mejorar la gestión de mantenimiento e introducirla a las labores predictivas, se recomienda añadir sensores de parámetros (temperatura, vibración, nivel de aceite, etc.) que puedan indicar a un HMI o un PLC los datos en vivo del accionamiento para su monitoreo constante, y con esto un cálculo predictivo de la vida útil de los componentes.
3. Para el incremento de producción requerido, se recomienda analizar el sistema de banda y chute aguas arriba, para un correcto dimensionamiento del flujo de material a operar, pues la variación en la producción se dará por velocidad.

REFERENCIAS

- Aguilar, C. (2022). Diseño e Implementación de Sistema para Facilidades de Cambio de Cadena de Alimentador de Placas en una Planta Concentradora de Cobre en el Sur del Perú. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12187>
- Alva, F. (2002). *Diseño de elementos de Máquinas II*. CEFIM.
- Blackburn, Jhon; Reethof, Gerhard; Lowen, J. (1960). *Fluid Power Control*. USA: Jhon Willey & Sons, Inc. Obtenido de <https://mitpress.mit.edu/9780262520041/fluid-power-control/>
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Obtenido de https://www.academia.edu/33910807/Dise%C3%B1o_en_ingenier%C3%ADa_mec%C3%A1nica_de_Shigley_9na_Edici%C3%B3n_Richard_G_Budynas
- Carvajal, D., & Rojas, M. (2010). *Banco de pruebas de sistemas de Transmisión de Potencia*. [Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1095>
- Dobrovolski, V., Zablonski, K., Mak, S., Radchik, A., & Erlij, L. (1970). *Elementos de Máquinas*. Moscu: Editorial MIR. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/214468788/Elementos-de-Maquinas-Dobrovolski>
- Duffuaa, S. (2000). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y control*. Limusa. Obtenido de https://www.academia.edu/41884461/Sistemas_de_Mantenimiento_Planeaci%C3%B3n_y_Control_Duffua
- Escalante, A. (2016). Propuesta de Optimización del Mantenimiento Planificado en el Área de Chancado Primario en una Empresa Minera de Cobre. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5300>
- Farina, A. L. (2018). Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. *Revista Ingeniería Eléctrica - Suplemento instaladores*. Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf
- González, G. (2001). Transmisión de Potencia por Cadenas de rodillos. Explotación, Selección y Diseño. Ciudad de la Habana. Obtenido de <https://trellischile.tripod.com/archivos/Cadenas-Maestria.pdf>
- HENAN EXCELLENT MACHINERY CO., LTD. (S.F.). Apron Feeder. Obtenido de https://www.exctmach.com/products/bulk-handling/apron-feeder.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwjNS3BhChARIsAOxBM6qPYnKdBw5Tum0ucbt2kMxvGtMUnrDUtJ3QYs9ZeT5-0WvKOvrbaBoaAttTEALw_wcB
- Martínez, D., Garcia-Barbosa, J., & Nino, J. (2024). Análisis geométrico, de movimiento y eficiencia de un sistema de transmisión de potencia entre ejes no paralelos. *Revista chilena de ingeniería*, 32:4. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052024000100204>

- Mattolini, M. Á. (2015). *Cálculo y diseño de engranajes y Reductores de Velocidad*. Córdoba, Argentina: LÍbryco.
- Merritt, H. (1967). *Hidraulic Control Systems*. John Wiley & Sons, Inc. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-us/Hydraulic+Control+Systems-p-9780471596172>
- Metso Minerals. (2005). Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Aladon LLC. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/399048691/1-Libro-RCM-J-Moubray-pdf>
- NEUGART. (SF). *¿Qué son los reductores coaxiales?* Obtenido de <https://www.neugart.com/es/wiki/reductor-coaxial>
- Peng, J., Cheng, X., Wang, J., & Xiao, L. (2023). Contact analysis of heavy-duty apron feeder with clearance. doi:10.30765/er.2229
- Roberts, A. W. (2001). An Overview of Feeder Design Focusing on Belt and Apron Feeders. Australia. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/433847362/Design-of-Belt-and-Apron-Feeders-An-Over-1-pdf>
- SEW EURODRIVE. (2016). Industrial Gear Units, P.002 - P.102 Series Planetary Gearmotors. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/667021271/Catalogo-Reductores-Serie-P-Ingles>
- SEW EURODRIVE. (2018). Industrial Gear Units, X.. Series Helical and Bevel-Helical Gear Units. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/430612023/X-Series-Helical-and-Bevel-Helical-Gear-Units>
- TECSUP. (s.f.). Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/mantenimiento-de-equipos-de-transporte-a-feederpdf/257924481>
- VULKAN Drive Tech. (2017). Technical Data Felxible Couplings for Industrial Applications. Obtenido de https://www.vulkan.com/fileadmin/user_upload/Downloads/SharePoint_Import/Catalogues/Industry_and_Energy/Technical_Data/German_-_English/Flexible_Couplings-Technical-Data-en-de.pdf

ANEXOS

Anexo 1 Factor de servicio específico por aplicación - parte 1	1
Anexo 2 Factor de servicio específico por aplicación - parte 2	2

Anexo 1

Factor de servicio específico por aplicación - parte 1

Área de Aplicación	Tipo de Aplicación	Factor de Servicio Específico F_{Smin} de Aplicación.			
		Resistencia a la fatiga infinita (DIN 3990)			T. de vida Definido
		< 3 h	3-10 h	> 10 h	
Tratamiento de agua	Agitador	-	1.80	2.00	1.80
	Espesador	1.15	1.25	1.50	1.15
	Filtro de Vacío	1.15	1.30	1.50	1.15
	Colector	1.15	1.25	1.50	1.15
	Bomba de Tornillo	-	1.30	1.50	1.30
	Aereador de cepillos	-	-	2.00	2.00
Minería	Molino	1.55	1.75	2.00	1.55
	Zarandas vibratorias	1.55	1.75	2.00	1.55
	Girador	-	1.55	1.80	1.55
	Rotopala	1)	1)	1)	1)
Energía	Variadores de Frecuencia	-	1.80	2.00	1.80
	Ruedas de agua (baja velocidad)	-	-	1.70	1.70
	Turbinas de agua	-	-	1)	-
Transportadores	Elevador de Cangilones	-	1.40	1.50	1.40
	Elevador Vertical	-	1.50	1.80	1.50
	Faja Transp < 100 kW	1.15	1.25	1.40	1.15
	Faja Transp > 100 kW	1.15	1.30	1.50	1.15
	Alimentador de Placas	-	1.25	1.50	1.25
	Alimentador de Tornillos	1.15	1.25	1.50	1.15
	Transportador de mallas	1.55	1.75	2.00	1.55
	Escaleras eléctricas	1.25	1.25	1.50	1.25
	Elevador de Pasajeros	1)	1)	1)	1)
Plástico	Extrusora (papel)	-	1.40	1.60	1.40
	Extrusora (plástico)	-	1.50	1.80	1.50
	Rodillos para plástico (2 en serie)	1.55	1.75	2.00	1.55
	Rodillos para plástico (3 en serie)	-	1.50	1.75	1.50
	Rodillos de calefacción	1.35	1.50	1.75	1.35
	Calender	-	1.65	1.65	1.65
	Molino	1.55	1.75	2.00	1.55
	Rodillos mezcladores	1)	1)	1)	1)
	Rodillos pasadores	1.55	1.75	2.00	1.55
	Refinador	1.55	1.75	2.00	1.55
	Cambiador de Neumáticos	1)	1)	1)	1)
Madera	Madera	1)	1)	1)	1)
Grúas	Grúas	2)	2)	2)	2)
Comida	Chancadoras y molinos	-	-	1.75	1.75
	Rebanador	-	1.25	1.50	1.25
	Tambor secador	-	1.25	1.50	1.25

Fuente: (SEW EURODRIVE, 2016)

Anexo 2

Factor de servicio específico por aplicación - parte 2

Producción de metal	Devanadora	-	1,60	1,75	1,60
	Rodillo Cortador	1,55	1,75	2,00	1,55
	Mesa Transportadora - 1 Acc.	1)	1)	1)	1)
	Mesa Transportadora - varios Acc.	1)	1)	1)	1)
	Mesa Transportadora - reciprocante	1)	1)	1)	1)
	Extrusora de cables	1,35	1,50	1,75	1,35
	Rodillos	1)	1)	1)	1)
Molinos y tambores rotativos	Secador y enfriador Rotativo	-	1,50	1,60	1,50
	Horno rotativo	-	-	2,00	2,00
	Molino de bolas	-	-	2,00	2,00
	Molino Vertical	-	1,50	1,75	1,50
Industria del papel	Tambores descortezadores	1,55	1,80	-	1,55
	Rodillos (de succión, de cond)	-	1,80	2,00	1,80
	Rodillos secadores	-	1,80	2,00	1,80
	Rodillos de aplanado	-	1,80	2,00	1,80
	Filtros (presión y vacío)	-	1,80	2,00	1,80
	Mezcladora	1,55	1,75	2,00	1,55
	Molino Jordan	-	1,50	1,75	1,50
	Prensas	-	-	1,75	1,75
	Máquina de carretes	-	-	1,75	1,75
	Pulpers	1)	1)	1)	1)
	Filtros de lavado	-	-	1,50	1,50
	Yankee	1)	1)	1)	1)
Bombas	Bomba centrífuga	1,15	1,35	1,45	1,15
	Bomba reciprocante (1 cilindro)	1,35	1,50	1,80	1,35
	Bomba reciprocante (varios cilindros)	1,20	1,40	1,50	1,20
	Bomba de tornillo	-	1,25	1,50	1,25
	Bomba Rotativa (engranaje, paletas)	-	-	1,25	1,25
Agitadores y mezcladores	Agitador de Líquidos	1,00	1,25	1,50	1,00
	Agitador de Líquidos (densidad var)	1,20	1,50	1,65	1,20
	Agitador de Sólidos (Material no Unif.)	1,40	1,60	1,70	1,40
	Agitador de Sólidos (Material Unif.)	-	1,35	1,40	1,35
	Mezclador de concreto	-	1,50	1,50	1,50
Teleféricos	Teleféricos de materiales	-	1,40	1,50	1,40
	Tranvías aéreos	-	1)	1)	1)
	Ascensores de superficie	1)	1)	1)	1)
	Tranvías aéreos continuos	1)	1)	1)	1)
	Ferrocarriles funiculares	1)	1)	1)	1)
Ventiladores	Intercambiadores de Calor	1,50	1,50	1,50	1,50
	Torres de enfriamiento secas	-	-	2,00	2,00
	Torres de enfriamiento húmedas	2,00	2,00	2,00	2,00
	Sopladores (axial y radial)	1,50	1,50	1,50	1,50
Compresores	Compresor reciprocante	-	1,80	1,90	1,80
	Compresor Radial	-	1,40	1,50	1,40
	Compresor de tornillo	-	1,50	1,75	1,50

1) Contactar con SEW EURODRIVE

Fuente: (SEW EURODRIVE, 2016)