

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño e implementación de sistema de transporte
de liners para cambio de revestimiento de molinos de
bolas 1 y 2 planta tintaya**

Alexander Mancilla Huayta

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2024

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Gerald Rolando Rosales Valdeiglesias
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 22 de Octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE TRANSPORTE DE LINERS PARA CAMBIO DE REVESTIMIENTO DE MOLINOS DE BOLAS 1 Y 2 PLANTA TINTAYA

Autores:

1. Alexander Mancilla Huayta – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1 Problema general	2
1.1.2 Problemas específicos	3
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación e importancia	4
1.4 Limitaciones.....	6
1.5 Delimitación o frontera	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes del problema	7
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales	8
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Molinos	9
2.2.2 Partes principales de un molino	11
2.3 Definición de términos básicos.....	12
2.3.1 Peligro.....	12
2.3.2 Riesgo	12

2.3.3	Incidente.....	12
2.3.4	Accidente de trabajo.....	13
2.3.5	Ergonomía.....	13
2.3.6	Lesión.....	13
2.3.7	Permiso Escrito para Trabajos de Alto Riesgo (PETAR).....	13
2.3.8	Estándares de trabajo	13
2.3.9	Mantenimiento	13
2.3.10	Mantenimiento correctivo.....	14
2.3.11	Mantenimiento preventivo	14
2.3.12	Paradas de Planta Programada	14
2.3.13	Opex.....	14
2.3.14	Capex	14
2.3.15	Estación de polines	15
2.3.16	Polines.....	15
2.3.17	Rodamientos	15
2.3.18	Sellos Mecánicos	16
2.3.19	Manto Metálico.....	16
2.3.20	Rozamiento	16
2.3.21	Chute de Carga o Transferencia.....	16
2.3.22	Tiempo de Vida de los Polines	16
2.3.23	Soldadura	16
2.3.24	Análisis estático	17
2.3.25	Análisis dinámico.....	17
2.3.26	Ventajas del Acero como Material Estructural	17
2.3.27	Alta resistencia del acero	17
2.3.28	Uniformidad del acero	17
2.3.29	Elasticidad del acero	17
2.3.30	Durabilidad	18
2.3.31	Ductilidad.....	18

2.3.32	Tenacidad.....	18
2.3.33	Corrosión.....	18
2.3.34	Fatiga.....	18
2.3.35	Fractura frágil.....	18
2.3.36	Cargas	19
2.3.37	Cargas muertas.....	19
2.3.38	Cargas Vivas	19
2.3.39	Factor de seguridad.....	19
2.3.40	Ruta crítica.....	19
2.3.41	Simulación con SOLIDWORKS	19
2.3.42	Mallado	20
2.3.43	Bolas o billas de acero	20
2.3.44	Torsión.....	21
2.3.45	Flexión	22
2.3.46	Molienda	22
2.3.47	Liners – Revestimientos.....	23
2.3.48	Faja transportadora.....	23
2.3.49	Trommel.....	23
2.4	Normas.....	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		25
3.1	MÉTODO	25
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
3.3	ALCANCE.....	25
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.4.1	Técnicas de recolección de datos	26
3.4.2	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION		87
4.1	Presentación de resultados	87
4.1.1	Producto final Sistema de transporte de liners.....	87

4.1.2	Evaluación económica del sistema de transporte de liners	88
4.1.3	Cantidad de liners trasladados.....	89
4.1.4	Reducción de horas de parada programada molino 02 tintaya.....	89
4.1.5	Reducción del índice de incidentes por contacto con liners.....	92
4.2	Discusión de resultados.....	93
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		95
5.1	Conclusiones	95
5.2	Recomendaciones	96
BIBLIOGRAFÍA		98
ANEXOS		102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Estado del arte</i>	28
Tabla 2. <i>Lista de deseos y exigencias</i>	31
Tabla 3. <i>Matriz morfológica</i>	36
Tabla 4. <i>Tabla evaluación técnica XI</i>	38
Tabla 5. <i>Tabla de evaluación económica Y1</i>	39
Tabla 6. <i>Resumen de comparación de evaluaciones</i>	40
Tabla 7. <i>Resistencia de materiales</i>	65
Tabla 8. <i>Esfuerzos Permisibles</i>	65
Tabla 9. <i>Descripción de materiales usados</i>	80
Tabla 10. <i>Descripción de mano de obra</i>	81
Tabla 11. <i>Descripción de equipos y herramientas</i>	81
Tabla 12. <i>Resumen de costos</i>	88
Tabla 13. <i>Comparación de tiempos antes vs después de la implementación del transporte de liners</i>	91

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Anterior mecanismo de transporte de liners.	1
<i>Figura 2.</i> Molinos de bolas 01 y 02 Tintaya.....	2
<i>Figura 3.</i> Uso del anterior mecanismo de transporte de liners.	4
<i>Figura 4.</i> Mesa de polines comprada por Tintaya.	6
<i>Figura 5.</i> Módulo de camino de rodillos..	7
<i>Figura 6.</i> Montaje conjunto en carro transportador..	8
<i>Figura 7.</i> Disposición del elevador.....	9
<i>Figura 8.</i> Molino de bolas..	9
<i>Figura 9.</i> Molino de bolas 01 y 02 Tintaya.	10
<i>Figura 10.</i> Estaciones de polines de carga.....	15
<i>Figura 11.</i> Simulación con Solidworks..	20
<i>Figura 12.</i> Modelo subdividido en piezas pequeñas.....	20
<i>Figura 13.</i> Bolas de acero forjado como medio moledor..	21
<i>Figura 14.</i> Bolas de acero en el molino 02.....	21
<i>Figura 15.</i> Par de torsión..	22
<i>Figura 16.</i> Flexión pura.....	22
<i>Figura 17.</i> Liners metálicos.	23
<i>Figura 18.</i> Trommel.....	24
<i>Figura 19.</i> Interior de un molino de bolas.	26
<i>Figura 20.</i> Fases de diseño, una adaptación de la metodología VDI 2221.....	27
<i>Figura 21.</i> Árbol de funciones.....	30
<i>Figura 22.</i> Plan de desarrollo de actividades.....	32
<i>Figura 23.</i> Caja negra del sistema de transporte de liners.	33
<i>Figura 24.</i> Secuencia de funcionamiento del sistema de transporte de liners.	35
<i>Figura 25.</i> Comparativas de conceptos solución con el concepto solución ideal.....	40
<i>Figura 26.</i> Bosquejo del funcionamiento del sistema de transporte de liners.	41
<i>Figura 27.</i> Bosquejo del sistema de transporte de liners.	42
<i>Figura 28.</i> Trommel del molino 02.	43
<i>Figura 29.</i> Liners metálicos del molino 01 y 02.....	44
<i>Figura 30.</i> Cajón de descarga del molino de bolas 02 tintaya.	45
<i>Figura 31.</i> Diagramas del Angulo de 4x4x3/8in sometido a un peso de 341kg.....	46
<i>Figura 32.</i> Corte 1 del Angulo 4inx3/8in.	47
<i>Figura 33.</i> Corte 2 del Angulo 4inx3/8in.	47
<i>Figura 34.</i> Centro de gravedad del Angulo 4inx3/8in.	48
<i>Figura 35.</i> Momentos de inercia del Angulo 4inx3/8in.....	49

<i>Figura 36.</i> Estructura del primer Sistema propuesto a base de ángulos de 4inx3/8in.	51
<i>Figura 37.</i> Simulación de Angulo de 4x4x3/8in en Solidworks.....	52
<i>Figura 38.</i> Diagramas momento flector y corte de la viga W 6x15lb/pie modificado.	53
<i>Figura 39.</i> Corte 1 viga W 6x15 lb/pie modificado.....	54
<i>Figura 40.</i> Corte 2 viga W 6x15 lb/pie modificado.....	54
<i>Figura 41.</i> Centro de gravedad viga W 6x15lb/pie modificado.	55
<i>Figura 42.</i> Momentos de inercias de viga W6x15lb/pie modificado.....	56
<i>Figura 43.</i> Diagramas de corte y momento flector del polín de carga de 5in x45 cm.....	58
<i>Figura 44.</i> Corte 1 polín 5in	59
<i>Figura 45.</i> Sensibilidad a la muesca q.....	60
<i>Figura 46.</i> Factor de concentración de tensiones..	61
<i>Figura 47.</i> Longitudes de soldadura usada en la estructura principal del transporte de polines.	62
<i>Figura 48.</i> Área de garganta de soldadura.....	62
<i>Figura 49.</i> Propiedades Torsionales de las soldaduras de filete.....	63
<i>Figura 50.</i> Garganta de soldadura.....	63
<i>Figura 51.</i> Factor de seguridad de viga TEE 6x15 lb/pie simulado en solidworks de la estructura fabricada.....	67
<i>Figura 52.</i> Factor de seguridad del polín de carga de 5in x 45cm simulado en Solidworks. ...	68
<i>Figura 53.</i> Cordón de soldadura de 023in simulado en Solidworks.....	69
<i>Figura 54.</i> Longitudes de cordón de soldadura recomendadas por Solidworks.	69
<i>Figura 55.</i> Simulación – Factor de Seguridad de la Estructura del sistema.	70
<i>Figura 56.</i> Modelo final del sistema de transporte de liners.	71
<i>Figura 57.</i> Plano de Ensamble Explosión – Sistema de Transporte de Liners	72
<i>Figura 58.</i> Estructura de Transporte de Liners	73
<i>Figura 59.</i> Estructura del Sistema- Componentes del sistema de Transporte de Liners.	73
<i>Figura 60.</i> Estructura del Sistema- Guiadores de Liners.....	74
<i>Figura 61.</i> Guiadores de Liners.....	74
<i>Figura 62.</i> Estructura del Sistema- Soporte de transporte.	75
<i>Figura 63.</i> Soporte de Transporte.....	75
<i>Figura 64.</i> Estructura del Sistema- Complemento de soporte de transporte.	76
<i>Figura 65.</i> Complemento de Soporte de Transporte.....	76
<i>Figura 66.</i> Estructura del sistema - Polín de carga.....	77
<i>Figura 67.</i> Corte de orificios para polines.....	78
<i>Figura 68.</i> Posicionamiento de ejes de estructuras.....	78
<i>Figura 69.</i> Soldeo de orejas.....	78
<i>Figura 70.</i> Estructura de transporte Pintada.....	79

<i>Figura 71.</i> Soldeo de soporte de estructura.	79
<i>Figura 72.</i> Soporte de estructura y Transporte de Liners finalizados.	79
<i>Figura 73.</i> Transporte de polines en el 2do nivel de planta.	82
<i>Figura 74.</i> Soporte de estructura en el 2do nivel de concentradora.	83
<i>Figura 75.</i> Sistema de transporte Colocado en el molino.	84
<i>Figura 76.</i> Vista del sistema de transporte desde dentro del molino.	84
<i>Figura 77.</i> Funcionamiento del sistema de transporte de liners.	85
<i>Figura 78.</i> Alimentación de Liners del Shell.	85
<i>Figura 79.</i> Alimentación de Liners del Shell.	86
<i>Figura 80.</i> Sistema de transporte con liner metálico posicionado.	86
<i>Figura 81.</i> Sistema de transporte de liners en funcionamiento.	87
<i>Figura 82.</i> Plano de Ensamble – Sistema de Transporte de Liners.	88
<i>Figura 83.</i> Descripción del cambio de Liners de Shell y tapas molino de bolas 02.	90
<i>Figura 84.</i> Curva S de ejecución de cambio de Liners del molino de bolas 02.	91
<i>Figura 85.</i> Cuadro de eventos importantes de seguridad de la parada del molino 02.	92

RESUMEN

El propósito de la tesis es el de diseñar e implementar el sistema de transporte de liners para el cambio de revestimiento de los molinos de bolas 1 y 2 de planta tintaya.

Se realizó el diseño mediante el software SolidWorks. Este diseño es en base a los materiales disponibles en planta tintaya para no tener que comprar ninguno, se realizó el cálculo manual de cada componente de la estructura, así como de la soldadura y la simulación mediante el software SolidWorks, el cual valido los cálculos manuales. Se tuvo por resultado un factor de seguridad de 2.1 para el componente principal de la estructura, lo cual asegura que el sistema ideado si soportara la carga de 341 kg que es el peso del liner más pesado.

Se realizó la fabricación e implementación del sistema de transporte de liners durante la parada programada del molino 02 tintaya, brindando una reducción de 12 horas a lo programado inicialmente, a su vez siendo los molinos 01 y 02 idénticos en marca y modelo, así como en condiciones de trabajo el sistema de transporte de liners. También, se podrá implementar en el molino 01 sin ninguna modificación.

Se redujo a 0 las observaciones de seguridad por contacto con liners metálicos, esto debido a la implementación del sistema de transporte de liners que contaba con un mecanismo para evitar el contacto directo del personal con los liners metálicos.

Palabras clave: sistema de transporte, liners, molinos, factor de seguridad, simulación y observaciones de seguridad.

ABSTRACT

The main objective of this thesis work is to design and implement a liner transport system for the liner change of ball mills 1 and 2 of the tintaya plant.

The design was made using SolidWorks software, this design is based on the materials available in tintaya plant to avoid having to buy any, the manual calculation of each component of the structure as well as the welding and simulation using SolidWorks software which validated the manual calculations, the result was a safety factor of 2.1 for the main component of the structure, which assures us that the system devised will support the load of 341 kg which is the weight of the heaviest liner.

The manufacture and implementation of the liner transport system was carried out during the programmed shutdown of mill 02 tintaya, providing a reduction of 12 hours to the initially programmed, being mills 01 and 02 identical in make and model as well as in working conditions, the liner transport system could also be implemented in mill 01 without any modification.

The safety observations due to contact with metallic liners were reduced to 0, thanks to the implementation of the liner transport system, which had a mechanism to avoid direct contact of the personnel with the metallic liners.

Key words: conveying system, liners, mills, safety factor, simulation and safety observations.