

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño de un soporte carrilero para cambiar una polea
de 28 toneladas de una faja *overland* de 84" en la
Unidad Minera Las Bambas**

Jarvik Lapiz Chuquimbalqui

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2022

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.3.1. Justificación teórica.....	6
1.3.2. Justificación práctica.....	6
1.3.3. Justificación metodológica.....	7
1.3.4. Justificación social.....	7
1.3.5. Justificación Ambiental.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes del problema.....	9
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	11

2.2.	Bases teóricas.....	13
2.2.1.	Transportador de Cinta	13
2.2.2.	Polea.....	14
2.2.3.	Análisis de estructuras y cargas	15
2.2.4.	Columna sometida a una carga	23
2.2.5.	Clasificación de las columnas	28
2.2.6.	Deformación debido a la flexión pura en elementos simétricos.....	31
2.2.7.	Sujetadores roscados	35
2.2.8.	Uniones a cortante con carga excéntrica	35
2.2.9.	Símbolos de soldadura	41
2.2.10.	Tipos de soldaduras a tope y de filete	44
2.2.11.	Aplicaciones del proceso de soldadura - SMAW	47
2.2.12.	Criterio de máxima tensión de Von Mises	49
2.2.13.	Valores recomendables del factor de seguridad	49
2.2.14.	Software de diseño SolidWorks	50
2.3.	Definición de términos básicos	51
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		53
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	53
3.1.1.	Tipo de investigación	53
3.1.2.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	53
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN		59
4.1.	Estado del Arte.....	59
4.1.1.	Cambio de polea en Minera Antapaccay.....	59
4.1.2.	Cambio de polea en Minera Cerro Verde.....	60
4.1.3.	Cambio de polea tensora en Minera Codelco	61
4.2.	Identificación de requerimientos	62
4.2.1.	Lista de exigencias.....	62
4.2.2.	Estructura de funciones	64

4.2.3.	Secuencias de operaciones	65
4.2.4.	Determinar y representar la estructura de funciones (Caja Blanca)	66
4.3.	Análisis de la solución	66
4.3.1.	Matriz morfológica	66
4.3.2.	Análisis de los conceptos de solución	67
4.3.3.	Proyecto preliminar	70
4.3.4.	Concepto de la solución óptima	72
4.4.	Diseño.....	73
4.4.1.	Diseño del soporte móvil superior para trasladar entre 4 a 6 m la polea de 28 toneladas cuando se requiere el cambio	73
4.4.2.	Selección los patines o módulos de carga del soporte móvil superior para trasladar entre 4 a 6m la polea de 28 toneladas cuando se requiere el cambio	79
4.4.3.	Diseño de la estructura base el cual servirá como pista de rodamiento de los patines o módulos de carga para trasladar entre 4 a 6 m la polea de 28 toneladas cuando se requiere el cambio, cuyas estructuras estén unidas por pernos y uniones soldadas	81
4.4.4.	Análisis del soporte móvil carrilero como sistema.....	107
CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN		109
5.1.	Construcción.....	109
5.1.1.	Diagrama de análisis de proceso.....	109
5.1.2.	Proceso de construcción.....	110
5.2.	Pruebas y resultados	112
5.2.1.	Pruebas	112
5.2.2.	Resultados.....	114
5.3.	Presupuesto del soporte carrilero	118
5.3.1.	Costos de diseño del soporte carrilero	119
5.3.2.	Costos de adquisición de materiales para la fabricación del soporte carrilero.	119

5.3.3. Costos de elementos normalizados para la fabricación del soporte carrilero ..	120
5.3.4. Costos de elementos elaborados para la fabricación del soporte carrilero	121
CONCLUSIONES	124
TRABAJOS FUTUROS	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Faja Overland.....	2
Figura 2. Polea levantada por tecles para su instalación.....	4
Figura 3. Vista del izaje del helicóptero.....	10
Figura 4. Puentes grúa de 60 toneladas tipo birriel.....	12
Figura 5. Elementos básicos de una faja transportadora.....	13
Figura 6. Denominación de poleas según su ubicación.....	14
Figura 7. Partes de una polea.....	15
Figura 8. Puente colgante.....	16
Figura 9. Viga - columna.....	17
Figura 10. Armadura plana.....	17
Figura 11. Bloque sometido a esfuerzos cortantes.....	18
Figura 12. Vigas.....	18
Figura 13. Cargas vivas para puentes de carretera.....	20
Figura 14. El diagrama de cuerpo libre de la viga.....	21
Figura 15. Convención de viga.....	21
Figura 16. Cortante y el momento flector en una viga.....	22
Figura 17. Cargas básicas.....	23
Figura 18. Columna sometida a una carga crítica (P_{cr}).....	24
Figura 19. Valores de K según las condiciones de extremo de la columna.....	25
Figura 20. Radio de giro de una sección transversal esbelta.....	27
Figura 21. Curva de esfuerzo crítico para el acero estructural.....	31
Figura 22. Elemento prismático sometido a flexión pura.....	31
Figura 23. Esfuerzos normal y cortante.....	32
Figura 24. Elemento sometido a flexión.....	33
Figura 25. Elemento sometido a esfuerzos de corte.....	33
Figura 26. Esfuerzo normal en las direcciones circunferencial longitudinal.....	34
Figura 27. Perno hexagonal y tornillo.....	35
Figura 28. Centroide de pasadores, remaches o pernos.....	36
Figura 29. Cargas excéntricas de sujetadores.....	36
Figura 30. Simbología de soldadura.....	42
Figura 31. Tipo de soldadura.....	42
Figura 32. Soldadura en filete.....	43
Figura 33. Soldadura a tope o de ranura.....	43

Figura 34. Soldaduras especiales de ranura.	44
Figura 35. Unión a tope típica.	45
Figura 36. Soldadura en filete con cordones.	45
Figura 37. Análisis de la garganta de la soldadura.	46
Figura 38. Proceso de soldadura SMAW.	48
Figura 39. Partes de un electrodo revestido.	48
Figura 40. Caja negra.	56
Figura 41. Cambio de polea motriz.	60
Figura 42. Cambio de polea de volteo.	60
Figura 43. Maniobra para el retiro de la polea de volteo.	61
Figura 44. Cambio de polea tensora.	62
Figura 45. Representación de la Caja Negra, para el cambio de pole de 28 t.	64
Figura 46. Estructura de funciones.	66
Figura 47. Propuesta de solución A.	68
Figura 48. Propuesta de solución B.	69
Figura 49. Propuesta de solución C.	70
Figura 50. Gráfico de decisión del diseño conceptual.	72
Figura 51. Concepto de solución óptima.	73
Figura 52. Soporte móvil superior.	73
Figura 53. Diagrama de cuerpo libre de la polea de 28 toneladas.	74
Figura 54. Carga sometida de 98 kN.	75
Figura 55. Análisis de la parte cilíndrica del soporte móvil superior.	76
<i>Figura 56. Análisis de esfuerzo, tensión de Von Mises al aplicar una carga de 98 kN.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 57. Análisis del desplazamiento para una carga de 98 kN.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 58. Análisis del factor de seguridad en el componente columna.</i>	<i>79</i>
Figura 59. Ubicación de los 06 patines o módulos de carga.	80
Figura 60. Carga aplicada a los 06 tortugas o patines de carga.	80
Figura 61. Tortuga de carga fija de 8 toneladas.	81
Figura 62. Estructura base.	82
Figura 63. Estructura base en el cual se implementará la pista de rodamiento.	82
Figura 64. Diagrama de cuerpo libre de la estructura base.	83
Figura 65. Diagrama de cuerpo libre de la viga CD para la carga de 14 kN/m.	84
Figura 66. Fuerza cortante y momento flector sobre el componente viga.	85
Figura 67. Sección transversal de la viga.	86
Figura 68. Perfil rectangular para el cálculo del primer momento de área.	87

Figura 69. Simulación de esfuerzos sobre el componente viga a $W = 113.1 \text{ kN/m}$	89
Figura 70. Simulación de deformación sobre el componente viga a $W = 14 \text{ kN/m}$	90
Figura 71. Simulación de factor de seguridad sobre el componente viga a $W = 14 \text{ kN/m}$	90
Figura 72. Columnas del soporte base.	91
Figura 73. Columnas del soporte base.	92
Figura 74. Columna sometida a una carga sometida de 49 kN	92
Figura 75. Sección transversal de la columna.	93
Figura 76. Análisis de esfuerzo, tensión de Von Mises al aplicar carga de 49 kN	97
Figura 77. Análisis del desplazamiento del componente columna, carga de 49 kN	98
Figura 78. Análisis del factor de seguridad en el componente columna.	99
Figura 79. Análisis de la unión mediante pernos.	99
Figura 80. Radios desde el centroide de los pernos.	100
Figura 81. Representación de las fuerzas F_{4I} , F_{4II}	101
Figura 82. Análisis de las fuerzas en el perno 4.	102
Figura 83. Selección de la columna donde se realizó la soldada.	103
Figura 84. Identificación de las partes soldadas.	104
Figura 85. Análisis de la soldadura en filete.	105
Figura 86. Análisis de soporte como sistema.	107
Figura 87. Análisis del desplazamiento máximo de la estructura.	108
Figura 88. Análisis del factor de seguridad.	108
Figura 89. Trazo y corte de la plancha ASTM A36.	111
Figura 90. Soldeo de estructuras.	111
Figura 91. Entrega del soporte carrilero móvil para cambiar polea de 28 toneladas.	112
Figura 92. Etapas del cambio de polea de 28 toneladas con el soporte carrilero.	113
Figura 93: Revisión final del soporte carrilero.	113
Figura 94. Vista frontal de la base soporte.	114
Figura 95. Vista ampliada de los patines o módulos de carga.	115
Figura 96. Vista lateral del soporte estructural base.	116
Figura 97. Vista lateral del mecanismo de sujeción.	117
Figura 98. Vista de la unión soldada en la columna.	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Manpower de parada de planta método tradicional y el propuesto.	3
Tabla 2. Esfuerzos a la que está sometido la estructura metálica.	10
Tabla 3. Análisis de la estructura modelo definitivo.	11
Tabla 4. Características del puente grúa de 10 toneladas.	12
Tabla 5. Unidades de peso de materiales de construcción.	19
Tabla 6. Propiedades mecánicas del perno.	39
Tabla 7. Diámetros y áreas de roscas métricas.	40
Tabla 8. Roscas unificadas de tornillo UNC y UNF.	41
Tabla 9. Propiedades mínimas del metal de aporte.	47
Tabla 10. Lista de exigencias.	55
Tabla 11. Programación para el desarrollo del proyecto.	55
Tabla 12. Matriz morfológica.	57
Tabla 13. Lista de exigencias, apuntes de diseño de máquinas.	63
Tabla 14. Matriz morfológica.	67
Tabla 15. Análisis técnico (Xi) de los conceptos de solución.	71
Tabla 16. Análisis económico de los conceptos de solución.	71
Tabla 17. Propiedades típicas de materiales.	75
Tabla 18. Diseño de pernos.	103
Tabla 19. Tamaño mínimo de soldadura en filete.	106
Tabla 20. Análisis económico de los conceptos de solución.	110
Tabla 21. Control de medidas del soporte móvil.	114
Tabla 22. Control de medidas del soporte base.	115
Tabla 23. Control de medidas del soporte base.	116
Tabla 24. Control de medidas del mecanismo de sujeción.	117
Tabla 25. Control de medidas de la unión soldada.	118
Tabla 26. Costo de adquisición de materiales.	120
Tabla 27. Costos de elementos normalizados.	121
Tabla 28. Costos de máquinas y herramientas.	121
Tabla 29. Costos de elementos elaborados.	122
Tabla 30. Costo del proyecto.	122
Tabla 31. Costo final del soporte carrilero.	123

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se tuvo como objetivo principal el diseño de un soporte carrilero para cambiar una polea de 28 toneladas de una faja Overland de 84" en la Unidad Minera Las Bambas. El cambio de polea, por la magnitud que se tiene, se requiere realizar de manera que facilite el trabajo al personal durante los mantenimientos, debido a esto se propone otro método para realizar el cambio de la polea de 28 toneladas de una faja Overland de 84" usando un soporte carrilero. Se desarrolló el diseño conceptual tomando como referencia la metodología VDI 2221; el análisis teórico de los cálculos de diseño se realizó de acuerdo a la teoría de mecánica de materiales, llegándose a corroborar mediante la simulación con software de diseño mecánico, posteriormente se realizó el diseño preliminar, luego se continuó con la etapa del diseño de los componentes que conformaron el soporte carrilero para cambiar una polea de 28 toneladas de una faja Overland de 84". Finalmente, se obtuvo como resultado el soporte carrilero para cambiar una polea de 28 toneladas de una faja Overland de 84", cuyas estructuras son de acero ASTM A36, donde la carga, analizada como sistema mediante el software de diseño mecánico, genera un esfuerzo máximo de 113.44 MPa, lo cual es inferior al máximo permisible para el acero ASTM A36 de 250 MPa, obteniéndose un factor de seguridad por encima de 2 con lo cual se pone a prueba logrando resultados satisfactorios.

Palabras clave: soporte carrilero, polea de 28 toneladas, faja de Overland, cambio de polea, montaje.

ABSTRACT

The main objective of this research work was the design of a rail support to change a 28-ton pulley from an 84" Overland belt in the Las Bambas Mining Unit. The change of pulley, due to its magnitude, is required to be carried out in a way that facilitates the work of the personnel during maintenance, due to this another method is proposed to change the 28-ton pulley of an Overland belt of 84" using a rail support. The conceptual design was developed taking as reference the VDI 2221 methodology; the theoretical analysis of the design calculations was carried out according to the theory of mechanics of materials, corroborating through simulation with mechanical design software, then the preliminary design was carried out, then the design stage of the components continued. that formed the rail support to change a 28-ton pulley of an 84" Overland belt. Finally, the rail support was obtained as a result to change a 28-ton pulley of an 84" Overland belt, whose structures are made of ASTM A36 steel, where the load, analyzed as a system through the mechanical design software, generates a maximum effort of 113.44 MPa, which is less than the maximum permissible for ASTM A36 steel of 250 MPa, obtaining a safety factor above 2 with which it is tested, achieving satisfactory results.

Keywords: rail support, 28-ton pulley, Overland belt, pulley change, assembly.