

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

Diseño de cabezal hidráulico de 7 toneladas para sistema de lanceo en equipo apron feeder de 1500 tph para compañía minera de zona sur del Perú

Juan Eduardo Ccancce Cocchi
Wilberth Paricahua Pari

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Mg. Gerald Rolando Rosales Valdeiglesias
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 18 de Junio de 2025

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

Título:

DISEÑO DE CABEZAL HIDRAULICO DE 7 TONELADAS PARA SISTEMA DE LANCEO EN EQUIPO
APRON FEEDER DE 1500 TPH PARA COMPAÑÍA MINERA DE ZONA SUR DEL PERÚ

Autores:

1. Juan Eduardo Ccancce Cocchi – EAP. Ingeniería Mecánica
2. Wilberth Paricahua Pari – 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 20 % 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
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI ☐ NO ☒
- 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

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	3
1.1.1 Problema general	3
1.1.2 Problemas específicos	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Justificación e importancia.....	4
1.4 Delimitación del proyecto	6
1.5 Normas aplicadas	6
1.5.1 Software o programas.	7
1.5.2 Abreviaturas.	7
1.6 RESUMEN DE CAPITULO.	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Diseño mecánico	9
2.2.2 Equipo Apron Feeder	11
2.2.3 Diseño de cabezal hidráulico	13
2.2.4 Resistencia de materiales.	14
2.2.5 Propiedades de materiales dúctiles	14
2.2.6 Esfuerzos simples.....	16

2.2.7	Esfuerzos bajo cargas combinadas.....	19
2.2.8	Concentración de Esfuerzo	22
2.2.9	Falla por fatiga bajo cargas variables.....	22
2.2.10	Factores que alteran la resistencia limite a la fatiga.....	23
2.2.11	Cálculo de elementos de sujeción	26
2.2.12	Principios de hidráulica.....	32
2.2.13	Actuador hidráulico	33
2.2.14	Mantenimiento	35
2.2.15	Estándares de seguridad.....	40
2.2.16	Normativa VDI 2221	45
2.2.17	Normativa VDI 2225	47
2.3	Definición de términos básicos.....	48
2.4	Resumen de capítulo	48
CAPÍTULO III.....		49
METODOLOGÍA		49
3.1	Metodología, tipo o alcance de la investigación	49
3.1.1	Método de investigación	49
3.1.2	Tipo de investigación	49
3.1.3	Alcance de investigación	50
3.1.4	Diseño metodológico de la investigación	50
3.2	Materiales y métodos	51
3.2.1	Estado del arte.....	52
3.2.2	Lista de exigencias, detallar o aclarar	57
3.2.3	Proceso de abstracción: caja negra.....	58
3.2.4	Estructura de funciones: caja gris	60
3.2.5	Generación de alternativas o conceptos de solución.....	60
3.2.6	Peso relativo de los criterios técnico-económicos (g).....	65
3.2.7	Puntajes técnico-económicos para los criterios (p).....	65
3.2.8	Criterios técnicos	65
3.2.9	Criterios económicos	67
3.2.10	Detalle de solución óptima.....	69
3.2.11	Diseño y cálculos	69
3.3	Resumen de capítulo	102
CAPÍTULO IV		103
COSTOS Y PRESUPUESTOS.....		103
4.1	Costos de fabricación.....	103

4.1.1	Mano de Obra	103
4.1.2	Partidas iniciales	104
4.1.3	Análisis de precios unitarios fabricación de bloque bastidor	106
4.1.4	Análisis de precios unitarios fabricación de ménsula, pin y base	107
4.1.5	Análisis de precios unitarios fabricación de resorte	108
4.2	Resumen del presupuesto y costo total	109
4.3	Resumen de capítulo	110
CAPÍTULO V		111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		111
5.1	Conclusiones	111
5.2	Recomendaciones	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		114
PLANOS		117
ANEXOS		129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Factores de seguridad en equipos varios.	21
Tabla 2.	Factor a y b.....	24
Tabla 3.	Efecto de la temperatura en la resistencia del acero.	25
Tabla 4.	Factores de confiabilidad.	26
Tabla 5.	Propiedades mínimas del metal de aporte.....	27
Tabla 6.	Propiedades torsionales en soldadura de filete.....	29
Tabla 7.	Propiedades a flexión de soldadura de filete.....	31
Tabla 8.	Lista de exigencias.	57
Tabla 9.	Criterios técnicos.	66
Tabla 10.	Criterios técnicos de selección.....	66
Tabla 11.	Criterios técnicos de selección.....	67
Tabla 12.	Criterios económicos.	68
Tabla 13.	Factores de seguridad bajo cargas estáticas y de impacto.....	73
Tabla 14.	Características principales de materiales.	74
Tabla 15.	Factor a por acabado superficial.	90
Tabla 16.	Factor de Temperatura Kd.	91
Tabla 17.	Factor de confiabilidad Ke.....	92
Tabla 18.	Costos de mano de obra de fabricación.	103
Tabla 19.	Partida de movilización de equipos herramientas y personal.	104
Tabla 20.	Partida de seguridad.....	104
Tabla 21.	Componentes del cabezal hidráulico.....	105
Tabla 22.	Partida de fabricación de bloque bastidor.	106
Tabla 23.	Partida fabricación de ménsula, acople, base, pin.....	107
Tabla 24.	Partida fabricación de resorte.....	108
Tabla 25.	Costo total del proyecto.	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cabezal hidráulico para lanceo.	2
Figura 2.	Compuerta de accionamiento hidráulico.....	8
Figura 3.	Apron Feeder..	9
Figura 4.	Brazo robótico articulado.....	9
Figura 5.	Fases de diseño que reconocen varios retroalimentaciones e iteraciones.	10
Figura 6.	Funcionamiento de un Apron Feeder.....	12
Figura 7.	Partes Principales del alimentador de Placas..	12
Figura 8.	Prensa hidráulica.....	13
Figura 9.	Deformación Unitaria.	16
Figura 10.	Esfuerzo Axial Puro.....	17
Figura 11.	Esfuerzo Cortante Puro.....	17
Figura 12.	Viga recta sometida a flexión.....	18
Figura 13.	Esfuerzo por momento torsor.....	19
Figura 14.	Esfuerzos tridimensionales y planos.	20
Figura 15.	Concentración de esfuerzo en placa con agujero.	22
Figura 16.	Tipos soldadura a tope o de ranura.	27
Figura 17.	Tipos de soldaduras especiales de ranura.....	28
Figura 18.	Cordones de cálculo a torsión.	30
Figura 19.	Voladizo sometido a momento Flector.	30
Figura 20.	Sistema hidráulico para prensa.	32
Figura 21.	Actuador de efecto simple.....	33
Figura 22.	Cilindro de simple efecto.	33
Figura 23.	Actuador de varias etapas.	34
Figura 24.	Diagrama de flujo simple en Mantenimiento Correctivo.....	36
Figura 25.	Flujo de trabajo del mantenimiento preventivo.	38
Figura 26.	Categorías del mantenimiento preventivo.....	38
Figura 27.	Selección de modelo de mantenimiento en función de la criticidad.	39

Figura 28.	Análisis de criticidad.....	39
Figura 29.	Gerencia de Supervisión Minera del Osinergmin	41
Figura 30.	Maquina simple de hacer café.....	43
Figura 31.	Normas de seguridad industrial.....	44
Figura 32.	Ejemplo de señalización de seguridad	44
Figura 33.	Símbolo de equipo a alta presión.	45
Figura 34.	Prensa para sistema de lanceo.	52
Figura 35.	Equipo Apron Feeder Metso..	53
Figura 36.	Brazo hidráulico automatizado.	54
Figura 37.	Zonas de falla a fatiga..	55
Figura 38.	Concentración de esfuerzo.	56
Figura 39.	Plan de actividad del proyecto.	58
Figura 40.	Caja negra.	58
Figura 41.	Estructura de funciones caja gris.	60
Figura 42.	Matriz morfológica.	63
Figura 43.	Concepto de solución 1	63
Figura 44.	Concepto de solución 2.	64
Figura 45.	Concepto de solución 3.	65
Figura 46.	Solución óptima ponderada.....	68
Figura 47.	Bosquejo de cabezal.....	69
Figura 48.	DCL conjunto plano ZX.	70
Figura 49.	DCL Conjunto plano YX.	70
Figura 50.	DCL de la ménsula.....	76
Figura 51.	Esfuerzo en la ménsula.	76
Figura 52.	DCL del pin.....	77
Figura 53.	Esfuerzo cortante en pin.....	78
Figura 54.	Esfuerzo de Von Mises en Pin.	78
Figura 55.	DCL acople de pistón.....	79
Figura 56.	Esfuerzo axial de acople de pistón.	80

Figura 57.	Esfuerzo de Von Mises acople de pistón0	80
Figura 58.	Factor de seguridad.	81
Figura 59.	DCL acople de base de ménsula.	82
Figura 60.	Esfuerzo Axial Promedio en base de ménsula.	82
Figura 61.	Esfuerzo de Von Mises en base de ménsula.	83
Figura 62.	Deformación en base de ménsula.....	83
Figura 63.	Factor de seguridad.	84
Figura 64.	DCL del Bloque de bastidor.....	85
Figura 65.	Esfuerzo axial en bloque del bastidor.	85
Figura 66.	Esfuerzo de Von Mises en bloque bastidor.....	86
Figura 67.	Desplazamiento en bloque de bastidor.....	86
Figura 68.	Factor de seguridad en bloque bastidor.....	87
Figura 69.	DCL unión empernada.	87
Figura 70.	DCL unión soldada.	88
Figura 71.	Fracción de resistencia a la fatiga.	94
Figura 72.	Números de ciclo de carga vs esfuerzo para acero AISI 1045.....	97
Figura 73.	Fatiga bajo cargas de impacto.	97
Figura 74.	Redimensionamiento de resorte de compresión.....	98
Figura 75.	Esfuerzo cortante de diseño para alambres.	99
Figura 76.	Cargas y longitudes en resortes de compresión.	99
Figura 77.	Pandeo en resortes a compresión..	102

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar un cabezal hidráulico para el sistema de lanceo de un Apron Feeder, primero se evaluó las cargas a las que estará sometido el cabezal hidráulico, empleando para ello la información en planos del pistón telescópico de 4 etapas encargado de suministrar la fuerza. Posteriormente, se evaluará un modelo apto según la metodología VDI 2221 que optimice el proceso de diseño.

Se creará un modelo CAD en base a la metodología VDI 2221 para ser analizado y evaluar diferentes materiales como acero de bajo carbono A36 y aceros de máquina y herramientas como el AISI 1045, al tener el modelo creado y los materiales se procede a realizar el estudio, priorizando la optimización para todo el proceso de diseño. Para el proceso de estudio por elementos finitos se utilizará el software Simsolid, una potente herramienta FEM capaz de ofrecer resultados muy realista sin la necesidad de modificar la malla o preocuparse como diseñador de tener una convergencia de malla, sus algoritmos avanzados y el enfoque de volúmenes finitos permiten realizar iteraciones y múltiples pruebas, confiando siempre en los resultados, ya que estos fueron comparados con ecuaciones analíticas de concentración de esfuerzo, especialmente cuando se tiene una plancha con agujero sometida a esfuerzo uniaxial, teniendo errores entre los cálculos analíticos y por software de 6.2%.

Finalmente, se ideó un sistema de acople y desacople semiautomático mediante resortes y un gatillo, que se encargara de accionarlos, estos detalles se mostraran en los planos. Asimismo, se determinó los costos, teniendo como precio final del proyecto antes de impuestos un precio de 2035.91 soles.

Palabras clave: cabezal hidráulico, sistema de lanceo, Apron Feeder.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design a hydraulic head for the lancing system of an Apron Feeder. The loads to which the hydraulic head will be subjected were first evaluated, using information from the drawings of the four-stage telescopic piston responsible for supplying the force. Subsequently, a suitable model will be evaluated according to the VDI 2221 methodology to optimize the design process.

A CAD model will be created based on the VDI 2221 methodology for analysis and evaluation of different materials such as A36 low-carbon steel and machine and tool steels such as AISI 1045. Once the model and materials are created, the study will proceed, prioritizing optimization throughout the design process. For the finite element analysis, Simsolid software was used. This powerful FEM tool is capable of delivering highly realistic results without the need to modify the mesh or worry about mesh convergence as a designer. Its advanced algorithms and finite volume approach allow for iterations and multiple tests, always ensuring confidence in the results, as they were compared with analytical stress concentration equations, especially when the plate with a hole is subjected to uniaxial stress. Errors between the analytical and software calculations were 6.2%.

Finally, a semi-automatic coupling and decoupling system was designed using springs and a trigger to activate them. These details will be shown in the drawings. Costs were also determined, resulting in a final project price before taxes of 2,035.91 soles.

Keywords: hydraulic head, lancing system, Apron Feeder.