

Tabla de Contenido

Introducción	1
1. Estado del arte	4
1.1. Contexto general del proyecto	4
1.1.1. Situación minería actual	4
1.1.2. Procesos mineros	4
1.2. Wheel dozer	6
1.2.1. Modelos de wheel dozer	7
1.3. Cargador frontal de ruedas	8
1.3.1. Modelos de cargadores frontales de ruedas	9
1.4. Tren de potencia	9
1.4.1. Motor	11
1.4.2. Transmisión	11
1.4.3. Conjuntos ejes completos	11
1.5. Procedimientos actuales	14
1.5.1. Procedimiento cambio conjunto eje oscilante trasero	15
1.5.2. Procedimiento cambio conjunto diferencial trasero	15
1.6. Dimensiones relevantes	17
1.6.1. Wheel dozer CAT 854K	18
1.6.2. Cargador frontal CAT 992K	18
1.6.3. Conjunto eje oscilante trasero completo	20
1.7. Antecedentes mesa de levante	21
2. Marco teórico	25
2.1. Esfuerzos	25
2.1.1. Esfuerzo plano	25
2.1.2. Esfuerzos uniformemente distribuidos	26
2.1.3. Flexión	26
2.1.4. Torsión	27
2.2. Pandeo: elementos esbeltos en compresión	28
2.2.1. Clasificación de la columna	28
2.2.2. Columnas de longitud intermedia con carga centrada	30
2.2.3. Puntuales o elementos cortos sometidos a compresión	31
2.3. Falla por cargas estáticas	32
2.3.1. Esfuerzo generalizado de von Mises	33
2.4. Falla por carga dinámica: fatiga	34

2.4.1.	Límite de resistencia a la fatiga	34
2.4.2.	Factores de Marín	35
2.4.3.	Criterio de falla por fatiga ante esfuerzos variables	37
2.4.4.	Resistencia a la fatiga por torsión bajo esfuerzos fluctuantes	38
2.4.5.	Combinaciones de modos de carga	38
2.5.	Ejes	39
2.5.1.	Esfuerzos en ejes	39
2.5.2.	Chavetas	41
2.6.	Uniones no permanentes	42
2.6.1.	Rigideces	42
2.6.2.	Uniones a tensión	43
2.6.3.	Uniones cargadas en cortante	45
2.7.	Rodamientos y polines	47
2.7.1.	Rodamiento de bolas	47
2.7.2.	Polines (seguidor de rodillos)	50
2.8.	Engranajes rectos	51
2.8.1.	Flexión	52
2.8.2.	Contacto	54
2.8.3.	Interferencia engranajes	55
2.8.4.	Factores	56
2.8.5.	Esfuerzos admisibles según material	63
2.9.	Coefficiente de roce por rodadura	64
3.	Diseño conceptual	66
3.1.	Funcionalidad de operación	66
3.2.	Definición del problema	67
3.3.	Atributos de la solución	68
3.3.1.	Objetivos	68
3.3.2.	Restricciones	69
3.3.3.	Funciones	69
3.3.4.	Categorización de objetivos	69
4.	Diseño de configuración	72
4.1.	Arquitectura del diseño	72
4.1.1.	Tipo de arquitectura	72
4.1.2.	Definición de arquitectura	73
4.2.	Configuración del diseño	79
4.2.1.	Módulo de soporte: componentes comerciales	79
4.2.2.	Módulo de soporte: componentes especializados	82
4.2.3.	Módulo de fijación: componentes comerciales	90
4.2.4.	Módulo de fijación: componentes especializados	94
4.2.5.	Módulo de rotación: componentes comerciales	95
4.2.6.	Módulo de rotación: componentes especializados	96
5.	Diseño de detalle	101
5.1.	Análisis criticidad componentes	102
5.2.	Definición de componentes: Sistema de giro	102

5.2.1.	Abrazadera motriz (corona conducida)	102
5.2.2.	Sistema engranajes conducidos	109
5.2.3.	Sistema engranajes motrices	114
5.2.4.	Chavetas	118
5.2.5.	Eje potencia	120
5.2.6.	Rodamientos	130
5.2.7.	Motor eléctrico STEP	131
5.3.	Definición de componentes: Sistema de fijación	132
5.3.1.	Pasadores abrazaderas	132
5.3.2.	Pernos: eje polines verticales	136
5.3.3.	Pernos: soporte rodamientos	139
5.3.4.	Pernos: placa soporte	143
5.3.5.	Pernos: base aditamento	147
5.4.	Definición de componentes: Sistema de soporte	148
5.4.1.	Polines verticales	148
5.4.2.	Eje polines verticales	150
5.4.3.	Polines horizontales	154
5.4.4.	Mesa de soporte	156
5.5.	Análisis estabilidad	160
6.	Validación por método de elementos finitos	164
6.1.	Metodología empleada	164
6.2.	Abrazadera motriz	165
6.2.1.	Estado de cargas y restricciones	166
6.2.2.	Mallado	167
6.2.3.	Resultados	167
6.3.	Abrazadera conducida	168
6.3.1.	Estado de cargas y restricciones	168
6.3.2.	Mallado	169
6.3.3.	Resultados	170
6.4.	Soporte abrazadera motriz	171
6.4.1.	Estado de cargas y restricciones	171
6.4.2.	Mallado	172
6.4.3.	Resultados	173
6.5.	Soporte abrazadera conducida	173
6.5.1.	Estado de cargas y restricciones	174
6.5.2.	Mallado	175
6.5.3.	Resultados	176
6.6.	Eje polines verticales	177
6.6.1.	Ejes polines abrazadera motriz	177
6.6.2.	Estado de cargas y restricciones	177
6.6.3.	Mallado	177
6.6.4.	Resultados	178
6.6.5.	Ejes polines abrazadera conducida	179
6.6.6.	Estado de cargas y restricciones	179
6.6.7.	Mallado	179
6.6.8.	Resultados	180

6.6.9. Eje polín inferior abrazadera conducida	181
6.6.10. Estado de cargas y restricciones	181
6.6.11. Mallado	182
6.6.12. Resultados	182
6.7. Pasador abrazaderas	183
6.7.1. Estado de cargas y restricciones	183
6.7.2. Mallado	184
6.7.3. Resultados	184
6.8. Eje de potencia	185
6.8.1. Estado de cargas y restricciones	186
6.8.2. Mallado	186
6.8.3. Resultados	187
6.9. Placas de soporte	188
6.9.1. Estado de cargas y restricciones	188
6.9.2. Mallado	189
6.9.3. Resultados	190
6.10. Mesa de soporte	191
6.10.1. Estado de cargas y restricciones	192
6.10.2. Mallado	193
6.10.3. Resultados	194
6.11. Soporte motor	195
6.11.1. Estado de cargas y restricciones	195
6.11.2. Mallado	195
6.11.3. Resultados	196
Conclusión	197
Bibliografía	200
Anexos	202
A. Tablas útiles	203
B. Memoria de cálculo	212
B.1. Cálculo capacidad de carga máxima mesa hidráulica	212
B.2. Resultados análisis interferencia en sistemas de engranajes rectos	215
B.3. Factores para el cálculo de engranajes rectos	216
B.3.1. Factor de sobrecarga	216
B.3.2. Factor dinámico	216
B.3.3. Factor distribución de carga	217
B.3.4. Factor espesor de aro	218
B.3.5. Factor geométrico para flexión	218
B.3.6. Factor geométrico resistencia superficial	218
B.3.7. Factores de ciclos de esfuerzos	219
B.3.8. Factor de confiabilidad	219
B.3.9. Coeficiente elástico	220
B.3.10. Factor relación de dureza	220
B.4. Factores de Marín para el cálculo del eje de potencia	221

B.4.1. Factor de superficie	221
B.4.2. Factor de tamaño	221
B.4.3. Factor de carga	221
B.4.4. Factor de temperatura	221
B.4.5. Factor de confiabilidad	222
B.4.6. Factor de efectos varios	222
C. Catálogos comerciales	223
C.1. COPROMET: Perfiles de acero laminado	223
C.1.1. Perfil UPE para mesa soporte	223
C.1.2. Perfil HEB para mesa soporte	224
C.2. NTN SNR: Rodamientos series UKFL	225
C.2.1. Rodamientos eje de potencia	225
C.3. THK: Seguidores de levas	225
C.3.1. Polines horizontales	225
C.4. IKO: Seguidores de rodillos	226
C.4.1. Polines verticales	226
C.5. Dimensiones grúa horquilla	226
C.6. Ficha técnica motor STEP	227
D. Resultados adicionales validación por método de elementos finitos	228