

Índice

1	Introducción	1
1.1	Introducción general	1
1.1.1	Contexto	2
1.1.2	Problemática	3
1.2	Estado del Arte	4
1.2.1	Camión Komatsu I.A.H.V	4
1.2.2	Camiones Komatsu	9
1.2.3	Excavadora LIEBHERR R984C	11
1.2.4	Vehículos a escala	13
1.3	Objetivos	22
1.3.1	Objetivo general	22
1.3.2	Objetivos específicos	22
1.4	Alcances y limitaciones	23
1.4.1	Alcances	23
1.4.2	Limitaciones	23
1.5	Metodología	24
1.5.1	Etapa 1: Análisis estado del arte	24
1.5.2	Etapa 2: Ingeniería de detalle	24
1.5.3	Etapa 3: Etapa constructiva	24
1.5.4	Etapa 4: Pruebas y resultados	24
2	Marco teórico	25
2.1	Condiciones de equilibrio	25
2.2	Estimación de masas	26
2.3	Estimación de fuerzas peso	27
2.4	Tipos de mecanismos de dirección	28
2.5	Mecanismos para levante de tolva	30
2.5.1	Teoría de tornillo de potencia	32
2.6	Materiales de impresión 3D	34
2.6.1	ABS	34
2.6.2	TPU	34
2.7	Método de validación de diseño	36
2.7.1	Criterio de validación	37
2.8	Selección de elementos motrices y mecánicos	38
2.8.1	Motores DC Gearmotor 37Dx70L y 25Dx52L	39
3	Desarrollo	43
3.1	Escala y dimensiones de trabajo	43
3.2	Proceso de Diseño	46
3.2.1	Diseño Tolva	46
3.2.2	Ruedas	48
3.2.3	Mecanismo elevación tolva	49
3.3	Memoria de Cálculo	53
3.3.1	Análisis estático elementos de desplazamiento del vehículo	53

3.3.2	Análisis estático mecanismo de levantamiento Tolva	57
3.4	Proceso de Validación	69
3.4.1	Consideraciones previas	69
3.4.2	Soporte de unión chasis-tolva	70
3.5	Proceso de Construcción	73
3.5.1	Impresión 3D	73
3.5.2	Mecanizado C.N.C	76
3.5.3	Torneado	79
3.5.4	Ensamblado	81
3.6	Pruebas y Resultados	82
3.6.1	Trabajo previo	82
3.6.2	Pruebas y resultados	83
4	Conclusión	87
4.1	Generales	87
4.2	Específicas	88
5	Anexos	92
5.1	Optimización de diseño	92
5.2	Corroboración pesaje del proyecto.	94
5.3	Código Microcontrolador	95
5.4	Esquemático circuito de control	101
5.5	Repositorio	101
5.6	Planos para piezas mecanizadas	102
5.7	Impresiones 3D	107

Índice de figuras

1.1.1.1	Construcción iniciado el 2016 de instalaciones para proyecto "Mini-Mina".	2
1.1.2.1	Camión Komatsu I.A.H.V, modelo guía del proyecto CAEX.	3
1.2.1.1	Vistas 3D Komatsu I.A.H.V extraídas de Hum3D.	4
1.2.1.2	Vista 3D en detalle de Komatsu I.A.H.V.	5
1.2.1.3	Neumatico Titan, empleado por el camión.	7
1.2.1.4	Esquema sistema 4RD	8
1.2.2.1	Camión eléctrico Komatsu 930E-4Se [1].	9
1.2.2.2	Camión de volteo Komatsu HD1500-8 [2]	10
1.2.3.1	Proyecto Pala, desarrollado por FABLAB.	12
1.2.3.2	Excavadora Liebherr, base para proyecto Pala [3].	12
1.2.4.1	Vehículos a escala en el mercado [4].	13
1.2.4.2	Vehículos a escala 1 : 2,5 cargador y camión.	14
1.2.4.3	Proceso minero de oro a escala.	15
1.2.4.4	Prueba aerodinámica de vehículo GM [5].	15
1.2.4.5	Empleo de motores DC en vehículos a escala.	16
1.2.4.6	Emisor-receptor de radio control.	17
1.2.4.7	Mecanismo interno Huina 593 1:14 RC.	18
1.2.4.8	Distintos tipos de baterías.	18
1.2.4.9	Disposición en vehículo de baterías.	19
1.2.4.10	Elementos hidráulicos.	20
1.2.4.11	Motor Kohler V-twins 800cc	20
1.2.4.12	Limitadores internos Huina 1593 1:14.	21
1.2.4.13	Tipos de finales de carrera.	21
2.4.0.1	Estructura de vehículos 4WD.	29
2.4.0.2	Distintos tipos de motor y ruedas para el mecanismo.	29
2.4.0.3	Giro 360 ^o , diferencial de giro.	29
2.5.0.1	Acciones carga-descarga.	30
2.5.0.2	Mecanismos convertidores rotación - movmimiento lineal.	31
2.5.0.3	Tornillos de potencia en proyecto "Pala".	32
2.5.1.1	Parámetros del hilo	33
2.6.2.1	Stratasys F170 (izquierda), Ultimaker 3 (derecha)	35
2.7.0.1	Ejemplo de FEA a biela.	36
2.7.0.2	Entorno de FEA de Inventor.	37
2.8.0.1	Volteo de material.	38
2.8.0.2	Empleo de motores DC en mecanismos "pala".	39
2.8.1.1	Archivo 3D motor traslación.	40
2.8.1.2	Caja engranajes internos de motores.	40
2.8.1.3	Motor DC gearmotor 37x70L.	41
2.8.1.4	Características Motor DC 37x70L.	41
2.8.1.5	Curva característica Motor DC 37x70L.	41
2.8.1.6	Motor DC 25Dx52L.	42
2.8.1.7	Características Motor DC 25Dx52L.	42
2.8.1.8	Curva característica Motor DC 25Dx52L.	42
3.1.0.1	Comparativa escala pala con ancho caminos mina.	43

3.1.0.2	Incompatibilidad de usar mismas escala de proyecto "pala".	44
3.1.0.3	Escala 1 : 39 comparativa CAEX con 3D Pala	45
3.2.1.1	Imagen guía diseño tolva.	46
3.2.1.2	Sobrepaso volumen de impresión Stratasys F170 (izquierda).	47
3.2.1.3	División y método de ensamble de tolva.	48
3.2.1.4	Tolva en el conjunto camión.	48
3.2.2.1	Primer diseño rueda (izquierda), simulación fabricación (derecha).	49
3.2.2.2	Alternativa final de diseño para ruedas.	49
3.2.3.1	Alternativa inicial(izquierda) y final (derecha) de diseño para mecanismo tolva.	50
3.2.3.2	Explosión de mecanismos para elevar tolva.	50
3.2.3.3	Componentes mecanismo elevación tolva.	51
3.2.3.4	Render de mecanismo, según materiales a fabricar.	51
3.2.3.5	Render de diseño total CAEX.	52
3.3.1.1	D.C.L del sistema (Rueda).	53
3.3.2.1	D.C.L Mecanismo para elevar tolva	58
3.3.2.2	Dato de volumen tolva.	59
3.3.2.3	Pesaje experimental, perno de ensamble	60
3.3.2.4	Cubo de proyecto "pala".	62
3.3.2.5	Reacciones en punto A del D.C.L.	63
3.4.1.1	Soporte chasis - tolva.	69
3.4.2.1	Restricciones soporte chasis - tolva.	70
3.4.2.2	Asignación de material.	71
3.4.2.3	Asignación de fuerzas.	71
3.4.2.4	Resultado simulación FEA.	72
3.5.1.1	Archivo S.T.L para impresion	73
3.5.1.2	Entorno de Impresión Ultimaker 3	74
3.5.1.3	Entorno de Impresión Stratasys F170	74
3.5.1.4	Resultado impresión Neumático en Ultimaker 3	75
3.5.1.5	Resultado impresión llanta en Stratasys F170	75
3.5.1.6	Prueba de holgura para encaje.	76
3.5.2.1	C.N.C Roland MDX50	76
3.5.2.2	Estructura de soporte para piezas mecanizadas.	77
3.5.2.3	Entorno de programa SRP Player.	78
3.5.2.4	Resultado de proceso de mecanizado.	78
3.5.2.5	Ensamble de prueba.	79
3.5.3.1	Torno taller de Ing. Civil Mecánica.	79
3.5.3.2	Piezas mecanizadas en torno.	80
3.5.3.3	Planos empleados en proceso torneado.	80
3.5.4.1	Perno cocina 1/8 (izquierda), M3x05(derecha).	81
3.5.4.2	Ensamble de tolva mediante el uso de pernos.	81
3.6.1.1	Esquemático del circuito de control.	82
3.6.1.2	Placa física de control(izquierda), App desarrollada (derecha)..	83
3.6.2.1	Emulación de trayectoria que debe realizar.	84
3.6.2.2	Simulación de movimientos ascenso y descenso tolva.	84
3.6.2.3	Variables asociadas a señales PWM.	85

3.6.2.4	Modelo real construido.	86
5.1.0.1	Optimización de pieza soporte.	92
5.1.0.2	Diseño optimizado.	93
5.1.0.3	Elección de partes a mantener.	93
5.2.0.1	Proceso de pesaje prototipo final.	94
5.4.0.1	Circuito esquemático de control CAEX.	101
5.6.0.1	Plano 1	102
5.6.0.2	Plano 2	103
5.6.0.3	Plano 3	104
5.6.0.4	Plano 4	105
5.6.0.5	Plano 5	106
5.7.0.1	Comienzo de impresión neumáticos.	107
5.7.0.2	Comienzo de impresión neumáticos.	108
5.7.0.3	Avance de impresión neumáticos.	109
5.7.0.4	Llanta.	109
5.7.0.5	Ensamble de prueba llantas.	110
5.7.0.6	Comienzo de impresión neumáticos.	111
5.7.0.7	Ensamble sistema rueda, soporte protección.	111
5.7.0.8	Ensamble conruedas, chasis provisorio.	112
5.7.0.9	Compartiva de tamaño con proyecto "Pala".	112
5.7.0.10	Conjunto llanta con neumáticos.	113
5.7.0.11	Ensamble prueba llantas finales.	113
5.7.0.12	Llantas con chasis.	114
5.7.0.13	Impreison elementos tolva.	114
5.7.0.14	Ensamble inicial tolva.	115
5.7.0.15	Previsualización pieza tolva.	115
5.7.0.16	Estructura posterior tolva.	116
5.7.0.17	Presentación segmento tolva.	116
5.7.0.18	Ensamble tolva final.	117
5.7.0.19	Ensamble mecanismo.	117
5.7.0.20	Engranjes internos.	118
5.7.0.21	Estructura interna mecanismo.	118
5.7.0.22	Mecanimso tolva final.	119
5.7.0.23	Mecanismo levante tolva.	119
5.7.0.24	cilindro mecanismo tolva.	120
5.7.0.25	Ensamble (izquierda), guardafango (derecha).	120
5.7.0.26	Unión mecanismo tolva-chasis	121
5.7.0.27	Case delantero para baterías.	121
5.7.0.28	Electrónica del proyecto	122
5.7.0.29	Vista 1.	123
5.7.0.30	Vista 2.	124
5.7.0.31	Vista 3.	125
5.7.0.32	Vista 4.	126
5.7.0.33	Vista 5.	127
5.7.0.34	Vista 6.	128
5.7.0.35	Vista 7.	129

Índice de cuadros

1.2.1.1 Información general de Komatsu I.H.A.V.	6
1.2.1.2 Datos neumático usado por Komatsu I.H.A.V.	6
2.4.0.1 Comparativa de mecanismos directrices.	30
2.5.0.1 Características Tornillo de Potencia	32
2.5.1.1 Coeficientes de fricción para f	34
2.6.2.1 Ventajas, desventajas y aplicaciones de filamentos	35
3.1.0.1 Escalamiento, 23 cm como restricción.	45
3.1.0.2 25 cm como restricción de escala	45
3.1.0.3 Restricción 24 cm como escala.	45
3.1.0.4 Restricción 22 cm como escala.	45
3.3.1.1 Coeficientes de roce más comunes.	55
3.3.2.1 Densidades de filamentos más utilizados.	59