

Índice.	I
UNIVERSIDAD DE TALCA	I
FACULTAD DE INGENIERÍA	I
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	I
ENTREGA DEL 100% DE MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECANICO	I
CURICÓ - CHILE	I
Resumen	II
Palabras claves.	II
Producción, leña, diseño, evaluación económica.	II
Abstrac.	II
Índice.	III
Índice de Tablas.	XI
Capítulo 1:	1
Introducción.	1
1.1. Antecedentes y Motivación.	2
1.2. Descripción del Problema.	3
1.3. Solución Propuesta.	3
1.4. Objetivos.	4
1.4.1. Objetivo general.	4
1.4.2. Objetivos específicos.	4
1.4.3. Alcances.	5
1.5. Metodologías de Solución.	5
1.6. Resultados Esperados.	6
1.7. Esquema resumen de la división y definición de la metodología solución.	6
1.8. Otros Interesados.	7
Capítulo 2:	8
Marco Teórico	8
2.1. Consumo bruto energía primaria año 2009.	9
2.2. Consumo de madera a nivel nacional.	10
2.3. Situación en la región del Maule.	10
2.3.1. COCEL del Maule.	12

2.4.	Propiedades físicas y mecánicas de la madera.	13
2.4.1.	Definición de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.	13
2.4.2.	Planos de la madera	14
Capítulo 3:	15
Diseño	15
3.1.	Análisis cuantitativo para el diseño.	16
3.1.1.	Tipo de leña.	16
3.1.2.	Producción de leña.....	16
3.1.3.	Dimensiones de tronco y leña.....	16
3.1.4.	Cantidad de operadores.	17
	La máquina podrá ser controlada por un operador, pero además deberá necesitar de dos trabajadores más, encargados de suministrar de troncos a la máquina y resolver los problemas de logística que se puedan presentar durante su funcionamiento....	17
3.1.5.	Factor de seguridad.....	17
3.2.	Análisis lógico físico de la máquina.....	17
3.2.1.	Ingreso de troncos a la máquina.	18
3.2.2.	Avance del tronco para ser cortado.	19
3.2.3.	Corte transversal de tronco.	20
3.2.4.	Partido de leña.	22
3.2.5.	Apilado de leña.....	22
3.3.	Temas auxiliares de la máquina.	24
3.3.1.	Movilidad de la máquina	24
3.3.2.	Tamaño de la máquina.....	25
3.3.3.	Fijación de la máquina.....	26
3.3.4.	Sistema de accionamiento	26
3.3.5.	Selección de energía para el funcionamiento de los componentes de la máquina.	28
3.4.	Bosquejo de la máquina.....	29
Capítulo 4:	30
Memoria de Cálculo	30
4.1.	Producción de leña.....	31
4.1.1.	Tiempo de trabajo de la máquina por tronco.....	31
4.1.2.	Para calcular el tiempo de trabajo de la maquina por tronco se considerarán los siguientes puntos:	31

4.1.3.	Dimensiones de troncos a procesar.	32
4.1.4.	Metro cúbico apilado o metro estéreo:	33
4.1.5.	Cuadro resumen de producción de leña por hora.	33
4.2.	Cálculo de articulación elevadora de troncos.	35
4.2.1.	Calculo de fuerza del cilindro hidráulico.	36
4.2.2.	Selección de actuador cilindro hidráulico para elevador de troncos.	38
4.2.3.	Análisis de la viga central de la articulación.	39
4.2.4.	Análisis de soldadura de la viga central.	44
4.2.5.	Análisis de vigas elevadoras.	45
4.2.6.	Análisis del pasador de la viga elevadora.	48
4.2.7.	Análisis de la viga en la articulación.	50
4.3.	Cálculo y selección de cadena.	52
4.3.1.	Pre-dimensionamiento de la cadena	52
4.3.2.	Dimensiones del piñón y trabajo.	54
4.3.3.	Selección de motor hidráulico para el funcionamiento de la cadena transportadora.	55
4.3.4.	Selección de cadena.	57
4.4.	Cálculo y diseño del eje.	63
4.4.1.	Material del eje:	63
4.4.2.	Condiciones de trabajo del eje:	64
4.4.3.	Fuerzas actuantes en el eje vertical (Plano XZ).	64
4.4.4.	Fuerzas actuantes en el eje horizontal (Plano XY).	67
4.4.5.	Análisis de las dimensiones del eje.	69
4.4.6.	Selección de chaveta.	69
4.4.7.	Selección de rodamiento.	72
4.5.	Cálculo de fuerzas para el partido de leña.	76
4.5.1.	Cilindro hidráulico que genera la compresión para el partido de leña.	76
4.5.2.	Análisis de la matriz de partido.	76
4.5.3.	D.C.L de la matriz de partido.	77
4.5.4.	Selección de cilindro hidráulico que genera la compresión para el partido de leña.	78
4.6.	Análisis de la estructura soportante del cilindro hidráulico encargado de empujar al tronco contra el de corte.	79
4.6.1.	Análisis por esfuerzo máximo, según Von Mises.	80

4.6.2.	Análisis por simulación en Inventor.....	80
4.6.3.	Análisis de soldadura.....	87
4.7.	Análisis del empujador de troncos.....	88
4.7.1.	Análisis de la pestaña donde se conecta el cilindro hidráulico.....	88
4.7.2.	Análisis de la plancha.....	89
4.7.3.	Análisis empujador.....	91
4.7.4.	Análisis de la soldadura.....	93
4.8.	Análisis de partidador.....	94
4.8.1.	Características del material.....	95
4.8.2.	Análisis de hoja vertical.....	95
4.8.3.	Análisis de la hoja horizontal.....	96
4.8.4.	Análisis por simulación en Inventor.....	97
4.8.5.	Análisis de soldadura.....	104
4.9.	Análisis de soporte de partidador.....	105
4.9.1.	Análisis por carga puntual aplicada en la viga vertical.....	106
4.9.2.	Análisis por carga distribuida a lo largo de la viga vertical.....	108
4.9.3.	Análisis por simulación en Inventor.....	109
4.10.	Requerimientos de consumo hidráulico.....	117
4.10.1.	Cilindro hidráulico de 3” empujador de troncos.....	117
4.10.2.	Cilindro hidráulico de 2” articulación elevadora de troncos.....	118
4.10.3.	Cilindro hidráulico de 2” afirmador de troncos.....	118
4.10.4.	Cilindro hidráulico de 2” articulación sierra hidráulica.....	119
4.10.5.	Motor hidráulico cadena transportadora de troncos.....	119
4.10.6.	Motor hidráulico para sierra hidráulica.....	120
4.10.7.	Cuadro resumen.....	122
4.10.8.	Diagrama de estado.....	122
4.10.9.	Diagrama del sistema hidráulico.....	124
4.11.	Selección de bomba hidráulica.....	128
4.11.1.	Circuito de bomba 0Z1.....	128
4.11.2.	Circuito de bomba 0Z2.....	130
4.12.	Alternativas de funcionamiento de la máquina.....	133
4.13.	Selección de mangueras de fluido hidráulico.....	134
4.14.	Selección de fluido hidráulico.....	135

4.15.	Selección de filtro para fluido hidráulico.	135
4.16.	Cálculo de poleas.	136
4.16.1.	Régimen de trabajo.	136
Capítulo 5:		139
Análisis de costos.		139
5.1.	Tabla de costos.	140
5.1.1.	Costos materiales.	140
5.2.	Cotización de elementos hidráulicos.	141
5.2.1.	Actuadores hidráulicos casa comercial Ducasse.	141
5.2.2.	Bomba hidráulica casa comercial Ducasse.	142
5.2.3.	Alternativas de funcionamiento.	142
5.2.4.	Elementos de control de fluido hidráulico casa comercial Vignola.	143
5.2.5.	Cotización para la construcción de la máquina.	144
5.3.	Resumen de costos	145
5.3.1.	Elementos de la máquina	145
5.4.	Valor de venta de la máquina.	145
5.5.	Máquinas cotizadas.	146
5.5.1.	Tajfun RCA JOY 400.	146
5.5.2.	Tajfun RCA 380E.	147
5.5.3.	Farmiforest WP 36 PTO	148
5.5.4.	Farmiforest WP 36	149
Capítulo 6:		150
Evaluación económica		150
6.1.	Parámetros de proyecto.	151
6.2.	Evaluación de la máquina.	152
6.2.1.	Escenario desfavorable.	152
6.2.2.	Escenario esperado.	154
6.2.3.	Escenario favorable.	156
6.3.	Evaluación de máquinas cotizadas.	158
6.3.1.	Escenario desfavorable.	158
6.3.2.	Escenario esperado.	160
6.3.3.	Escenario favorable.	162
6.4.	Conclusión de evaluación económica.	165

6.4.1. Máquina diseñada.....	165
6.4.2. Máquinas cotizadas.....	166
Capítulo 7:	167
Conclusiones.....	167
Capítulo 8:	169
Anexos.....	169
8.1. Anexo1: Desarrollo de cálculos.....	170
8.1.1. Análisis de la viga central de la articulación.	170
8.1.2. Análisis de soldadura de la viga central.	176
8.1.3. Análisis de vigas elevadoras.....	180
8.1.4. Selección de cadena.....	186
8.1.5. Análisis de las dimensiones del eje.	191
8.1.6. Análisis de la matriz de partido.	202
8.1.7. Análisis de la estructura soportante del cilindro hidráulico encargado de empujar al tronco contra el de corte.	204
8.1.8. Análisis del empujador de troncos.	209
8.1.9. Análisis de partidior.....	216
8.1.10. Análisis de soporte de partidior.	222
8.2. Anexo2: Propiedades de la madera.	228
8.2.1. Tablas.	228
8.2.2. Ventajas del uso de la leña.	230
8.2.3. Desventajas del uso de la leña.	230
Capítulo 9:	231
Bibliografía.....	231
Capítulo 10:	234
Planos de Ingeniería.....	234

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Esquema resumen de división y definición de la metodología solución....	6
Ilustración 2. Consumo bruto energía primaria año 2009 (%).	9
Ilustración 3. Consumo de leña año 2009 (%).	9

Ilustración 4. Consumo de madera a nivel nacional.....	10
Ilustración 5. Planos de la madera.....	14
Ilustración 6. Elevación de troncos por medio de cadenas.....	18
Ilustración 7. Elevación de troncos por medio de articulación.....	18
Ilustración 8. Avance de troncos por cadena.....	19
Ilustración 9. Corte transversal por medio de sierra espada.....	20
Ilustración 10. Corte transversal por medio de sierra circular.....	21
Ilustración 11. Partido de leña.....	22
Ilustración 12. Cinta transportadora independiente.....	22
Ilustración 13. Apilador incorporado a la máquina.....	23
Ilustración 14. Transporte por medio de un tractor.....	24
Ilustración 15. Máquina con ruedas transportada como carro.....	25
Ilustración 16. Fijación de máquina.....	26
Ilustración 17. Bosquejo de la máquina.....	29
Ilustración 18. Dimensiones de los troncos a procesar.....	32
Ilustración 19. Articulación elevadora de troncos.....	35
Ilustración 20. Posición en reposo.....	36
Ilustración 21. Posición horizontal.....	37
Ilustración 22. Posición horizontal.....	40
Ilustración 23. Viga central de la articulación.....	41
Ilustración 24. Viga central de la articulación.....	45
Ilustración 25. Viga elevadora de troncos.....	46
Ilustración 26. Condición crítica para el pasador.....	49
Ilustración 27. Esquema de cadena transportadora de troncos.....	53
Ilustración 28. Motor hidráulico marca Eaton serie H.....	55
Ilustración 29. Tabla de trabajo de motor hidráulico seleccionado.....	56
Ilustración 30. Esquema de cadenas.....	57
Ilustración 31. Cadena DIN 8187-8188 tipo K2, L2.....	62
Ilustración 32. Dimensiones de cadena 16 B.....	63
Ilustración 33. Eje para el movimiento de la cadena transportadora.....	64
Ilustración 34. Fuerzas actuantes en el plano XZ sobre el eje.....	66
Ilustración 35. Fuerzas actuantes en el plano XY sobre el eje.....	68
Ilustración 36. Rodamiento rígido de bolas.....	74
Ilustración 37. Partido de leña.....	77
Ilustración 38. DCL partidador de leña.....	77
Ilustración 39. Fuerza que se ejerce sobre la estructura soportante de cilindro empujador de troncos.....	79
Ilustración 40. Malla soporte cilindro empujador de troncos.....	81
Ilustración 41. Restricción de movimiento y fuerza aplicada, soporte cilindro empujador de troncos.....	83
Ilustración 42. Desplazamiento máximo soporte cilindro empujador de troncos.....	84
Ilustración 43. Esfuerzo máximo según Von Mises, soporte cilindro empujador de troncos.....	85

Ilustración 44. Zoom de esfuerzo máximo según Von Mises, soporte cilindro empujador de troncos.....	86
Ilustración 45. Empujador de troncos.....	88
Ilustración 46. Partidor en cruz.....	94
Ilustración 47. Malla Partidor en cruz.....	98
Ilustración 48. Malla Partidor en cruz.....	99
Ilustración 49. Restricción de movimiento y fuerza aplicada, partidor en cruz.....	100
Ilustración 50. Desplazamiento máximo partidor en cruz.....	101
Ilustración 51. Zoom desplazamiento máximo partidor en cruz.....	102
Ilustración 52. Esfuerzo máximo según Von Mises, partidor en cruz.....	103
Ilustración 53. Zoom esfuerzo máximo según Von Mises, partidor en cruz.....	103
Ilustración 54. Chasis.....	106
Ilustración 55. Aplicación de carga puntual sobre viga vertical.....	106
Ilustración 56. Carga distribuida sobre viga vertical.....	108
Ilustración 57. Malla soporte vertical de partidor.....	110
Ilustración 58. Malla local soporte vertical de partidor, primera vista.....	110
Ilustración 59. Malla local soporte vertical de partidor, segunda vista.....	111
Ilustración 60. Restricción de movimiento y fuerza aplicada, viga soporte vertical de partidor.....	112
Ilustración 61. Restricción de movimiento y fuerza aplicada, viga soporte vertical de partidor.....	112
Ilustración 62. Desplazamiento máximo, viga soporte vertical de partidor.....	114
Ilustración 63. Esfuerzo máximo según Von Mises, viga soporte vertical de partidor.....	115
Ilustración 64. Zoom esfuerzo máximo según Von Mises, viga soporte vertical de partidor.....	116
Ilustración 65. Motor hidráulico cadena transportadora de troncos.....	120
Ilustración 66. Gráficas de trabajo motor Eaton serie 26000.....	121
Ilustración 67. Motor para sierra hidráulica.....	121
Ilustración 68. Diagrama del sistema hidráulico.....	124
Ilustración 69. Manómetro Winters.....	126
Ilustración 70. Válvula 4/3 acoplable Prince.....	126
Ilustración 71. Válvula 4/3 Prince.....	126
Ilustración 72. Válvula anti retorno estranguladora Parker.....	127
Ilustración 73. Válvula reductora de presión Eaton.....	127
Ilustración 74. Válvula anti retoro Eaton.....	127
Ilustración 75. Gráfica de consumo de bomba de paletas Eaton Serie VQ al final del eje.....	129
Ilustración 76. Gráfica de potencia requerida de bomba de paletas Eaton Serie VQ al final del eje.....	130
Ilustración 77. Gráfica de consumo de bomba de paletas Eaton Serie VQ al extremo de la tapa trasera.....	131
Ilustración 78. Gráfica de potencia requerida de bomba de paletas Eaton Serie VQ al extremo de la tapa trasera.....	132

Ilustración 79. Bomba doble Eaton V2010	132
Ilustración 80. Motor Lombardini de 25 HP	133
Ilustración 81. Motor Trifásico Weg 20 HP, modelo W22	134
Ilustración 82. Máquina RCA 400.....	146
Ilustración 83. Máquina RCA 380E	147
Ilustración 84. Farmiforest WP 36 PTO.....	148
Ilustración 85. Características técnicas Farmiforest WP 36 PTO	148
Ilustración 86. Características técnicas Farmiforest WP 36.....	149
Ilustración 87. Posición horizontal.....	170
Ilustración 88. Viga central de la articulación.....	171
Ilustración 89. Viga central de la articulación.....	176
Ilustración 90. Análisis de soldadura en viga central de articulación elevadora de troncos.....	178
Ilustración 91. Viga elevadora de troncos	180
Ilustración 92. Esquema para el desarrollo del teorema Castigliano.....	183
Ilustración 93. Convenio para desarrollo del teorema Castigliano.....	183
Ilustración 94. Esquema de cadenas.....	186
Ilustración 95. Eje piñón conducido.....	191
Ilustración 96. Eje $x=50$ mm.....	193
Ilustración 97. Resumen de criterios de fallas.....	193
Ilustración 98. Eje $x=60$ mm.....	197
Ilustración 99. Eje $x=130$ mm.....	199
Ilustración 100. Partido de leña.....	202
Ilustración 101. DCL partidador de leña.....	202
Ilustración 102. DCL partidador de leña.....	202
Ilustración 103. Fuerza que se ejerce sobre la estructura soportante de cilindro empujador de troncos.....	204
Ilustración 104. Momento de inercia con respecto al eje x , vista superior estructura soportante de cilindro empujador de troncos.....	206
Ilustración 105. Empujador de troncos.....	209
Ilustración 106. Vista lateral del partidador en cruz.....	218
Ilustración 107. Aplicación de carga puntual sobre viga vertical.....	222
Ilustración 108. Carga distribuida sobre viga vertical.....	225
Ilustración 109. Carga uniforme en un extremo de una viga empotrada.....	226

Índice de Tablas.

Tabla 1. Tasa de certificación en número de comerciantes certificados y volumen.	12
Tabla 2. Tiempos de trabajo en secciones críticas de la máquina.....	31
Tabla 3. Cuadro resumen de producción de leña por hora.....	34

Tabla 4. Consumo hidráulico de cilindros.....	122
Tabla 5. Consumo hidráulico de motores.....	122
Tabla 6. Diagrama de estado.....	123
Tabla 7. Definición de componentes de diagrama del sistema hidráulico.....	125
Tabla 8. Características de funcionamiento de bomba de paletas Eaton Serie VQ al final del eje.....	128
Tabla 9. Características de funcionamiento de bomba de paletas Eaton Serie VQ al extremo de la tapa trasera.....	131
Tabla 10. Características de alternativas de funcionamiento.....	133
Tabla 11. Costos de componentes estructurales.....	140
Tabla 12. Costos de componentes móviles.....	141
Tabla 13. Cotización de actuadores hidráulicos casa comercial Ducasse.....	141
Tabla 14. Cotización de bomba hidráulica casa comercial Ducasse.....	142
Tabla 15. Cotización de alternativas de funcionamiento.....	142
Tabla 16. Cotización de elementos de control de fluido hidráulico.....	143
Tabla 17. Cotización para la construcción de la máquina.....	144
Tabla 18. Resumen de costos.....	145
Tabla 19. Valor de venta de la máquina.....	145
Tabla 20. Máquinas cotizadas.....	146
Tabla 21. Costos de operación.....	151
Tabla 22. Producción anual.....	152
Tabla 23. Escenario desfavorable. Alternativa 1.....	153
Tabla 24. Escenario desfavorable. Alternativa 2.....	153
Tabla 25. Escenario desfavorable. Alternativa 3.....	154
Tabla 26. Escenario esperado. Alternativa 1.....	155
Tabla 27. Escenario esperado. Alternativa 2.....	155
Tabla 28. Escenario esperado. Alternativa 3.....	155
Tabla 29. Escenario favorable. Alternativa 1.....	156
Tabla 30. Escenario favorable. Alternativa.2.....	157
Tabla 31. Escenario favorable. Alternativa 3.....	157
Tabla 32. Escenario desfavorable Farmiforest WP36 PTO.....	158
Tabla 33. Escenario desfavorable Farmiforest WP36.....	159
Tabla 34. Escenario desfavorable Tajfun RCA 380E.....	159

Tabla 35. Escenario desfavorable Tajfun RCA JOY 400.....	160
Tabla 36. Escenario esperado Farmiforest WP36 PTO.....	160
Tabla 37. Escenario esperado Farmiforest WP36.....	161
Tabla 38. Escenario esperado Tajfun RCA 380E.....	161
Tabla 39. Escenario esperado Tajfun RCA JOY 400.....	162
Tabla 40. Escenario favorable Farmiforest WP36 PTO.....	163
Tabla 41. Escenario favorable Farmiforest WP36.....	163
Tabla 42. Escenario favorable Tajfun RCA 380E.....	164
Tabla 43. Escenario favorable Tajfun RCA JOY 400.....	164
Tabla 44. Conclusión máquina diseñada.....	165
Tabla 45. Conclusión máquinas cotizadas.....	166
Tabla 46. Propiedades mecánicas de la madera en estado verde.....	228
Tabla 47. Propiedades mecánicas de la madera en estado seco (12%).....	229
Tabla 48. Contracción de la madera.....	229