

---

# Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Descripción de la operación de tapar y destapar pasajes de sangrías [1].....	16
1.1. a Tapado de pasajes de sangría:.....	16
1.1. b Destapado de pasajes de sangría:.....	16
1.1. c Características del pasaje:.....	16
1.2. Características Ambientales de la zona de trabajo [2].....	18
1.3 Problemática. ....	19
1.3.1 En la actualidad. ....	21
1.3.2 Solución establecida. ....	21
1.3.3 Objetivo general. ....	22
1.3.4 Objetivos específicos.....	22
Capítulo 2 Discusión de la problemática.....	23
2.1 Procesos asociados a la obtención de cobre [3].....	24
2.2 Características técnicas del Convertidor Teniente [4]. ....	26
2.3 Características de los elementos utilizados para el proceso actual de tapado y destapado de sangrías [6].....	28
2.4 Características técnicas del tapón térmico. ....	29
Capítulo 3 DISEÑO MECÁNICO .....	31
3.1. Diseño del manipulador del tapón térmico. ....	32
3.2 Propiedades de los mecanismos a utilizar. ....	39
3.3 Sistema de Traslación del tipo Carro-Cadena (X).....	40
3.4 Gata de paralelogramo deformable (Y). ....	43
3.5 Mecanismo de Peaucellier (Z). ....	46
3.6 Tambor rotatorio ( $\Phi, S$ ) .....	49
3.7 Garra de sujeción del tapón térmico. ....	54
3.8 Tambor porta garra ( $\Psi$ ).....	56
Capítulo 4 Análisis cinemático, de tensión y dinámico. ....	59
4.1 Análisis cinemático.....	60
4.1.1 Análisis cinemático de la gata de paralelogramo deformable. ....	60

---

4.2	Análisis de tensión.....	68
4.2.1	Análisis de tensión de la garra de sujeción del tapón térmico.....	70
4.2.2	Análisis de tensión del tambor porta garra.....	74
4.2.3	Análisis de tensión del mecanismo de Peaucellier.....	77
4.2.4	Análisis de tensión de la gata de paralelogramo deformable.....	80
4.2.5	Análisis de tensión del sistema carro-cadena.....	83
4.3	Análisis Dinámico.....	87
4.3.1	Análisis Dinámico de la Garra de sujeción del tapón térmico.....	91
4.3.2	Análisis Dinámico Tambor porta garra.....	94
4.3.3	Análisis Dinámico del Tambor rotatorio.....	99
4.3.4	Análisis Dinámico del mecanismo de Peaucellier.....	108
4.3.5	Análisis Dinámico de la gata de paralelogramo deformable.....	111
4.3.6	Análisis Dinámico del sistema Carro-Cadena.....	115
Capítulo 5	Propuesta de Control.....	117
1.	Análisis del sistema a controlar y supuestos establecidos.....	117
5.1	Análisis del sistema a controlar y supuestos establecidos.....	118
5.2	Análisis de usos de motores y sensores.....	123
Medición del ángulo de giro del Horno Convertidor.....		123
5.3	Esquema de Aplicación de motores y sensores.....	126
5.4	Conexiones y Algoritmo para la propuesta de control.....	129
Capítulo 6	Elección de Actuadores.....	133
6.1	Tornillos de potencia [11].....	134
6.2	Cilindro Neumático.....	139
6.3	Motores [15].....	141
Capítulo 7	Conclusiones.....	154
7.1	Acerca del Trabajo.....	155
7.2	Propuesta futura.....	156
Bibliografía.....		157
Anexo A	Comprobación de resultados simulación dinámica.....	159
Anexo B	PLANOS MECÁNICOS.....	1778

---

## Índice de Tablas

Tabla 2.1: Características técnicas del Convertidor Teniente. ....	26
Tabla 3.1: Propiedades de los mecanismos. ....	39
Tabla 4.1: Resultados del Método de Newton Raphson.....	66
Tabla 4.2: Resultados del Método de Newton Raphson.....	67
Tabla 4.3: Principales valores arrojados por el análisis de tensión. ....	73
Tabla 4.4: Principales valores arrojados por el análisis de tensión. ....	76
Tabla 4.5: Principales valores arrojados por el análisis de tensión. ....	79
Tabla 4.6: Principales valores arrojados por el análisis de tensión ..... 83	
Tabla 4.7: Principales valores arrojados por el análisis de tensión ..... 86	
Tabla 4.8: Resultados de la simulación dinámica para la garra. ....	93
Tabla 4.9: Resultados de fuerza y momento para el avance del cilindro pequeño..... 102	
Tabla 4.10: Resultados simulación dinámica mecanismo Peaucellier ..... 110	
Tabla 4.11: Resultados de la simulación dinámica para la gata ..... 114	
Tabla 5.1: Datos técnicos variador vectorial Movidrive ..... 125	
Tabla 6.1: Diámetros preferidos para rosca Acme [12] ..... 134	

---

## Índice de Ilustraciones

Figura 1.1: Pasaje de sangría con tapón de arcilla.....	17
Figura 1.2: Lanza quemando el tapón de arcilla.....	17
Figura 1.3: Sin el tapón, la escoria escurre por el canal. ....	17
Figura 1.4: Área de ubicación del Convertidor Teniente. Se aprecia el pasaje de sangría y el canal por donde se traslada la sangría. ....	18
Figura 1.5: Apertura del pasaje con lanzas de oxígeno, para evacuar la sangría. ....	20
Figura 1.6: Máquina taponadora semiautomática. ....	21
Figura 2.1: Esquema convertidor teniente convencional.....	27
Figura 2.2: Tapón Térmico.....	29
Figura 2.3: Sistema creado en laboratorio.....	30
Figura 3.1: (a) muestra el horno derecho (b) Muestra el horno girado. ....	33
Figura 3.2: Mecanismos Diseño Mecánico. ....	33
Figura 3.3: Mecanismo de sujeción del tapón.....	34
Figura 3.4: Zoom realizado a la Figura 3.3.....	34
Figura 3.5: Posición final del sistema cuando está el horno Convertidor derecho.....	35
Figura 3.6: Posición final del sistema cuando está el Horno Convertidor girado.....	36
Figura 3.7: Posición de retiro del sistema y el tapón queda inserto en el Horno Convertidor. ....	36
Figura 3.8: Modificaciones realizadas en el horno convertidor. Se muestran tres tubos y dos trabas.....	37
Figura 3.9: Modificación al tapón térmico. Sujeción de color morado.....	38
Figura 3.10: sujeción del tapón térmico. ....	38
Figura 3.11: Sistema alejado del Horno Convertidor.....	40
Figura 3.12: Sistema próximo al Horno Convertidor.....	41
Figura 3.13: Partes que forman el sistema Carro-Cadena.....	41
Figura 3.14 Ruedas del sistema carro-cadena.....	42
Figura 3.15: Gata de paralelogramo deformable estirada.....	43
Figura 3.16: Mecanismo de la gata comprimido. ....	43
Figura 3.17: Partes Gata de paralelogramo deformable.....	44
Figura 3.18: Gata de paralelogramo deformable comprimida.....	45
Figura 3.19: Gata de paralelogramo deformable estirada.....	45
Figura 3.20: Mecanismo Peaucellier con el sistema movido hacia la derecha.....	46
Figura 3.21: Mecanismo Peaucellier con el sistema movido hacia la izquierda. ....	47
Figura 3.22: Muestra los 2 mecanismos Peaucellier de la parte posterior de la Figura 3.21.....	47
Figura 3.23: Movimientos que puede realizar el mecanismo Peaucellier.....	48

---

Figura 3.24: Se enumeran las partes del mecanismo de Peaucellier .....	48
Figura 3.25: Tambor rotatorio sin avance .....	49
Figura 3.26: Avance (S) del tambor rotatorio para colocar el tapón dentro del pasaje ..	50
Figura 3.27: Se muestra el giro del tapón.....	50
Figura 3.28: Tambor porta garras .....	51
Figura 3.29: Partes que forman el sistema del tambor rotatorio.....	51
Figura 3.30: Tambor rotatorio, garra y tapón .....	52
Figura 3.31: Tambor rotatorio con cilindro neumático .....	53
Figura 3.32: Garra de sujeción del tapón en posición cerrada.....	54
Figura 3.33: Garra de sujeción del tapón en posición abierta .....	54
Figura 3.34: Partes de la garra de sujeción del tapón térmico.....	55
Figura 3.35: Tambor porta garra, protegiendo al tapón térmico. ....	56
Figura 3.36: Tambor porta garra alineado con el Horno Convertidor.....	57
Figura 3.37: Partes del tambor porta garra. ....	57
Figura 3.38: Tambor porta garra derecho.....	58
Figura 3.39: El tambor porta garra girado .....	58
Figura 4.1: Medidas de la gata de paralelogramo deformable real. ....	60
Figura 4.2: Medidas de la gata de paralelogramo deformable utilizada en el diseño mecánico.....	61
Figura 4.3: Gata de paralelogramo deformable.....	62
Figura 4.4: Menú con las opciones que se deben ingresar en el análisis de tensión. ....	68
Figura 4.5: Ensamble de la Garra utilizado para el análisis de tensión. ....	70
Figura 4.6: Esquema de fuerzas actuando en el tapón térmico. ....	70
Figura 4.7: Tensión de Von Mises garra de sujeción del tapón. ....	71
Figura 4.8: Desplazamientos máximos y mínimos de la garra.....	71
Figura 4.9: Coeficiente de seguridad de la garra. ....	72
Figura 4.10: Deformación equivalente de la garra. ....	72
Figura 4.11: Ensamble tambor porta garras, soporte y corona.....	74
Figura 4.12: Tensión de Von Mises Tambor porta garra. ....	74
Figura 4.13: Desplazamientos máximos y mínimos. (Tambor porta garra).....	75
Figura 4.14: Coeficiente de seguridad (Tambor porta garra) .....	75
Figura 4.15: Deformación equivalente del tambor porta garra. ....	76
Figura 4.16: Ensamble del Mecanismo de Peaucellier y placa deslizante. ....	77
Figura 4.17: Tensión de Von Mises Mecanismo de Peaucellier .....	77
Figura 4.18: Desplazamiento mecanismo de Peaucellier. ....	78
Figura 4.19: Coeficiente de seguridad mecanismo de Peaucellier .....	78
Figura 4.20: Deformación equivalente mecanismo de Peaucellier. ....	79
Figura 4.21: Gata de paralelogramo deformable.....	80
Figura 4.22: Tensión de Von Mises gata de paralelogramo deformable.....	81
Figura 4.23: Desplazamientos gata.....	81
Figura 4.24: Coeficiente de seguridad para diseñar la gata.....	82

---

Figura 4.25: Deformación equivalente gata .....	82
Figura 4.26: Carro para cadena.....	83
Figura 4.27: Tensión de Von Mises Carro-Cadena .....	84
Figura 4.28: Desplazamientos en el carro-cadena .....	84
Figura 4.29: Coeficiente de seguridad carro-cadena. ....	85
Figura 4.30: Deformación equivalente carro-cadena .....	85
Figura 4.31: Ventana de simulación dinámica. ....	87
Figura 4.32: Propiedades de la unión que genera el movimiento.....	88
Figura 4.33: Ventana que permite editar las condiciones iniciales .....	89
Figura 4.34: Ventana para activar el movimiento impuesto.....	89
Figura 4.35: Ventana para ingresar posición de inicio, posición final y tiempo .....	90
Figura 4.36: Simulador .....	90
Figura 4.37: Ensamble utilizado para la simulación dinámica. ....	91
Figura 4.38: Parámetros fuerza desconocida.....	92
Figura 4.39: Secuencia de movimiento de apertura de la garra para el análisis dinámico. ..	92
Figura 4.40: Secuencia de movimiento del cilindro grande para el análisis dinámico. ....	94
Figura 4.41 .....	94
Figura 4.42: Momentos de Inercia. Extraído de <a href="http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap8.pdf">http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap8.pdf</a> .....	95
Figura 4.43: cilindro grande .....	95
Figura 4.44: Corona para giro cilindro grande .....	96
Figura 4.45: Tubo de espigas.....	96
Figura 4.46: Espigas del sistema, destacadas con línea punteada. ....	97
Figura 4.47: Ensamble utilizado para la simulación.....	99
Figura 4.48: Sentido y dirección de la “fuerza desconocida” (señalizada con una flecha amarilla sobre el tornillo de potencia). ....	100
Figura 4.49: Parámetros fuerza desconocida.....	101
Figura 4.50: Secuencia de movimiento del cilindro pequeño de avance.....	101
Figura 4.51: Tambor que contiene al cilindro neumático.....	103
Figura 4.52: Corona giratoria para dar giro al tambor rotatorio.....	103
Figura 4.53: Placa para el giro del tambor.....	104
Figura 4.54: Tornillo de potencia para el avance .....	104
Figura 4.55: Guías .....	105
Figura 4.56: Corona para tornillos de potencias.....	105
Figura 4.57: Ensamblaje utilizado para la simulación dinámica del mecanismo Peaucellier. .....	108
Figura 4.58: Opción Fuerza desconocida, usada como torque en el mecanismo de Peaucellier .....	109
Figura 4.59: Parámetros para encontrar el torque desconocido.....	109
Figura 4.60: Secuencia de movimiento del cilindro grande para el análisis dinámico .....	110
Figura 4.61: Ensamble para el análisis de simulación dinámica. ....	111

---

Figura 4.62: Fuerza desconocida aplicada a la gata .....	112
Figura 4.63: Parámetros fuerza desconocida.....	113
Figura 4.64: Secuencia de movimientos de la gata .....	113
Figura 4.65: Ensamble del carro- cadena para movimiento longitudinal.....	115
Figura 4.66: Secuencia de movimiento del carro .....	115
Figura 4.67: Esquema del movimiento que ocurre en la cadena del carro.....	115
Figura 5.1: Centro del Horno Convertidor y entrada del tapón térmico.....	118
Figura 5.2: Horno Convertidor girado un ángulo $\alpha$ .....	119
Figura 5.3: Nuevas coordenadas del centro del orificio de entrada del tapón.....	120
Figura 5.4: Movimiento para el punto inicial de posición. (X, Y, S).....	121
Figura 5.5: Posición para el punto inicial de (Z).....	121
Figura 5.6: Para la posición inicial del sistema el tambor porta garras debe estar derecho. .....	122
Figura 5.7: Variador vectorial Movidrive para el control de los Servo-Motorreductores..	125
Figura 5.8: Indica la posición de los sensores 1,2,3,5 y 7 .....	126
Figura 5.9: Indica el final de carrera del mecanismo Peaucellier.....	126
Figura 5.10: Indica el final de carrera del tambor rotatorio.....	127
Figura 5.11: Muestra el sensor que detecta el giro del tambor rotatorio. ....	127
Figura 5.12: Finales de carrera del cilindro neumático .....	128
Figura 5.13: Circuitos de conexión PLC .....	129
Figura 5.14: Diagrama para posicionar el tapón térmico en el Horno CT .....	130
Figura 5.15: Puntos 1 y 2 de la Figura 5.15.....	131
Figura 5.16: Diagrama para retirar el tapón térmico inserto en el Horno. ....	132
Figura 6.1: Características principales sobre un tornillo de potencia. Extraído de <a href="http://www.fullmecanica.com/t/tornillos-de-potencia-mecanica">http://www.fullmecanica.com/t/tornillos-de-potencia-mecanica</a> .....	134
Figura 6.2: Tornillo de potencia de la marca Screw Jack.....	135
Figura 6.3: Tornillo de potencia modelo CMT100 [13].....	137
Figura 6.4: Cilindro neumático Festo.....	140
Figura 6.5: Fuerza del cilindro neumático elegido. Diámetro de 100 mm.....	140
Figura 6.6: Servo-motorreductor Sew Eurodrive .....	143
Figura 6.7: Servo-motorreductor Sew Eurodrive [16].....	145
Figura 6.8: Servo-motor Sew Eurodrive.....	147
Figura 6.9: Servo-motorreductor Sew Eurodrive .....	149
Figura 6.10: Servo-motor Sew Eurodrive.....	151
Figura 6.11: Servo-motorreductor Sew Eurodrive .....	153