
Índice de contenido

Resumen	2
Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	4
Índice de contenido.....	5
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Nomenclatura	11
Capítulo 1	13
1.1 Presentación del problema:.....	14
1.1.1 Tipos o regímenes de fluidización.....	15
1.2 Descripción del problema.....	17
1.3 Solución esperada.....	18
1.4 Objetivos generales.....	19
1.5 Objetivos específicos.....	19
1.6 Alcances y restricciones.....	20
Capítulo 2	22
2.1 Propuesta preliminar.....	23
2.2 Diseño mecánico.....	25
2.2.1 Arduino, placa controladora y Motor DC.....	31
2.2.2 Placa orificio y de presión diferencial.....	33
2.2.3 Software de adquisición y visualización de datos.....	37
Capítulo 3	39
3.1 Características de ambos diseños.....	40
3.1.1 Diseño anterior presente en el sistema	40
3.1.2 Diseños propuestos.....	42
3.1.3 Diseño de la válvula pulsadora.....	52
3.2 Diseño válvula seleccionada.....	54
3.2.1 Diseño mecánico.....	54
Capítulo 4	60
4.1 Procedimientos de construcción y manufactura.....	61
4.1.1 Equipos utilizados	61
4.1.2 Procesos de construcción.....	63

Capítulo 5	78
5.1 Observación de pruebas de fluidización.	81
5.2 Análisis de la instrumentación de la fluidización	85
Capítulo 6	94
6.1 Conclusión y trabajos Futuros.	95
Bibliografía	97
Anexo A - DIBUJO DISEÑO VÁLVULA PULSADORA, MATERIALES EMPLEADOS Y PLANOS DE PIEZAS	99
Anexo B - PLANILLAS DE PRUEBAS LECHO FLUIDIZADO	112
Anexo C - DATOS TÉCNICOS, ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN	119

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones sistema de válvula tipo disco.	41
Tabla 2. Variación de altura del lecho, modificando velocidad del motor y velocidad de pulsaciones.	82
Tabla 3. Comportamiento del lecho fluidizado en diferentes pruebas.	84
Tabla 4. Valores de caudal de entrada con diferentes velocidades del ventilador centrífugo.....	86
Tabla 5. Valores obtenidos en un intervalo de 3 segundos para diferentes secciones. ..	89

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de comportamiento de la fluidización.[2]	15
Figura 2. Esquema de la solución esperada.	19
Figura 3. Cámara contenedora del disco rotatorio. a)Vista isométrica. b)Vista lateral..	23
Figura 4. Disco ranurado rotatorio.	24
Figura 5. Imagen frontal lecho fluidizado experimental.	25
Figura 6. Lecho fluidizado con zona a modificar.	26
Figura 7. Imagen conceptual de la válvula pulsadora tipo rodillo.....	27
Figura 8. a) Válvula pulsadora sin soporte. Con muy poca estabilidad y robustez frente a vibraciones, se opta por crear un banquillo de apoyo para la válvula.	28
Figura 9. Banquillo soporte válvula pulsadora.	29
Figura 10. Sección superior paso de aire desde válvula hasta la cámara del lecho.	30
Figura 11. Sección inferior de válvula.....	30
Figura 12. Base soporte motor DC.	31
Figura 13. Poleas dentadas en: a) Válvula rotatoria, b) Motor DC.	32
Figura 14. Diagrama instrumentación lecho.....	33
Figura 15. Medición caudal por diferencial de presión.	34
Figura 16. Sensor tipo placa orificio del lecho fluidizado. a) Diseño. b) Construcción física.	35
Figura 17. Módulo adquisición de datos junto con sensores de presión diferencial.	37
Figura 18. Ventana principal de software InstaCal.	38
Figura 19. Ventana principal del modo "Strip Chart" (gráfico de líneas) del software TracerDaq.	38
Figura 20. Lecho fluidizado experimental. a) Vista frontal b) Vista posterior.	40
Figura 21. Cámara contenedora y disco montado junto con motor DC.	41
Figura 22. Principio de operación de una válvula de combustión de pulsos.....	43
Figura 23. Ilustración del lecho fluidizado pulsante del segundo documento.....	44
Figura 24. Representación esquemática de un secador de lecho fluidizado de cuatro secciones.	47
Figura 25. Flujo pulsante radial a través del eje.	49
Figura 26. Muestra de la válvula pulsadora mostrando los perfiles de los puertos de admisión y descarga.	50
Figura 27. Despiece sistema completo válvula pulsadora. a) Diseño de documento.	51
Figura 28. Sección transversal longitudinal del concepto de válvula pulsante.	52
Figura 29. Vista isométrica sección válvula pulsadora (despiece).	53
Figura 30. Vista isométrica de la sección de la válvula pulsadora.	54
Figura 31. Vista lateral isométrica de cámara contenedora, eje ranurado, tapa izquierda y derecha y los rodamientos.	55
Figura 32. Vista lateral de conducto de ventilación válvula pulsadora.	57
Figura 33. Vista isométrica de conducto de ventilación con secciones de acrílico. a) Sección perfil derecho. b) Sección perfil interior. c) Sección perfil superior.	58
Figura 34. Estructura soporte válvula pulsante.	59
Figura 35. Kit de Herramientas multipropósito BAUKER MP170-190	61
Figura 36. Esmeril 4.5" 800W DW4020-B2 DeWalt.....	61
Figura 37. Maquinaria y herramientas utilizadas: a)Torno paralelo universal "PINACHO", b)Torno paralelo universal "LIANG DEI", c) Brocas de hilo macho marca japonesa, d)arco sierra "SILVER SHADOW", e)Esmeril de banco "BENCH	

GRINDER", f) Taladro eléctrico de sobremesa "POWER TOOLS", g) Torno fresadora "FULL MARK", h) Escariadores para metal "HUNGER".	62
Figura 38. Planos Cámara contenedora. a) Vista lateral. b) Vista superior.	63
Figura 39. Sección barra de cámara contenedora.	64
Figura 40. a) Reducción de longitud y achaflanado en bordes. b) Proceso fresado en barra de acero. c) Ranura terminada.	65
Figura 41. Continuación fresado de ranura lado posterior.	65
Figura 42. Instalación y cilindrado de barra de teflón en torno con herramienta contrapunto.	66
Figura 43. Escariador utilizado en trabajo de rectificación de cámara contenedora.	66
Figura 44. Cilindrado interior con escariador.	67
Figura 45. Detalle secciones laterales eje ranurado. a) Lado poleas. b) Lado rodamiento.	67
Figura 46. a) Eje terminado sección de transmisión. b) Eje terminado sección rodamiento lado opuesto a transmisión.	68
Figura 47. Dimensionado ranuras en eje de teflón.	68
Figura 48. Fresado barra circular de teflón. a) Comienzo fresado. b) Fresado segunda sección. c) Fresado tercera sección. d) Fresado de ranuras terminado.	68
Figura 49. a) Comienzo aplanado primera cara. b) Término primera cara. c) Término segunda cara.	69
Figura 50. Dimensiones tapas laterales. a) Tapa soporte rodamiento. b) tapa soporte rodamiento perforada para la transmisión.	69
Figura 51. Mecanizado tapas extremos de cámara contenedora. a) Discos de acero. b) Mecanizado torno primer disco. c) Refrentado disco. d) Perforación para instalar rodamiento. e) Tapa perforada soporte rodamiento y transmisión. f) Tapa cerrada soporte rodamiento.	70
Figura 52. a) Perforación tapas. b) Realización hilos cámara. c) Tapas perforadas e hilos realizados.	71
Figura 53. Instalación de rodamientos en tapas laterales.	71
Figura 54. a) Torneado sección cilíndrica. b) Instalación en eje ranurado junto con perforación para tornillo prisionero. c) Polea dentada y prisionero instalados.	72
Figura 55. Dimensionado acrílico. Paredes laterales y frontales.	72
Figura 56. Dimensionado placas. a) Placa inferior. b) Placa superior.	73
Figura 57. Secciones de acrílico cortado.	73
Figura 58. a) Montura en fresa tapas inferiores. b) Ranurado tapas inferiores. c) Perforación tapa superior. d) Tronzado tapa superior.	74
Figura 59. a) Piezas terminadas. b) Pegado silicona e instalación reducción. c) Instalación y fijación con tornillos a cámara contenedora.	75
Figura 60. Instalación tubería y canalización de la válvula pulsadora.	76
Figura 61. Banquillo de soporte. a) Vista isométrica. b) Vista lateral. c) Banquillo en posición final e instalado.	77
Figura 62. Sistema de transmisión por correas y generador de caudal de aire.	79
Figura 63. Instalación y verificación de funcionalidad de válvula rotativa, tubería y canalización.	80
Figura 64. Variación de expansión del lecho en diferentes velocidades de caudal.	82
Figura 65. Ascenso del objeto desde material particulado.	84
Figura 66. Descenso del tornillo junto con la tuerca.	85
Figura 67. Caudal entrada en lecho fluidizado a diferentes velocidades de motor trifásico.	86
Figura 68. Caudal de entrada durante 10 segundos.	87

Figura 69. Caída de presiones frente al funcionamiento de válvula pulsadora.	90
Figura 70. Variación de presión en placa distribuidora a distintas configuraciones.	91
Figura 71. Variación de presión en la placa distribuidora en unidades de pulgadas de agua.....	91
Figura 72. Variación de presión manométrica en la cámara plena durante pulsaciones.	92
Figura 73. Presión manométrica expresada en pulgadas de agua.....	93

Nomenclatura

Hz = Hertz

Q = Caudal de entrada de ventilador centrífugo

ΔP = Presión diferencial del distribuidor

P_{cp} = Presión manométrica en cámara plena

P_0 = Placa orificio

V_c = Ventilador centrífugo

V_p = Válvula pulsadora

C_p = Cámara plena

P_d = Placa distribuidora de flujo

L_f = Lecho fluidizado

T_p = Tomas de presión auxiliares

A_0 : Área del orificio de la placa

$(P_1 - P_2)$: Presión diferencial medida por el sensor

β : Coeficiente de diámetros

$$\beta = \frac{d}{D}$$

d : Diámetro del orificio, D : Diámetro de tubería

C_D : Coeficiente de descarga, obtenido por la constante de Reynolds (R_e)

R_e : Número de Reynolds

V_S : Velocidad característica del flujo

ν : Viscosidad cinemática del fluido

