

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Marco histórico	1
1.2. Velocimetría Láser	3
1.3. Aplicaciones	8
1.4. Motivación	13
1.5. Objetivos	15
1.6. Estructura del documento	17
2. Técnica láser Doppler	19
2.1. Introducción	19
2.2. Detección directa	20
2.3. Haz de referencia	21
2.4. Diferencial Doppler	25
2.5. Conclusiones	30
3. Sistema LDA Diferencial	33
3.1. Introducción	33
3.2. Principios básicos	33
3.3. Volumen de dispersión	35
3.4. Modelo de franjas	36
3.5. Señal burst Doppler	37
3.6. Espectro de la señal burst Doppler	40
3.7. Tiempo de tránsito	41
3.8. Incremento del ancho frecuencial	43
3.9. Índice de modulación	44
3.10. Detección del signo y componentes de la velocidad	47
3.10.1. Detección del signo de la velocidad	47
3.10.2. Detección de dos y tres componentes de la velocidad	54

3.11. Láser	55
4. Prototipo Sistema 2D-LDA	59
4.1. Introducción	59
4.2. Especificaciones del diseño	61
4.3. Subsistema óptico	62
4.3.1. Frecuencias de los tres haces incidentes	63
4.3.2. Señal burst Doppler 2D-LDA	64
4.3.3. Espectro señal burst Doppler 2D-LDA	65
4.3.4. Disposición geométrica de los haces	68
4.3.5. Componentes de velocidad detectadas	68
4.3.6. Componentes ortogonales	69
4.3.7. Láser	71
4.3.8. Ángulo entre haces	74
4.3.9. Moduladores Acusto-Ópticos	76
4.3.10. Modificación desplazamiento frecuencial AOM2	78
4.3.11. Relación entre velocidad y desplazamientos Doppler	80
4.3.12. Configuración física del subsistema óptico	86
4.3.13. Pérdidas de los elementos ópticos y acusto-ópticos	89
4.3.14. Volumen de medida	89
4.3.15. Ancho de banda de la señal Doppler	90
4.3.16. Ancho de banda de la señal Pedestal	90
4.3.17. Niveles de potencia del prototipo 2D-LDA	90
4.3.18. Espectro señal burst Doppler del prototipo 2D-LDA	91
4.4. Fotodetector y módulo preamplificador	94
4.5. Diseño óptimo	95
4.6. Diseño real	101
4.7. Elección del máximo espectral	107
4.8. Subsistema electrónico	110
4.8.1. Procesador de señal	112
4.8.2. Amplificador de ganancia ajustable	126
4.8.3. Procesador de pedestal	133
4.9. Subsistema de adquisición y procesado digital	144
4.9.1. Elección del software: Visual C++	145
4.9.2. Placa de adquisición: CSLITE	146
4.9.3. Estudio de los retardos	154

4.9.4. Detección de disparo multinivel por software	157
4.9.5. Software de control, adquisición y procesado digital	160
5. Elección de las partículas de sembrado	175
5.1. Introducción	175
5.2. Movimiento de partículas en el seno de un fluido	176
5.3. Tamaño óptimo de las partículas	179
5.4. Tiempo de establecimiento	180
5.5. Requisitos adicionales	181
5.6. Elección del tipo de sembrado	183
6. Medidas	189
6.1. Introducción	189
6.2. Blanco sólido en rotación	190
6.2.1. Regulador de velocidad del motor	191
6.2.2. Calibración de la velocidad del disco	192
6.2.3. Espectro señal Doppler real	193
6.2.4. Medidas a diferentes velocidades	195
6.2.5. Efecto del número de muestras	197
6.2.6. Medidas en todo el margen de velocidades	219
6.3. Agua en un circuito cerrado	246
6.3.1. Punto de medida	246
6.3.2. Montaje del experimento	248
6.3.3. Gradiente o perfil de velocidad en el interior de un tubo	250
6.3.4. Puntos de medida del fluido	252
6.3.5. Velocidad máxima del fluido	255
6.3.6. Espectro de una señal producida por una partícula	257
6.3.7. Valores de NLPS	259
6.3.8. Medidas finales del gradiente de velocidad del tubo de agua	266
7. Dispersión de luz de pequeñas partículas	271
7.1. Introducción	271
7.2. Requisitos	272
7.3. Métodos de cálculo	272
7.4. Teoría de Lorenz-Mie (LMT)	274
7.4.1. Descripción LMT	274
7.4.2. Zonas de Dispersión	278

7.4.3.	Intensidad en función del ángulo de dispersión	281
8.	Estimación de la Relación Señal a Ruido (SNR) en un sistema LDA	293
8.1.	Introducción	293
8.2.	Esquema LDA	293
8.3.	Intensidad dispersada por un sistema LDA de una dimensión	296
8.4.	Flujo de luz dispersada	298
8.5.	Potencia de ruido	299
8.6.	SNR en un sistema LDA	301
8.7.	Visibilidad	302
8.8.	Formulaciones basadas en la teoría de Lorenz-Mie	304
8.8.1.	Señal Pedestal local	306
8.8.2.	Señal Doppler local	306
8.8.3.	Fase de la Señal Doppler local	307
8.9.	Geometría y características de un sistema LDA de una dimensión	307
8.9.1.	Localizaciones particulares de los haces	308
8.9.2.	LDA con haces en el eje Y	310
9.	Cálculo de la SNR para un sistema 2D-LDA	313
9.1.	Introducción	313
9.2.	Esquema 2D-LDA	313
9.3.	Intensidad dispersada por un sistema 2D-LDA	315
9.4.	Flujo de luz dispersada	319
9.5.	Potencia de ruido	321
9.6.	SNR en un sistema 2D-LDA	322
9.7.	Visibilidad	325
9.8.	Diferencias entre las formulaciones de un sistema LDA y 2D-LDA utilizando la teoría de Lorenz-Mie	326
9.9.	Método de cálculo para una geometría particular	327
9.10.	Configuración geométrica del sistema 2D-LDA	328
9.10.1.	Cálculo de los vectores unitarios para la geometría del sistema 2D-LDA	330
9.10.2.	Cálculo de los vectores unitarios para la geometría del sistema 2D-LDA+Filtrado	334
10.	Simulaciones numéricas de la SNR para un sistema 2D-LDA	337
10.1.	Introducción	337

10.2. Especificaciones de las simulaciones	338
10.3. Resultados	340
10.4. Conclusiones	375
11. Conclusiones y líneas futuras	381
11.1. Conclusiones	381
11.2. Líneas futuras	383
A. Intensidad dispersada por un sistema LDA de una dimensión	387
A.1. Desarrollo de la ecuación (8.10)	387
B. Intensidad dispersada por un sistema 2D-LDA	391
B.1. Desarrollo de la ecuación (9.21)	391
C. Vectores del sistema LDA con haces en el eje X	397
D. Especificaciones láser y equipos de medida	401
D.1. Especificaciones láser Monocrom 532RH80	402
D.2. Especificaciones medidor de potencia óptica Anritsu ML9002A	404
D.3. Especificaciones analizador de espectros Anritsu MS2661B	408
E. Especificaciones componentes ópticos	415
E.1. Especificaciones divisor de haz Linos 335563 y 335510	416
E.2. Especificaciones acromato Linos 32572 y 63201	419
F. Especificaciones fotodetector y módulo preamplificador	425
F.1. Especificaciones fotodiodo APD C30902E	426
F.2. Especificaciones módulo APD-preamplificador	432
G. Especificaciones componentes electrónicos	435
G.1. Especificaciones Filtros paso bajo PLP5 y PLP50 Mini-Circuits	436
G.2. Especificaciones Filtro PHP50 Mini-Circuits	438
G.3. Especificaciones Mezclador UNCL-R1 Mini-Circuits	440
G.4. Especificaciones VCO POS-50 Mini-Circuits	442
G.5. Especificaciones regulador de tensión POS-50 Linear Technology	444
G.6. Especificaciones filtro paso bajo LMF60 de National Semiconductor	452
G.7. Especificaciones amplificador CLC425 de National Semiconductor	461
G.8. Especificaciones comparadores LM239 de National Semiconductor	466
G.9. Especificaciones báscula RS 74LS279 de Texas Instruments	475

G.10.Especificaciones báscula <i>D</i> 74LS74 de Texas Instruments	479
G.11.Especificaciones Amplificador TL082C de SGS-THOMSON	484
H. Vistas de los montajes del Subsistema Electrónico	493
Bibliografía	497

Índice de figuras

1.1. Espectro frecuencial	3
1.2. Técnicas de medida por láser más utilizadas actualmente [ABDT03]	8
1.3. Caracterización de un rotor de helicóptero en un túnel de viento [Dyn02a]	10
1.4. Caracterización de una válvula [Dyn02a]	10
1.5. Estudio del perfil de un automóvil a escala en un túnel de viento [Dyn02a]	11
1.6. Estudio aerodinámico de un barco a escala en un túnel de viento [Dyn02a]	11
1.7. Fotografía de la caracterización de una bomba de agua [Dyn02a]	12
1.8. Caracterización de las turbulencias de las hélices de un barco en un canal hidrodinámico [Dyn02a]	12
2.1. Efecto Doppler para una partícula en movimiento	20
2.2. Configuración sistema DGV [ML92]	21
2.3. Sistema LDA, con la configuración haz de referencia	22
2.4. Sistema LDA, con la configuración haz de referencia de un haz	23
2.5. Sistema LDA, con la configuración haz de referencia de dos haces	25
2.6. Diferencial Doppler en DHD	27
2.7. Diferencial Doppler en RD	27
2.8. Sistema LDA, con la configuración Diferencial Doppler de dos haces	28
2.9. Sistema LDA, con la configuración Diferencial Doppler de un haz o Simétrica	29
2.10. Esquema básico de una configuración Haz de referencia	30
2.11. Esquema básico de una configuración Diferencial Doppler	30
2.12. Esquema básico de una configuración Simétrica	31
3.1. Esquema básico de una configuración Diferencial Doppler	34
3.2. Forma y dimensiones del volumen de dispersión [Duf03]	35
3.3. Franjas en volumen de dispersión debido a la interferencia de dos haces	37
3.4. Formación de la Señal <i>burst</i> a partir del modelo de franjas	40

3.5. Espectro de la Señal <i>burst</i> Doppler	42
3.6. Señal <i>burst</i> , pedestal y Doppler para un tiempo de tránsito $\tau_T = 100\mu s$ con un índice de modulación del 10 % ($\Upsilon = 0,1$)	45
3.7. Señal <i>burst</i> , pedestal y Doppler para un tiempo de tránsito $\tau_T = 100\mu s$ con un índice de modulación del 50 % ($\Upsilon = 0,5$)	45
3.8. Señal <i>burst</i> , pedestal y Doppler para un tiempo de tránsito $\tau_T = 100\mu s$ con un índice de modulación del 100 % ($\Upsilon = 1$)	46
3.9. Índice de Modulación para una partícula esférica mediante el modelo de franjas [Far72]	47
3.10. Modulador acusto-óptico en régimen Raman-Nath y de Bragg	50
3.11. Modulador acusto-óptico en régimen de Bragg con desplazamientos fre- cuenciales positivos o negativos, en función de la orientación de la luz incidente [Iso04]	52
3.12. Sistema LDA de una dimensión con detección del signo de la velocidad con un AOM [CZW99]	53
3.13. Sistema 2-LDA de cuatro haces y dos colores [TI02]	54
3.14. Volúmenes de dispersión para un Sistema 2-LDA [Dyn02a]	55
4.1. Esquema del prototipo del sistema 2D-LDA	60
4.2. Esquema del subsistema óptico del prototipo 2D-LDA	63
4.3. Espectro sistema 2D-LDA	67
4.4. Geometría de los tres haces del sistema 2D-LDA	68
4.5. Componentes de velocidad detectadas en el sistema 2D-LDA	69
4.6. Conversión de velocidades de un sistema de coordenadas no-ortogonal a uno ortogonal	70
4.7. Cambio del ángulo entre haces en el caso de aire y agua	75
4.8. Componentes de velocidad del prototipo del sistema 2D-LDA	80
4.9. Componentes del subsistema óptico que generan tres haces del prototipo 2D-LDA	86
4.10. Componentes del subsistema óptico encargados de focalizar los haces y recibir la energía dispersada por el blanco del prototipo 2D-LDA	88
4.11. Niveles de potencia en cada punto del Subsistema óptico 2D-LDA	91
4.12. Espectro de la señal <i>burst</i> Doppler a la salida del detector del prototipo 2D-LDA	92
4.13. Subsistema óptico o sonda óptica prototipo 2D-LDA (SOPT)	93

4.14. Espectro de la señal <i>burst</i> Doppler a la salida del subsistema electrónico del prototipo 2D-LDA	106
4.15. Interpolación gaussiana a partir de la muestra central y de las dos muestras adyacentes	109
4.16. Pre-procesado de la señal en el sistema 2D-LDA	110
4.17. Bloques del subsistema electrónico del prototipo del sistema 2D-LDA . .	111
4.18. Espectro de la señal de entrada al procesador de señal	113
4.19. Diagrama de bloques del procesador de señal	113
4.20. Circuito filtrado-mezclador del procesador de señal	114
4.21. Circuito de filtrado de la señal Doppler	114
4.22. Atenuación del filtro paso banda equivalente del circuito procesador de señal [MC03]	115
4.23. Esquema del mezclador y filtrado de la señal Doppler del procesador de señal	116
4.24. Relación entre la tensión de ajuste, la frecuencia del OL y la sensibilidad de sintonía [MC03]	117
4.25. Atenuación del filtro paso bajo del circuito procesador de señal a la salida del mezclador [MC03]	119
4.26. Esquema de conexiones del módulo filtrado-mezclador de la señal Doppler del circuito procesador de señal	119
4.27. Espectro de la señal a la salida del circuito filtrado-mezclador para obtener la señal Doppler	120
4.28. Circuito de filtrado de la señal Pedestal del procesador de señal	120
4.29. Diagrama de bloques del filtro activo paso bajo LMF60-50 [NS03]	121
4.30. Esquema del filtro previo paso bajo para evitar frecuencias interferentes a la salida del filtro activo paso bajo LMF60-50	122
4.31. Oscilador <i>Schmitt-trigger</i> RC del circuito integrado LMF60-50 [NS03] . .	123
4.32. Esquema circuital del módulo de filtrado de la señal Pedestal del circuito procesador de señal	124
4.33. Esquema de conexiones del módulo de filtrado de la señal Pedestal del circuito procesador de señal	124
4.34. Espectro de la señal a la salida del circuito de filtrado para obtener la señal Pedestal	125
4.35. Respuesta real del filtro activo paso bajo LMF60-50	125
4.36. Montaje final del circuito procesador de pedestal	126
4.37. Circuito ideal de un amplificador no inversor	129

4.38. Esquema de conexiones del circuito del AOP CLC425 del procesador de señal	131
4.39. Respuesta real del amplificador CLC425 del procesador de señal	132
4.40. Montaje final del amplificador ajustable	133
4.41. Generación de la señal de disparo	134
4.42. Esquema de la generación de la señal de disparo	135
4.43. Esquema del Schmith-Trigger utilizado en el procesador de pedestal . . .	136
4.44. Tabla de verdad de la báscula $\overline{R} - \overline{S}$	136
4.45. Estados en la báscula $\overline{R} - \overline{S}$ en función de la señal Pedestal y de los niveles de histéresis V_H y V_L	137
4.46. Circuito monoestable	138
4.47. Tabla de verdad de la báscula D	139
4.48. Circuito sumador acondicionador	140
4.49. Medida real de la señal de disparo a la salida del procesador de pedestal, para una señal de pedestal sinusoidal	142
4.50. Medida real del retardo de la señal de disparo en función de la frecuencia de la señal de pedestal	142
4.51. Esquema de conexiones del circuito del procesador de pedestal	143
4.52. Montaje final del procesador de pedestal	143
4.53. Esquema del prototipo del sistema 2D-LDA	144
4.54. Ciclo de adquisición de la placa	149
4.55. Memoria de la placa: <i>buffer</i> circular	150
4.56. Programación de la placa y flujo de adquisición	153
4.57. Estudio de los diferentes retardos de la señales Pedestal, Doppler y dis- paro producidos por el SEL	154
4.58. Posición de las muestras válidas en el <i>buffer</i> de la placa de adquisición CSLITE	156
4.59. Señal de disparo de cuatro pulsos sin retardos	158
4.60. Posición de las muestras válidas en el <i>buffer</i> de la placa de adquisición CSLITE para el caso de cuatro pulsos	159
4.61. Diagrama de flujo aplicación <i>LaserDoppler</i>	163
4.62. Diagrama de flujo del bloque <code>fn_control_adquisición()</code>	167
4.63. Diagrama de flujo del bloque <code>fn_gestion_adquisicion()</code>	169
4.64. Pantalla principal de la aplicación <i>LaserDoppler</i>	174
5.1. Respuesta de seguimiento en agua	185

5.2. Respuesta de seguimiento en aire	186
5.3. Diámetro de la partícula para diferentes niveles de turbulencia en agua y aire	187
5.4. Foto de microscopio electrónico de partículas de poliestireno (PS) [RWB99]	187
6.1. Esquema del blanco rotario	191
6.2. Ranurado del disco para la calibración de la velocidad del blanco	192
6.3. Espectro de la señal Doppler real	194
6.4. Puntos de medida del blanco rotatorio	196
6.5. Componentes de velocidad definidos en puntos a la izquierda y derecha del eje de rotación del blanco rotatorio	197
6.6. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 0$	200
6.7. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 1$	200
6.8. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 2$	200
6.9. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 0$	200
6.10. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 1$	200
6.11. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 2$	200
6.12. Espectro de la señal Doppler con 64 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$ ($V_1 = V_2 = 0$)	201
6.13. Espectro de la señal Doppler con 64 muestras y zero-padding $n_{zp} = 1$ ($V_1 = V_2 = 0$)	201
6.14. Espectro de la señal Doppler con 64 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$ ($V_1 = V_2 = 0$)	201
6.15. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 0$	202
6.16. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 1$	202
6.17. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 2$	202
6.18. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 0$	202
6.19. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 1$	202
6.20. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 2$	202
6.21. Espectro de la señal Doppler con 128 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$ ($V_1 = V_2 = 0$)	203
6.22. Espectro de la señal Doppler con 128 muestras y zero-padding $n_{zp} = 1$ ($V_1 = V_2 = 0$)	203
6.23. Espectro de la señal Doppler con 128 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$ ($V_1 = V_2 = 0$)	203
6.24. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 0$	204

6.25. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 1$	204
6.26. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 2$	204
6.27. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 0$	204
6.28. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 1$	204
6.29. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 2$	204
6.30. Espectro de la señal Doppler con 256 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$ ($V_1 = V_2 = 0$)	205
6.31. Espectro de la señal Doppler con 256 muestras y zero-padding $n_{zp} = 1$ ($V_1 = V_2 = 0$)	205
6.32. Espectro de la señal Doppler con 256 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$ ($V_1 = V_2 = 0$)	205
6.33. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 0$	206
6.34. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 1$	206
6.35. Medidas de la velocidad $V_2 = 0$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 2$	206
6.36. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 0$	206
6.37. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 1$	206
6.38. Medidas de la velocidad $V_1 = 0$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 2$	206
6.39. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$ ($V_1 = V_2 = 0$)	207
6.40. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 1$ ($V_1 = V_2 = 0$)	207
6.41. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$ ($V_1 = V_2 = 0$)	207
6.42. Error en % de la medida de la componente de velocidad V_2 de la señal Doppler con 64, 128, 256 y 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$, $n_{zp} = 1$ y $n_{zp} = 2$ ($V_2 = 0$)	208
6.43. Error en % de la medida de la componente de velocidad V_1 de la señal Doppler con 64, 128, 256 y 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$, $n_{zp} = 1$ y $n_{zp} = 2$ ($V_1 = 0$)	208
6.44. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 0$	210
6.45. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 1$	210
6.46. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 2$	210
6.47. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 0$	210
6.48. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 1$	210
6.49. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 64$ y $n_{zp} = 2$	210

6.50. Espectro de la señal Doppler con 64 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 0$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	211
6.51. Espectro de la señal Doppler con 64 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 1$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	211
6.52. Espectro de la señal Doppler con 64 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 2$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	211
6.53. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 0$	212
6.54. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 1$	212
6.55. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 2$	212
6.56. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 0$	212
6.57. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 1$	212
6.58. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 128$ y $n_{zp} = 2$	212
6.59. Espectro de la señal Doppler con 128 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 0$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	213
6.60. Espectro de la señal Doppler con 128 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 1$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	213
6.61. Espectro de la señal Doppler con 128 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 2$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	213
6.62. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 0$	214
6.63. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 1$	214
6.64. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 2$	214
6.65. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 0$	214
6.66. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 1$	214
6.67. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 256$ y $n_{zp} = 2$	214
6.68. Espectro de la señal Doppler con 256 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 0$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	215
6.69. Espectro de la señal Doppler con 256 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 1$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	215
6.70. Espectro de la señal Doppler con 256 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 2$ ($V_1 = +3m/s, V_2 = -3m/s$)	215
6.71. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 0$	216
6.72. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 1$	216
6.73. Medidas de la velocidad $V_2 = -3m/s$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 2$	216
6.74. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 0$	216
6.75. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 1$	216
6.76. Medidas de la velocidad $V_1 = +3m/s$ con $N_m = 512$ y $n_{zp} = 2$	216

6.77. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 0$ ($V_1 = +3m/s$, $V_2 = -3m/s$)	217
6.78. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 1$ ($V_1 = +3m/s$, $V_2 = -3m/s$)	217
6.79. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 2$ ($V_1 = +3m/s$, $V_2 = -3m/s$)	217
6.80. Error en % de la medida de la componente de velocidad V_2 de la señal Doppler con 64, 128, 256 y 512 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 0$, $n_{zp} = 1$ y $n_{zp} = 2$ ($V_2 = -3m/s$)	218
6.81. Error en % de la medida de la componente de velocidad V_1 de la señal Doppler con 64, 128, 256 y 512 muestras y <i>zero-padding</i> $n_{zp} = 0$, $n_{zp} = 1$ y $n_{zp} = 2$ ($V_1 = +3m/s$)	218
6.82. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_1 del disco rotatorio .	220
6.83. Medida de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $-3m/s$	221
6.84. Medidas de la velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $+3m/s$	221
6.85. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_2 del disco rotatorio .	222
6.86. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $-2.42m/s$	223
6.87. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $+2.42m/s$	223
6.88. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_3 del disco rotatorio .	224
6.89. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $-1.81m/s$	225
6.90. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $+1.81m/s$	225
6.91. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_4 del disco rotatorio .	226
6.92. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $-1.21m/s$	227
6.93. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $+1.21m/s$	227
6.94. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_5 del disco rotatorio .	228
6.95. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de $-0.60m/s$	229

6.96. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de +0.60m/s	229
6.97. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_6 del disco rotatorio .	230
6.98. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de 0 m/s	231
6.99. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de 0 m/s	231
6.100. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_7 del disco rotatorio	232
6.101. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de +0.6 m/s	233
6.102. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de -0.6 m/s	233
6.103. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_8 del disco rotatorio	234
6.104. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de +1.21 m/s	235
6.105. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de -1.21 m/s	235
6.106. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_9 del disco rotatorio	236
6.107. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de +1.81 m/s	237
6.108. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de -1.81 m/s	237
6.109. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_{10} del disco rotatorio	238
6.110. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de +2.42 m/s	239
6.111. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de -2.42 m/s	239
6.112. Esquema de la medida de la velocidad en el punto P_{11} del disco rotatorio	240
6.113. Medidas de la componente de velocidad V_2 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de +3 m/s	241
6.114. Medidas de la componente de velocidad V_1 del blanco rotatorio a una velocidad lineal teórica de -3 m/s	241
6.115. Error en % de la medida de la componente de velocidad V_2 de la señal Doppler entre ± 3 m/s con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$	242
6.116. Medida de la componente de velocidad V_2 de la señal Doppler entre ± 3 m/s frente a la velocidad teórica	243

6.117. Error en % de la medida de la componente de velocidad V_1 de la señal Doppler entre ± 3 m/s con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$	244
6.118. Medida de la componente de velocidad V_1 de la señal Doppler entre ± 3 m/s frente a la velocidad teórica	245
6.119. Manguito de medida	247
6.120. Esquema del montaje utilizado para la medida de la velocidad de agua en un circuito cerrado	249
6.121. Circulación laminar por un tubo. Distribución de velocidades.	251
6.122. Perfil de velocidades de la sección longitudinal.	251
6.123. Manguito de medida	252
6.124. Situación de los puntos de medida	253
6.125. Esquema general del experimento hidrodinámico de la medida del gradiente de velocidad en un tubo circular, indicando los puntos de medida y componentes de velocidad detectadas sobre el manguito	254
6.126. Medidas de la componente de velocidad V_2 de agua en un circuito cerrado, en el punto P_5 (valores e histograma)	255
6.127. Medidas de la componente de velocidad V_1 de agua en un circuito cerrado, en el punto P_5 (valores e histograma)	256
6.128. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 0$	258
6.129. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 1$	258
6.130. Espectro de la señal Doppler con 512 muestras y zero-padding $n_{zp} = 2$	258
6.131. Relación lóbulo principal a secundario (NLPS) de una serie de 2000 medidas del espectro de la componente de velocidad V_2 de agua en un circuito cerrado	260
6.132. Número de muestras capturadas que superan la relación lóbulo principal a secundario (NLPS) de una serie de 2000 medidas del espectro de la componente de velocidad V_2 de agua en un circuito cerrado	260
6.133. Relación lóbulo principal a secundario (NLPS) de una serie de 2000 medidas del espectro de la componente de velocidad V_1 de agua en un circuito cerrado	261
6.134. Número de muestras capturadas que superan la relación lóbulo principal a secundario (NLPS) de una serie de 2000 medidas del espectro de la componente de velocidad V_1 de agua en un circuito cerrado	261
6.135. Valor medio de V_2 en función del número de medidas realizadas	262
6.136. Desviación típica en la medida de V_2 en función del número de medidas realizadas	262

6.137. Valor medio de V_1 en función del número de medidas realizadas 263

6.138. Desviación típica en la medida de V_1 en función del número de medidas realizadas 263

6.139. Valor medio de la componente de velocidad V_2 en función del NLPS mínimo aceptable, de agua en un circuito cerrado 264

6.140. Desviación típica de la componente de velocidad V_2 en función del NLPS mínimo aceptable, de agua en un circuito cerrado 264

6.141. Valor medio de la componente de velocidad V_1 en función del NLPS mínimo aceptable, de agua en un circuito cerrado 265

6.142. Desviación típica de la componente de velocidad V_1 en función del NLPS mínimo aceptable, de agua en un circuito cerrado 265

6.143. Medidas del perfil de velocidad de agua por un tubo de sección circular 267

6.144. Medidas de la variación (desviación típica) del perfil de velocidad de agua por un tubo de sección circular 268

7.1. Coordenadas utilizadas en la teoría de MIE, respecto al plano de dispersión. 275

7.2. Márgenes de valores del tamaño de la partícula x en función del tipo de zona de dispersión [WH77] 279

7.3. Intensidad dispersada en función del tamaño de *Mie* x , para $m=1.333-j0.2$ (partícula absorbente), y un ángulo de dispersión $\theta = 60^\circ$ 280

7.4. Intensidad dispersada en función del tamaño de *Mie* x , para $m=1.333$, y un ángulo de dispersión $\theta = 60^\circ$ 280

7.5. Intensidad dispersada (I_\perp, I_\parallel) en función del ángulo de dispersión θ , $x=0.1$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica 282

7.6. Intensidad dispersada (I_\perp, I_\parallel) en función del ángulo de dispersión θ , $x=0.5$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica 283

7.7. Intensidad dispersada (I_\perp, I_\parallel) en función del ángulo de dispersión θ , $x=1$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica 284

7.8. Intensidad dispersada (I_{\perp}, I_{\parallel}) en función del ángulo de dispersión θ , $x=2$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica	285
7.9. Intensidad dispersada (I_{\perp}, I_{\parallel}) en función del ángulo de dispersión θ , $x=3$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica	286
7.10. Intensidad dispersada (I_{\perp}, I_{\parallel}) en función del ángulo de dispersión θ , $x=5$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica	287
7.11. Intensidad dispersada (I_{\perp}, I_{\parallel}) en función del ángulo de dispersión θ , $x=10$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica	288
7.12. Intensidad dispersada (I_{\perp}, I_{\parallel}) en función del ángulo de dispersión θ , $x=20$, $m=1.218$. a) Módulo, b) Fase, c) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala lineal, d) Diagrama polar de la intensidad dispersada en escala logarítmica	289
7.13. Intensidad dispersada (I_{\perp}, I_{\parallel}) en función del parámetro de mie x , para $\theta = 0^{\circ}$ (DHD) y $\theta = 180^{\circ}$ (RD), y relación entre ellas, para $m=1.218$	291
8.1. Geometría Sistema LDA	294
8.2. Definición de la Visibilidad en una señal <i>burst</i>	304
8.3. Geometría Sistema LDA en configuración <i>RD</i>	309
8.4. Geometría Sistema LDA en configuración <i>DHD</i>	309
8.5. Geometría Sistema LDA)	310
9.1. Geometría Sistema <i>2D-LDA</i>	314
9.2. Localización de los haces para una sistema LDA de una dimensión y de un sistema 2D-LDA	329
9.3. Localización de los haces para una sistema LDA de una dimensión y de un sistema 2D-LDA+Filtrado para el batido entre los haces A-B	329
9.4. Geometría de un sistema 2D-LDA y definición de los vectores de propagación	331

9.5. Geometría de un sistema 2D-LDA+Filtrado y definición de los vectores de propagación	335
10.1. Parámetros del sistema 2D-LDA de la óptica transmisora y receptora . .	338
10.2. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD .	342
10.3. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD	342
10.4. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD	342
10.5. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD	342
10.6. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD	342
10.7. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD	342
10.8. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD . .	343
10.9. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD	343
10.10 Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD .	345
10.11 Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD	345
10.12 Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD	345
10.13. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD	345
10.14. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD	345
10.15. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD	345
10.16. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD .	346
10.17. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD	346
10.18. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	348
10.19. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	348
10.20. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	348
10.21. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	348
10.22. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	348

10.23. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	348
10.24. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD .	349
10.25. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD	349
10.26. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	351
10.27. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	351
10.28. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	351
10.29. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	351
10.30. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	351
10.31. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	351
10.32. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD .	352
10.33. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD	352
10.34. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD .	354
10.35. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	354
10.36. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	354
10.37. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	354
10.38. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	354
10.39. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	354
10.40. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD . .	355
10.41. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	355
10.42. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD .	357
10.43. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD	357
10.44. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD	357
10.45. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD	357
10.46. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD	357

10.47. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD 357

10.48. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD 358

10.49. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD 358

10.50. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 360

10.51. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 360

10.52. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 360

10.53. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 360

10.54. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 360

10.55. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 360

10.56. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 361

10.57. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD 361

10.58. Pedestal Local LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 363

10.59. Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 363

10.60. Visibilidad Local LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 363

10.61. Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 363

10.62. Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 363

10.63. Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 363

10.64. SNR_r Local LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 364

10.65. SNR_r Local 2D-LDA para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD 364

10.66. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR_r total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción DHD 366

10.67. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR_r total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción DHD 366

10.68. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR_r total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción DHD 367

10.69. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR_r total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción DHD 367

10.70. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 5\mu m$ en recepción RD	369
10.71. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 7\mu m$ en recepción RD	369
10.72. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 10\mu m$ en recepción RD	370
10.73. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de $a_p = 20\mu m$ en recepción RD	370
10.74. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula $a_p = 0,1 - 20\mu m$ en recepción DHD	372
10.75. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema 2D-LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula $a_p = 0,1 - 20\mu m$ en recepción DHD	372
10.76. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula $a_p = 0,1 - 20\mu m$ en recepción RD	374
10.77. Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema 2D-LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula $a_p = 0,1 - 20\mu m$ en recepción RD	374
C.1. Geometría Sistema LDA con haces en el eje X	397
H.1. Vistas del montaje del procesador de señal	494
H.2. Vistas del montaje del amplificador ajustable del procesador de señal	495
H.3. Vistas del montaje del procesador de pedestal	496

Índice de cuadros

2.1. Características más importantes de las tres configuraciones de un sistema LDA.	32
3.1. Principales características de los materiales más utilizados en moduladores acusto-ópticos comerciales[Oe03]	53
3.2. Características más importantes de diferentes tipos de láser utilizados en sistemas LDA [ABDT03]	57
4.1. Características del fabricante del láser <i>GLG5720</i> y fuente de alimentación <i>GLG5722</i> del sistemas 2D-LDA.	73
4.2. Especificaciones del AOM1 modelo <i>AA.SHT.40/A3@532</i> [Neo03]	77
4.3. Especificaciones del AOM2 modelo <i>AA.SHT.45/A3@532</i> [Neo03]	78
4.4. Relación velocidad partícula y desplazamiento Doppler en agua, $\gamma = 4,5^\circ$ y $\lambda_o = 632,8nm$	81
4.5. Relación velocidad partícula y desplazamiento Doppler en aire, $\gamma = 6^\circ$ y $\lambda_o = 632,8nm$	81
4.6. Relación componente velocidad partícula V_1 y frecuencia batido $f_{AOM1} \pm f_{D_{2-3}}$ en agua, $\gamma = 4,5^\circ$ y $\lambda_o = 632,8nm$	82
4.7. Relación componente velocidad partícula V_2 y frecuencia batido $f_{AOM2} \pm f_{D_{2-3}}$ en agua, $\gamma = 4,5^\circ$ y $\lambda_o = 632,8nm$	83
4.8. Relación componente velocidad partícula V_1 y frecuencia batido $f_{AOM1} \pm f_{D_{1-3}}$ en aire, $\gamma = 6^\circ$ y $\lambda_o = 632,8nm$	84
4.9. Relación componente velocidad partícula V_2 y frecuencia batido $f_{AOM2} \pm f_{D_{2-3}}$ en aire, $\gamma = 6^\circ$ y $\lambda_o = 632,8nm$	85
4.10. Características volumen de medida	89
4.11. Frecuencia Doppler f_D o $f_{D_{1-3}}$, frecuencia del batido $f_{AOM1} \pm f_{D_{1-3}}$, frecuencia del batido a la salida del mezclador $f_{FI_{1-3}} \mp f_{D_{1-3}}$ y el error relativo para diferentes velocidades de la componente V_1	105

4.12. Frecuencia Doppler f_D o $f_{D_{2-3}}$, frecuencia del batido $f_{AOM2} \pm f_{D_{2-3}}$, frecuencia del batido a la salida del mezclador $f_{FI_{2-3}} \pm f_{D_{2-3}}$ y el error relativo para diferentes velocidades de la componente V_2	105
4.13. Características del filtro paso banda equivalente del circuito procesador de señal [MC03]	115
4.14. Características del mezclador UNCL-R1 del circuito procesador de señal [MC03]	116
4.15. Características del VCO POS50 del circuito procesador de señal [MC03] .	117
4.16. Características del regulador de tensión LT1021-10 del circuito procesador de señal [Tec03]	118
4.17. Características del filtro paso bajo PLP5 del circuito procesador de señal [MC03]	119
4.18. Características del amplificador operacional CLC425 del circuito procesador de señal [NS03]	128
4.19. Especificaciones de la placa de adquisición CSLITE	147
5.1. Densidades de diferentes partículas de sembrado.	180
5.2. Índices de refracción de diferentes partículas de sembrado.	182
5.3. Punto de fusión de diferentes partículas de sembrado.	183
5.4. Tipos de sembrado comerciales Dantec [Dyn02b].	184
6.1. Relación entre la velocidad lineal del blanco solido en rotación y las frecuencia y pulsaciones obtenidas por el sistema de calibración	193
6.2. Relación entre las componentes de velocidad V_1 y V_2 , las frecuencias asociadas y la posición de los diferentes puntos de medida del blanco solido en rotación	198
6.3. Posición de los puntos de medida	253
6.4. Medidas de la velocidad media y desviación típica de 2000 medidas en diferentes puntos de un tubo de agua en un circuito cerrado	266
7.1. Zonas de dispersión en función del tamaño de la partícula	278
9.1. Comparación entre las formulaciones necesarias para el cálculo de la SNR de un sistema LDA, frente a un sistema 2D-LDA.	327