



Universidad
Nacional
de Córdoba

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

PRÁCTICA SUPERVISADA

“Calibración de sensores de presión de
alta frecuencia para su uso en modelos
físicos hidráulicos”

CARRERA: Ingeniería Civil

ALUMNO: ROMO, José Carlos

TUTOR INTERNO: DR. ING. TARRAB, Leticia

TUTOR EXTERNO: ING. MUCHIUT, Jonathan

AÑO 2019

INDICE

<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	13
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivo general	14
1.1.2. Objetivos específicos de la práctica supervisada	14
1.1.3. Objetivos personales de la práctica supervisada	14
<u>2. MARCO TEÓRICO</u>	15
2.1. Presiones en fluidos	15
2.1.1. Definición de presión	15
2.1.2. Tipos de presiones.....	15
2.2. Tipos de instrumentos para medir presión	17
2.2.1. Clasificación con respecto al tipo de presión	17
2.2.2. Clasificación con respecto al tipo de tecnología	18
2.2.3. Consideraciones para elegir sensores	25
<u>3. CALIBRACION DE LOS SENSORES</u>	26
3.1. Sensor de presión Pasco.....	26
3.1.1. Descripción	26
3.1.2. Programa Capstone.....	27
3.2. Metodología	37
3.2.1. Mediciones atmosféricas.	38
3.2.2 Mediciones utilizadas para la calibración del sensor	39
3.2.3. Mediciones estáticas.....	42
3.2.4. Mediciones dinámicas.....	43
3.3. Aplicación de los sensores calibrados en el modelo físico.....	44
3.3.1 Descripción del Modelo Físico “Dique Los Alazanes”	44
3.3.2. Mediciones en el modelo físico.....	46
3.4. Síntesis de metodología de medición	47
<u>4. RESULTADOS</u>	49
4.1. Resultados de mediciones atmosféricas.....	49
4.1.1. Discusión de resultados mediciones atmosféricas	51
4.2. Resultados de mediciones para calibración	52

4.2.1. Calibración con presión atmosférica.....	52
4.2.2. Mediciones con variaciones en presión atmosférica	66
4.2.3. Rectas de calibración con presión atmosférica.....	68
4.2.4. Resultados de Calibración con P0	69
4.2.5. Rectas de calibración con P0	79
4.2.6. Discusión de resultados.....	81
4.3. Resultados en mediciones estáticas.....	84
4.3.1. Discusión de resultados.....	103
4.4. Resultados en mediciones dinámicas	104
4.5. Resultados en el Modelo Físico “Dique los Alazanes”	138
4.5.1. Discusión de resultados en el Modelo Físico “Dique los Alazanes”	144
5. CONCLUSIONES	145
5.1. Calibración.....	145
5.2. Presiones Atmosféricas	145
5.3. Presiones Estáticas	146
5.4. Presiones Dinámicas.....	146
5.5. Modelo Dique “Los Alazanes”	147
5.6. Conclusión personal	147
6. BIBLIOGRAFÍA	148

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala relativa y absoluta. (Cabrera, 2007)	16
Figura 2. Sensor de presión absoluta de la marca VEGA.	17
Figura 3. Sensor de presión relativa de la marca IFM.	18
Figura 4. Toma Piezométrica.	19
Figura 5. Toma Piezométrica.	20
Figura 6. Partes de un sensor piezoresistivo.	22
Figura 7. Transductor Piezoresistivo.	23
Figura 8. Transductor Piezoresistivo.	23
Figura 9. Transductor Piezoresistivo.	24
Figura 10. Sensor Pasco.	27
Figura 11. Ventana principal.	28
Figura 12. Agregar Dispositivos.	29
Figura 13. Propiedades de los dispositivos.	30
Figura 14. Variables a modificar.	31
Figura 15. Configuración de nombres y símbolos.	31
Figura 16. Configuración de formato numérico.	32
Figura 17. Configuración del Tiempo.	32
Figura 18. Tiempo de medición.	33
Figura 19. Configuración de Frecuencia.	33
Figura 20. Inicio y pausa de Medición.	34
Figura 21. Agregar área de Gráficos.	34
Figura 22. Observar series medidas y renombrar.	35
Figura 23. Configurar y eliminar series.	36
Figura 24. Resultados estadísticos de serie.	36
Figura 25. Exportar datos.	37
Figura 26. Tubo de ensayo diseñado en Laboratorio.	39
Figura 27. Variables para calibración.	40
Figura 28. Unión en T para conexión de ambos sensores.	43
Figura 29. Características geométricas del cuenco disipados del Modelo físico.	44
Figura 30. Características geométricas del vertedero y cuenco.	45
Figura 31. Tomas de presión dinámica.	45
Figura 32. Posiciones del azud.	46
Figura 33. Modelo físico los Alazanes.	47
Figura 34. Ensayo 1 y 2. Lecturas atmosféricas en Sensor A y B.	50
Figura 35. Ensayo 3. Lecturas atmosféricas en Sensor A y B.	50
Figura 36. Ensayo 1 y 2. Diferencia entre las lecturas atmosféricas de ambos sensores.	51
Figura 37. Resultados Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.	54
Figura 38. Resultados Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.	56
Figura 39. Resultado Ensayo 18, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.	58

Figura 40. Resultados Ensayo 18, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	59
Figura 41. Resultados Ensayo 18, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	60
Figura 42: Resultados Ensayo 18, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	61
Figura 43. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	62
Figura 44. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	63
Figura 45. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	64
Figura 46. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	65
Figura 47. Variables para calibración con P0.....	69
Figura 48. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	71
Figura 49. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	72
Figura 50. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	73
Figura 51. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	74
Figura 52. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	75
Figura 53. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	76
Figura 54. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	77
Figura 55. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.....	78
Figura 56. Presión Estática a 10 cm.....	84
Figura 57. Estática a 10 cm entre 0 y 5 s.....	85
Figura 58. Estática a 10 cm entre 10 y 15 s.....	85
Figura 59. Presión Estática a 20 cm.....	87
Figura 60. Estática a 20 cm entre 28 y 33 s.....	87
Figura 61. Estática a 20 cm entre 90 y 95 s.....	88
Figura 62. Presión Estática a 30 cm.....	89
Figura 63. Estática a 30 cm entre 110 y 115 s.....	89
Figura 64. Estática a 30 cm entre 190 y 195 s.....	90
Figura 65. Presión Estática a 40 cm.....	91
Figura 66. Estática a 40 cm entre 18 y 23 s.....	91
Figura 67. Estática a 40 cm entre 90 y 95 s.....	92

Figura 68. Presión Estática a 10 Hz.....	94
Figura 69. Estática a 10 Hz entre 20 y 30 s.....	94
Figura 70. Presión Estática a 50 Hz.....	95
Figura 71. Estática a 50 Hz entre 60 y 65 s.....	95
Figura 72. Presión Estática a 100 Hz.....	96
Figura 73. Estática a 100 Hz entre 30 y 35 s.....	96
Figura 74. Presión Estática a 1000 Hz.	97
Figura 75. Estática a 1000 Hz entre 30 y 35 s.....	97
Figura 76. Lecturas Sensor A.	98
Figura 77. Lecturas Sensor A entre 10 y 11 s.	98
Figura 78. Lecturas Sensor B.	98
Figura 79. Lecturas Sensor B entre 10 y 11 s.....	99
Figura 80. Sensor B - Sensor A.....	100
Figura 81. Sensor B - Sensor A entre 25 y 30 s.....	100
Figura 82. Sensor A-Sensor B.	101
Figura 83. Sensor A-Sensor B entre 25 y 30 s.....	101
Figura 84. Sensor B-Sensor A.	102
Figura 85. Sensor A-Sensor B.	102
Figura 86. Medición a 30 s, Sensor A y B.....	104
Figura 87. Medición 20 seg, Sensor A y B.....	105
Figura 88. Presión dinámica en Agitación.	106
Figura 89. Presión dinámica en Agitación entre 55 y 60 s.	106
Figura 90. Presión Dinámica en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B.	107
Figura 91. Presión Dinámica en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B entre los 55 y 60 s.	107
Figura 92. Presión Dinámica Calibrada en Agitación.....	108
Figura 93. Presión Dinámica Calibrada en Agitación entre 55 y 60 s.....	108
Figura 94. Presión Dinámica Calibrada en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B.	109
Figura 95. Presión Dinámica Calibrada en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B entre los 55 y 60 s.....	109
Figura 96. Presión Dinámica a 10 Hz.	111
Figura 97. Presión Dinámica a 10 Hz entre 30 y 40 s.	112
Figura 98. Presión Dinámica a 10 Hz, Sensor A y diferencia entre Sensor A y Sensor.....	112
Figura 99. Presión Dinámica a 10 Hz, Sensor B y diferencia entre Sensor A y Sensor B entre 30 y 40 s.	113
Figura 100. Presión Dinámica Calibrada a 10 Hz, Sensor B y diferencia entra Sensor A y B entre 30 y 40 s.....	113
Figura 101. Presión Dinámica a 50 Hz.	114
Figura 102. Presión Dinámica a 50 Hz entre 30 y 35 s.	114
Figura 103. Presión Dinámica a 50 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B.....	115
Figura 104. Presión Dinámica a 50 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B entre 30 y 35 s.	115
Figura 105. Presión Dinámica a 100 Hz.	116
Figura 106. Presión Dinámica a 100 Hz entre 30 y 35 s.	116

Figura 107. Presión Dinámica a 100 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B.....	117
Figura 108. Presión Dinámica a 100 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B entre 30 y 35 s.	117
Figura 109. Presión Dinámica a 1000 Hz.	118
Figura 110. Presión Dinámica a 1000 Hz entre 35 y 40 s.	118
Figura 111. Presión Dinámica a 1000 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B.....	119
Figura 112. Presión Dinámica a 1000 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B entre 35 y 37 s.	119
Figura 113. Presión Dinámica Calibrada a 1000 Hz entre 35 y 40 s.	120
Figura 114. Lecturas a 100 Hz (Sensor B) y Lecturas a 50 Hz (Sensor A).....	123
Figura 115. Lecturas a 100 Hz (Sensor B) y Lecturas a 50 Hz (Sensor A) entre 550 y 555 s.	123
Figura 116. Lecturas a 50 Hz con ambos sensores.	124
Figura 117. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz.	124
Figura 118. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz entre 550 y 555 s.	125
Figura 119. Lecturas Calibradas en ambos sensores a 50 Hz entre 550 y 555 s.	125
Figura 120. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz Calibradas entre 550 y 555 s.	126
Figura 121. Lecturas a 100 Hz (Sensor A) y Lecturas a 50 Hz (Sensor B).	126
Figura 122. Lecturas a 100 Hz (Sensor A) y Lecturas a 50 Hz (Sensor B) entre 550 y 555 s.	127
Figura 123. Lecturas a 50 Hz para ambos sensores.	127
Figura 124. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz.	128
Figura 125. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz entre 550 y 555 s.	128
Figura 126. Lecturas a 50 Hz Calibradas para ambos sensores.....	129
Figura 127. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz Calibradas entre 550 y 555 s.	129
Figura 128. Lecturas a 50 Hz (Sensor A) y Lecturas a 1000 Hz (Sensor B).....	130
Figura 129. Lecturas a 50 Hz (Sensor A) y lecturas a 1000 Hz (Sensor B) entre 450 y 455 s.	130
Figura 130. Lecturas a 50 Hz para ambos sensores entre 450 y 455 s.....	130
Figura 131. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz.	131
Figura 132. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz entre 450 y 455 s.....	131
Figura 133. Lecturas a 50 Hz Calibradas para ambos sensores entre 450 y 455 s.....	132
Figura 134. Lecturas a 1000 Hz (Sensor A) y Lecturas a 50 Hz (Sensor B).....	132
Figura 135. Lecturas a 50 Hz para ambos sensores.	133
Figura 136. Sensor A y diferencia entre A y B.	133
Figura 137. Lecturas en Tomas 19, 22 y 25 calibradas.....	141
Figura 138. Lecturas en Tomas 20, 23 y 26 calibradas.....	141
Figura 139. Lecturas en Tomas 21, 24 y 27 calibradas.....	142
Figura 140. Lectura en Toma 23, Sensor B.....	142
Figura 141. Lecturas en Toma 26, Sensor A.	143
Figura 142. Lecturas en Toma 20, Sensor A y B.	143

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica básica de cada ensayo.	38
Tabla 2. Variables usadas en calibración.....	41
Tabla 3. Características de ensayos de Calibración.....	41
Tabla 4. Mediciones en tomas.	47
Tabla 5. Variables de líneas de tendencia.	49
Tabla 6. Resultados estadísticos en Ensayos 1,2 y 3.	51
Tabla 7. Resultados Ensayos 4, 6, 7, 9 y 10.	53
Tabla 8. Líneas de tendencia Sensor A.	54
Tabla 9. Resultados ensayos 5, 8 y 11.	55
Tabla 10. Líneas de tendencia Sensor B.	56
Tabla 11. Presiones atmosféricas inicial y final, Ensayo 18.....	57
Tabla 12. Resultados Ensayo 18, Experimento 1.A. Sensor A.	57
Tabla 13. Resultados Ensayo 18, Experimento 1.B. Sensor B.	58
Tabla 14. Resultados Ensayo 18, Experimento 2.A. Sensor A.	59
Tabla 15. Resultados Ensayo 18, Experimento 2.B. Sensor B.	60
Tabla 16. Presiones atmosféricas iniciales y finales, Ensayo 20.....	61
Tabla 17. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.A. Sensor A.	62
Tabla 18. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.B. Sensor B.	63
Tabla 19. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.A. Sensor A.	64
Tabla 20. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.B. Sensor B.	65
Tabla 21. Variaciones atmosféricas iniciales y finales, Ensayo 18.	66
Tabla 22. Variaciones atmosféricas iniciales, Ensayo 20.....	66
Tabla 23. Variaciones atmosféricas finales, Ensayo 20.	66
Tabla 24. Rectas de calibración, Ensayo 18 y 20, Sensor A.	67
Tabla 25. Rectas de calibración, Ensayo 18 y 20, Sensor B.	67
Tabla 26. Rectas de calibración con Presión atmosférica, Sensor A.	68
Tabla 27. Rectas de calibración con Presión atmosférica, Sensor A.	68
Tabla 28. Rectas a utilizar en Sensor A y B.	69
Tabla 29. P0 inicial y final, Ensayo 19.	70
Tabla 30. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.A. Sensor A.	70
Tabla 31. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.B. Sensor B.	71
Tabla 32. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.A. Sensor A.	72
Tabla 33. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.B. Sensor B.	73
Tabla 34. P0 inicial y final, Ensayo 21.	74
Tabla 35. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.A. Sensor A.	75
Tabla 36. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.B. Sensor B.	76
Tabla 37. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.A. Sensor A.	77
Tabla 38. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.B. Sensor B.	78
Tabla 39. Rectas calibración con P0, Ensayo 19 y 21, Sensor A.	79

Tabla 40. Rectas calibración con P0, Ensayo 19 y 21, Sensor B.	80
Tabla 41. Rectas elegidas, Sensor A.	80
Tabla 42. Rectas elegidas, Sensor B.	80
Tabla 43. Rectas a utilizar con Sensor A y B.	81
Tabla 44. Presión corregida con P0, Sensor A.....	82
Tabla 45. Presión corregida con atmosférica, Sensor A.....	82
Tabla 46. Presión corregida con P0 , Sensor B.....	83
Tabla 47. Presión corregida con atmosférica, Sensor B.....	83
Tabla 48. Resultados Estadísticos en 10 cm.....	86
Tabla 49. Resultados Estadísticos en 20 cm.....	88
Tabla 50. Resultados Estadísticos en 30 cm.....	90
Tabla 51. Resultados Estadísticos en 40 cm.....	92
Tabla 52. Resultados Estadísticos 10, 20, 30 y 40 cm.	93
Tabla 53. Resultados estadísticos Ensayo 13.	99
Tabla 54. Resultados estadísticos Ensayo 14.	103
Tabla 55. Resultados estadísticos Ensayo 15.	106
Tabla 56. Resultados Estadísticos en agitación.....	107
Tabla 57. Rectas finales.	108
Tabla 58. Máximas diferencias en Agitación.....	109
Tabla 59. Resultados estadísticos en Agitación calibrados.	109
Tabla 60. Desvíos y valores máximos en diferencias entre A y B.....	120
Tabla 61. Desvíos y valores máximos en diferencias entre A y B calibradas.	120
Tabla 62. Resultados Estadísticos Ensayo 16.	121
Tabla 63. Resultados Estadísticos Calibrados Ensayo 16.	121
Tabla 64. Variación de desvíos después de calibrar, Ensayo 16.	122
Tabla 65. Desvíos y Máxima diferencia en cada medición.....	133
Tabla 66. Desvíos y Máxima diferencia en cada medición Calibrada	134
Tabla 67. Resultados estadísticos de ambos en sensores a 50 Hz.	134
Tabla 68. Resultados estadísticos de ambos sensores a 50 Hz calibrados.	134
Tabla 69. Resultados estadísticos ensayo 17.	135
Tabla 70. Resultados estadísticos calibrados ensayo 17.....	135
Tabla 71. Diferencia de los desvíos entre mediciones calibradas y sin calibrar.	135
Tabla 72. Desvíos en kPa para 50 Hz en cada medición con el tramo total.....	136
Tabla 73. Desvíos en kPa para 50 Hz en 130 s.....	136
Tabla 74. Presiones atmosféricas iniciales y finales tomadas en el modelo.....	138
Tabla 75. Resumen de mediciones realizadas en el modelo.....	138
Tabla 76. Lecturas L0 de las Tomas.	139
Tabla 77. Resultados estadísticos en el modelo.	140

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar a la Dr. Ing. Leticia Tarrab por abrirme las puertas del Laboratorio de Hidráulica en un principio para realizar trabajos de ayudantía durante dos años y posteriormente ofrecerme la posibilidad de efectuar la correspondiente practica supervisada; como también agradezco al Ing. Jonathan Muchiut por la disposición entregada como tutor externo ante cualquier inquietud.

Agradecer a las autoridades del Laboratorio de Hidráulica por el espacio físico y los distintos instrumentos y equipos brindados para el correcto desarrollo de la practica supervisada. Agradezco al personal del Laboratorio por estar predispuestos de buena manera ante cualquier consulta especialmente al Mg. Ing. Matías Eder quien ayudo de gran manera en el comienzo de la practica supervisada.

RESUMEN

La presente práctica supervisada se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyN), bajo la supervisión del Ing. Jonathan Muchiut y la Dra. Ing. Leticia Tarrab.

En este trabajo se resumen los estudios experimentales realizados en la Práctica Supervisada “Calibración de sensores de presión de alta frecuencia para su uso en modelos físicos hidráulicos”.

Para lograr una comprensión de los ensayos realizados se empezará por desarrollar una serie de conceptos teóricos tales como: tipos de presión y los instrumentos necesarios para medir cada una de ellas.

Se describe los procedimientos necesarios para llevar a cabo las distintas mediciones para obtener la calibración de los sensores. Se realizaron una serie de ensayos: atmosféricos, calibración, estáticos y dinámicos, obteniéndose rectas de ajuste para diversas configuraciones. Luego se presenta un caso de aplicación del uso de los sensores calibrados en un modelo físico del laboratorio.

Por ultimo expresamos los resultados obtenidos en las diferentes mediciones de manera gráfica y estadística.

1. INTRODUCCIÓN

En el proyecto de las distintas obras hidráulicas se debe tener en cuenta una de las variables fundamentales que es la presión, ya que la misma genera inconvenientes tales como socavación, erosión, fatiga, desprendimiento, rotura en diferentes sectores de la obra por sobrepresiones, entre otros. Debido a la fuerza ejercida por el agua, la medición de presión nos sirve para la caracterización de flujos. Por lo nombrado anteriormente se debe realizar una adecuada medición de la variable, para lo cual se necesita: conocer los distintos instrumentos para determinada medición y una correcta metodología en la medición.

Las técnicas y metodologías de medición de variables hidrodinámicas en prototipo, hacen de la generación de modelos una herramienta básica para el estudio de los fenómenos que se desean estudiar. Sin embargo, y bajo los supuestos de cumplir con ciertos requisitos, denominados condiciones de similitud, es posible recrear el prototipo a escala conveniente, plantear diversos escenarios tanto hidrológicos como hidráulicos en los que, si bien no cuentan con la flexibilidad de un modelo numérico, el flujo tridimensional que atraviesa el modelo físico es análogo al del prototipo, y permite aplicar técnicas y metodologías de medición más sencillas. (Muchiut, 2019)

El desafío planteado consiste en realizar mediciones de presión utilizando sensores remotos que fueron obtenidos recientemente por el Laboratorio de Hidráulica y los cuales necesitan de una adecuada calibración para obtener resultados que representen los procesos físicos reales.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Obtener una calibración de dos sensores de presión de alta frecuencia para su uso en modelos físicos hidráulicos.

1.1.2. Objetivos específicos de la práctica supervisada

- Capacitar en el área de la hidráulica experimental.
- Recopilar antecedentes y realizar una revisión bibliográfica sobre instrumentos para medir presiones.
- Calibrar los sensores PASCO disponibles en el LH.
- Aplicar calibración sobre las presiones dinámicas obtenidas en el cuenco de disipación del modelo físico Los Alazanes.
- Procesar la información experimental obtenida de los ensayos.
- Analizar e interpretar los resultados experimentales.

1.1.3. Objetivos personales de la práctica supervisada

- Lograr una interacción permanente con un grupo de profesionales aplicados a la ingeniería hidráulica.
- Alcanzar un desarrollo personal y profesional en un ámbito de trabajo cotidiano.
- Redactar un informe que sintetice el trabajo realizado y que sea de utilidad para próximos estudios e investigaciones.
- Aplicar y profundizar los conceptos adquiridos durante el cursado de la carrera Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Presiones en fluidos

2.1.1. Definición de presión

El concepto **presión en un fluido** se utiliza para hacer referencia a la fuerza normal ejercida por éste perfectamente distribuida sobre una superficie.

La presión en un fluido puede tener diferentes magnitudes en sus tres direcciones. En un fluido en reposo la presión es igual en todas sus direcciones (Streeter, 1988, p.25). En un fluido en movimiento dependen del sentido y magnitud que describe dicho fluido en cada una de las direcciones. Por lo que la presión se define como el promedio de los tres esfuerzos normales mutuamente perpendiculares en un punto. (Streeter, 1988, p.26)

El valor de presión se da en unidades de fuerza por unidad de área, esto es kg/cm^2 , libras/pulgada^2 , N/m^2 (kPa) entre otras, en nuestro caso la unidad a utilizar será kPa.

2.1.2. Tipos de presiones

Para definir con mayor propiedad el concepto de presión en un fluido se distinguen habitualmente varios tipos de presión:

La presión hidrostática:

Es la presión que se genera en un fluido en reposo. En este caso la presión dependerá de llamadas fuerzas de cuerpo que en nuestro caso la única presente es la fuerza de la gravedad. Por lo que para definir la presión hidrostática se necesita conocer la densidad del fluido, la fuerza de gravedad y la altura de agua aplicada sobre el cuerpo analizado. Cualquier cuerpo por el simple hecho de estar sumergido en un fluido se encontrará sometido a dicha presión.

Para fluidos que se pueden considerar homogéneos e incompresibles (densidad constante) la presión se define mediante la Ecuación 1:

$$P_{hidrostatica} = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde cada variable es:

ρ es la densidad del fluido; g es la aceleración de la gravedad; h es la altura del fluido.

Presión Dinámica:

Es la presión que se produce en un fluido en movimiento que depende de la velocidad del mismo. Esta se ejerce solamente en la dirección del fluido. Cuando los fluidos se mueven producen un incremento adicional de la presión estática ya que la superficie no está solamente sometida a la fuerza de gravedad del fluido y se genera una variación de la presión al chocar el fluido sobre un área perpendicular al movimiento.

La suma algebraica de la presión hidrostática y la presión dinámica se llama la presión total. En un fluido estático la presión dinámica es cero.

Presión Atmosférica (P_{atm}):

Relacionada a la profundidad de la atmósfera terrestre, el aire que nos rodea ejerce una presión, conocida como presión atmosférica y varía según las condiciones climáticas (temperatura y humedad). También puede modificarse según la altitud (decrece con la altitud) por encima o por debajo del nivel del mar en el que se realiza, al nivel del mar ésta es de aproximadamente 760 mm de Hg, 14.7 psi o 100 KPa.

Presión absoluta (P_{abs}):

Toma como medida el cero absoluto y como su nombre lo indica por debajo de ella no existe ninguna presión negativa, o sea que todas las presiones son positivas o arriba de cero. Es la presión referida al vacío absoluto. (Cabrera, 2007)

Presión relativa (P_{rel}):

A diferencia de la anterior toma como valor de referencia cero a la presión atmosférica, por lo que se considera como el valor de presión por encima de la atmosférica.

El instrumento que se utiliza para medir la presión relativa es el manómetro; y cuando esta medición está por debajo de la presión atmosférica se denomina presión de vacío; y el instrumento que se utiliza para medirla es el vacuómetro. (Cabrera, 2007)

La presión absoluta puede obtenerse mediante la medición de las presiones relativas y atmosféricas o de manera contraria obtener la presión relativa mediante la medición de las presiones absolutas y atmosféricas (metodología utilizada en las mediciones de calibración). Se calcula mediante la:

$$P_{abs} = P_{rel} + P_{atm} \quad \text{Ecuación 2}$$

En la Figura 1 se podrá apreciar mejor las diferencias relativas entre una presión y la otra.

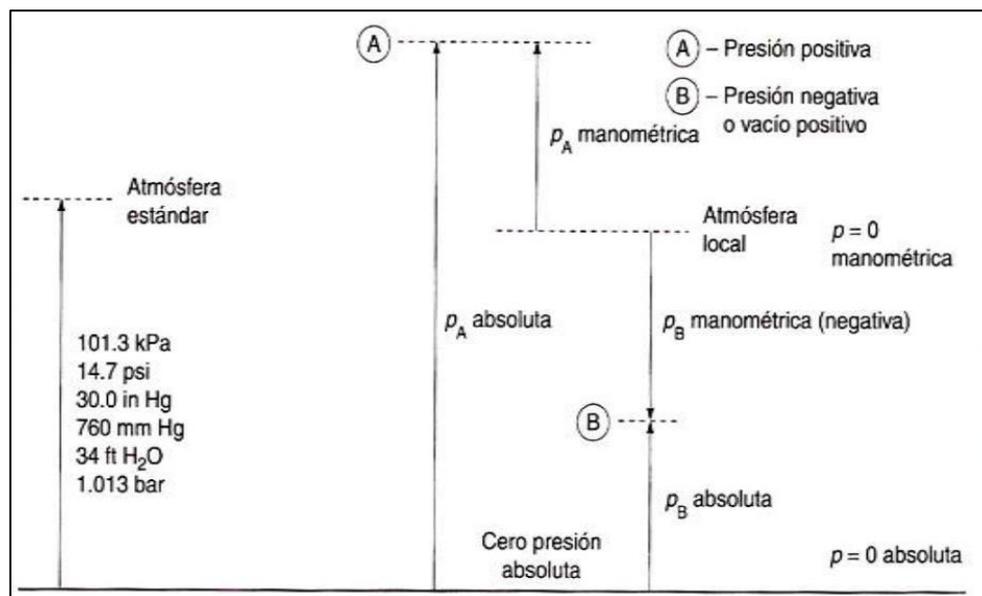


Figura 1. Escala relativa y absoluta. (Cabrera, 2007)

2.2. Tipos de instrumentos para medir presión

2.2.1. Clasificación con respecto al tipo de presión

Con los tipos de presión descriptas se hará hincapié en las presiones absolutas y relativas. La elección de un sensor depende sobre todo del punto de referencia, esto es, de si se desea conocer la presión en relación con la presión atmosférica o no.

Sensor de presión absoluta

Un sensor de presión absoluta mide la presión respecto al vacío. En la Figura 2 se puede observar un ejemplo de un sensor de presión absoluta.



Figura 2. Sensor de presión absoluta de la marca VEGA.

Un sensor de presión absoluta es el único con el que podemos obtener el valor de la presión atmosférica.

La presión atmosférica puede variar en unos 3 kPa debido a los cambios meteorológicos. Por lo tanto, para el mismo valor de presión medido, un sensor de presión relativa puede dar errores de medición debido a cambios en la presión atmosférica. Este error puede ser insignificante cuando se miden altas presiones, aunque significativo para las mediciones de bajas presiones. En este caso, sería idóneo utilizar un sensor de presión absoluta.

Sensor de presión relativa

Un sensor de presión relativa se basa en la presión atmosférica ambiente y mide, por lo tanto, la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica. En la Figura 3 se observa un ejemplo de un sensor de presión relativa.



Figura 3. Sensor de presión relativa de la marca IFM.

Un sensor de presión relativa es útil cuando se desea eliminar la influencia de la presión atmosférica en la medición. Por ejemplo, cuando se utiliza un sensor de presión para medir la presión hidrostática de un líquido en un tanque para determinar su nivel, cuya superficie también está sujeta a la presión atmosférica, el sensor de presión relativa medirá en todo momento la presión atmosférica modificando en cada instante el cero relativo y mediante el mismo determinar la presión hidrostática.

2.2.2. Clasificación con respecto al tipo de tecnología

Con respecto a la tecnología y a los tipos de sensores existentes se puede hacer una clasificación con respecto a su funcionamiento y manera de tomar las presiones.

Podemos agruparlos en cuatro grupos:

- ◆ **Mecánicos**
- ◆ **Electromecánicos**
- ◆ **Neumáticos**
- ◆ **Electrónicos**

En los **instrumentos para medir la presión** que se hará hincapié son los que fueron utilizados durante las mediciones y otros instrumentos presentes en el laboratorio, entre los que podemos nombrar del tipo mecánico como las tomas piezométricas junto a los del tipo eléctricos en los que se puede citar a los piezoeléctricos, capacitivos y piezoresistivos. Las mediciones fueron realizadas con sensores piezoresistivos.

2.2.2.1. Mecánicos

Estos tipos de instrumentos son los que determinan la presión existente ejercida por un líquido, cuya densidad y altura son conocidas. Son elementos de medida directa pero no suministran una señal fácil de tratar. Si se los adapta a una salida eléctrica obtenemos un instrumento de medición electromecánico.

Toma Piezométrica

Está conformado por un tubo transparente que en un extremo se encuentra en contacto con el fluido en el punto donde se requiere medir la presión y el otro extremo libre donde el agua se eleva para poder observar la altura de agua aplicada. Mide directamente la presión actuante en el contorno de una superficie, la toma debe colocarse en dirección perpendicular a dicha superficie. El valor de presión se obtiene mediante la altura leída y la densidad del fluido.

Ventajas:

- De simple aplicación
- Económico
- Buena precisión

Desventajas:

- No mide presión dinámica a menos que se lo disponga en una posición inclinada con una componente alineada hacia el flujo
- Sensible a aspectos constructivos

Aplicaciones: Se utiliza para calcular la presión total, también denominada presión de estancamiento.

En la Figura 4 y Figura 5 podremos observar las tomas piezométricas desde cómo se genera la unión entre el punto de aplicación de presión y las lecturas tomadas.

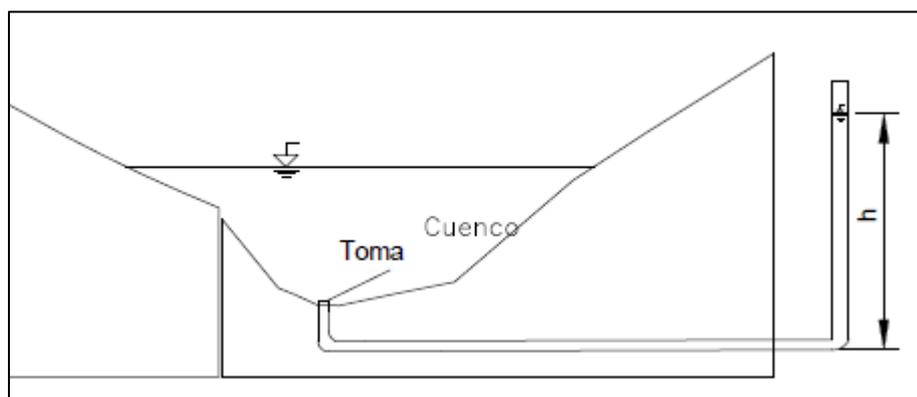


Figura 4. Toma Piezométrica.

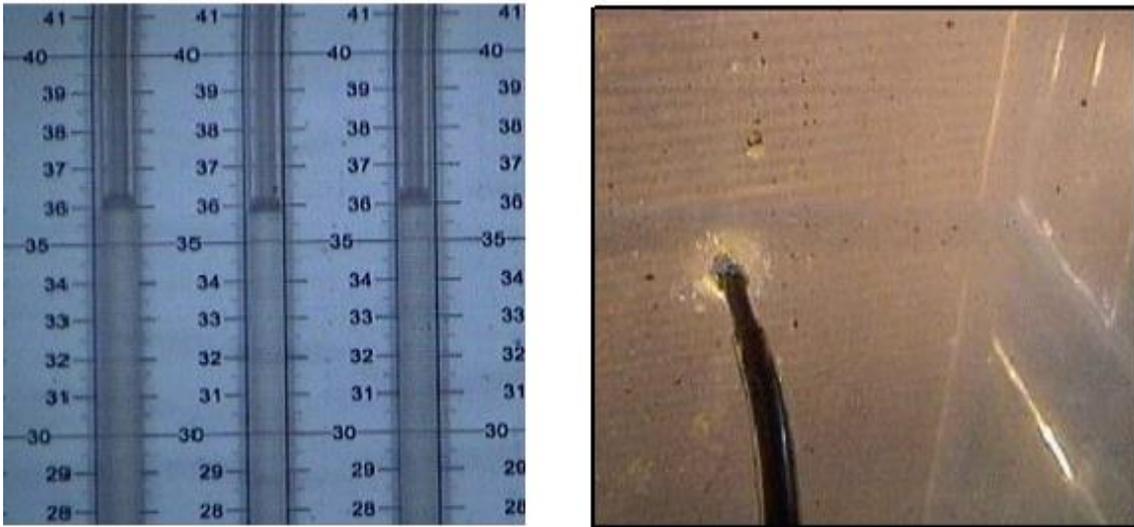


Figura 5. Toma Piezométrica.

2.2.2.2. Eléctricos

La importancia de convertir cualquier señal en una señal eléctrica se basa en que ésta permite ser manipulada con mayor facilidad, es decir, su amplificación, transmisión, modulación y otras características que no presentan otros tipos de señales como la mecánica.

Estos tipos de sensores transforman la presión en una señal eléctrica para su posterior análisis.

Suelen utilizarse en mediciones que requieren mayor precisión.

El indicador de presión puede estar adaptado para producir una salida eléctrica que es proporcional a la presión y el resultado es un transductor eléctrico para medir la presión. Entre los principios eléctricos más utilizados, para convertir el desplazamiento a señal eléctrica, se incluyen (Nolla, 2017):

- Capacitivo
- Piezoeléctrico
- Piezoresistivo (Strain Gage, SG).

Todos estos principios serán estudiados a continuación, y se desarrollará con mayor detalle los transductores piezoresistivos que hace referencia al sensor disponible en el laboratorio.

Transductor capacitivo

El transductor capacitivo básico consiste de dos placas paralelas separadas por un dieléctrico. La membrana es una de las placas del condensador. El principio de la medición capacitiva se realiza mediante la deformación de la membrana, inducida por la presión lo que genera una variación de la capacitancia del condensador (Nolla, 2017). Estos sensores ofrecen

buena precisión y una alta sensibilidad y pueden medir bajas presiones, de hasta 0,1 kPa. Sin embargo, sus mediciones pueden ser inestables debido a las vibraciones.

Aplicaciones

Se utiliza para la medición de variables tales como: desplazamiento, posición, flujo, nivel, vibración, presión absoluta, manométrica y diferencial y sonido.

Piezoeléctrico

La presión ejerce una fuerza sobre un elemento fabricado con material piezoeléctrico, con lo que se crea una tensión a través del elemento. Estos sensores pueden tener un rango de medición muy amplio y una resistencia térmica muy buena. Sin embargo, su señal de salida es débil y son menos precisos que los sensores piezoresistivos. El efecto piezoeléctrico es apto únicamente para la medida de presiones dinámicas. En la práctica se limita el uso de sensores piezoeléctricos a aplicaciones especiales. (Nolla, 2017)

Aplicaciones.

Se utiliza para la medición de variables tales como: fuerza, presión, nivel, flujo, desplazamiento, vibración y aceleración. La posibilidad de medir presiones estáticas y dinámicas es la característica preponderante para nuestro caso.

Piezoresistivo (Strain Gage, SG)

El principio de la medida con sensores piezoresistivos es similar al de los sensores resistivos. La diferencia reside en la utilización de semiconductores como cintas extensométricas en vez de metal (conductores) y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica. Las cintas metálicas pueden colocarse en cualquier material mientras las cintas semiconductoras están incorporadas como microestructura en la membrana. Por lo tanto, las cintas extensométricas y el cuerpo expuesto a la deformación están compuestos del mismo material. Los materiales semiconductores usados comúnmente en dispositivos piezoresistivos son generalmente las mismas familias básicas metálicas y de silicio utilizados en la mayoría de los componentes electrónicos. Estos componentes están disponibles con una amplia gama de características de sensibilidad para adaptarse a los requisitos en diversas situaciones.

La piezoresistividad es la propiedad que tienen estos materiales semiconductores de cambiar su resistencia eléctrica al ser sometidos a un esfuerzo de tracción o compresión que los deforma. El material de detección en un sensor de presión piezoresistivo es un diafragma el cual está formado por una membrana sobre un sustrato de silicio.

Un sensor piezoresistivo es un dispositivo que sufre de cambios en la resistividad de ciertos materiales semiconductores cuando se somete a una tensión mecánica para efectuar una acción electrónica. Este fenómeno piezoresistivo se basa en que estos materiales tienden a sufrir cambios en sus características resistivas cuando se flexiona por la exposición a la presión, dicha presión genera una deformación la cual provoca un cambio en la estructura de los materiales semiconductores y de esta manera se logra la variación en la resistividad. Esto

provoca un cambio correspondiente en cualquier corriente eléctrica que pasa a través del dispositivo que se traduce en una lectura. Esta señal de salida mediante corriente eléctrica se debe adaptar a un dispositivo capaz de tomar las variaciones de corriente o voltaje que tendrán una relación con el cambio de presión. La señal de salida suele ser analógica obtenida mediante un medidor de corriente. En la Figura 6 podemos observar las diferentes partes de un tipo de sensor piezoresistivo.

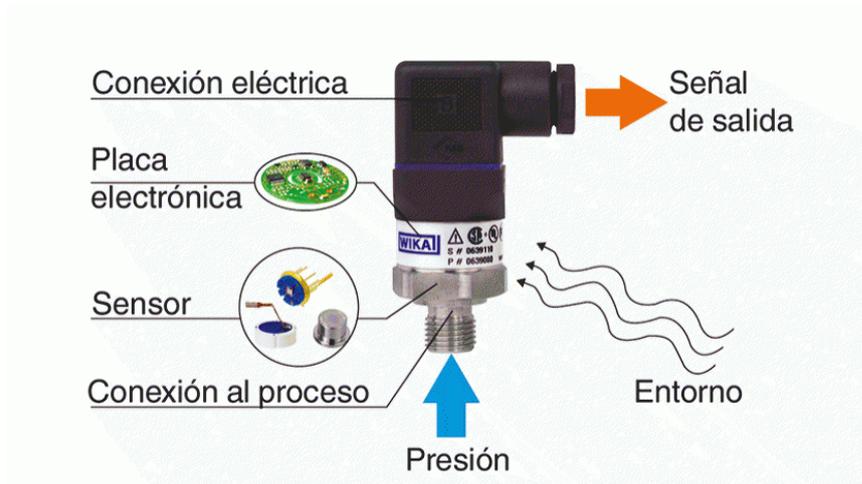


Figura 6. Partes de un sensor piezoresistivo.

Para el caso del sensor disponible en el laboratorio, la señal de salida se provee directamente por conexión inalámbrica propia del dispositivo

A continuación podemos observar algunos transductores comerciales con sus respectivas características básicas de funcionamiento.

La Figura 7 y Figura 8 tienen las siguientes características:

- Tipo: relativa, absoluta, de vacío
- Tecnología: piezoresistivo
- Señal de salida: analógico
- Rango de presión: Mín.: 0 bar (0 kPa)

Máx.: 1,000 bar (100 kPa)



Figura 7. Transductor Piezoresistivo.



Figura 8. Transductor Piezoresistivo.

La Figura 9 tiene las siguientes características básicas:

- Tipo: relativa
- Tecnología: piezoresistivo
- Rango de presión: Min.: 1 bar (0,1 kpa)
Máx.: 1,000 bar (100 kpa)



Figura 9. Transductor Piezoresistivo.

Por ultimo describimos algunas ventajas y desventajas que obtenemos al utilizar este tipo de sensores, a su vez las distintas aplicaciones en que pueden ser utilizados.

Ventajas

- El gran volumen del efecto piezoresistivo permite la aplicación de estos sensores también para presiones muy bajas.
- Son robustos.
- Ofrecen una buena resistencia térmica.
- Tienen menor sensibilidad a la vibración que un piezómetro
- Amplio rango de medida.
- Alta precisión 0.1% (0.5% real).
- Rápida respuesta de tiempo.
- Alta exactitud.
- Bajo costo.
- Flexible.
- Tamaño pequeño.
- Mínimo movimiento mecánico.
- Compensación por temperatura relativamente fácil.
- Varios métodos de compensación de temperatura.
- Alta resistencia.
- Opera a elevadas temperaturas.
- Pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas.
- Alta sensibilidad a esfuerzos.

- Tienen respuesta frecuencial excelente.
- Resolución continua y buena.
- Tienen capacidad para determinar deformaciones que cambian con el tiempo.
- No requieren el conocimiento preciso de las tensiones que actúan en la pieza de prueba.
- Múltiples configuraciones
- Precio reducido

Desventajas

- Especial cuidado en la instalación.
- La señal de salida es baja.
- Instalación inadecuada puede causar cambios en la resistencia inicial del medidor de tensión. Estos cambios también pueden ser producidos por humedad, temperatura y conectores.
- Muy inestables

Aplicaciones

A diferentes montajes con medidor de tensión sirven para mediciones de desplazamiento, fuerza, presión, nivel, flujo. El estudio de cada uno de ellos parte de casos concretos donde es preciso medir una deformación determinada. Para nuestro caso tiene relevancia la capacidad de medir presiones estáticas y dinámicas.

Más adelante se llevará a cabo la descripción del sensor utilizado en el laboratorio el cual se asemeja a los transductores piezoresistivos descritos recientemente.

2.2.3. Consideraciones para elegir sensores

Luego de haber descrito los tipos de sensores disponibles, se requieren de algunas consideraciones para elegir el modelo correcto:

- Conocer si se necesita medir la presión absoluta o relativa.
- Haber elegido una tecnología de sensor.
- Elegir un sensor cuyo rango de medición corresponda al rango de presión que se desea medir, teniendo en cuenta las condiciones normales y las posibles variaciones de presión.
- Al igual que con cualquier otro sensor, se deberá elegir un sensor de presión cuya señal de salida podamos obtener de manera adecuada.
- El último criterio clave para elegir es la configuración del sensor y cómo se monta en el punto de medición. La mayoría de los sensores son roscados, lo que permite montarlos fácilmente.

3. CALIBRACION DE LOS SENSORES

Para la realización de las mediciones se utilizaron los sensores de presión PASCO y el programa PASCO CAPSTONE que serán descritos a continuación. Luego se describe la metodología de cada una de las mediciones atmosféricas, estáticas, dinámicas, calibración y las realizadas en el modelo físico.

3.1. Sensor de presión Pasco

3.1.1. Descripción

En el laboratorio se poseen dos sensores PASCO Wireless Pressure PS-3203 cuyo rango de trabajo oscila entre los 0 y 400 kPa con una frecuencia de muestreo de hasta 1000 kHz.

Se trata de un sensor de presión eléctrico piezoresistivo que se conecta a través de bluetooth, y también se puede conectar a una computadora con un cable USB (incluido). El sensor de presión inalámbrico fue adquirido con un kit adicional que incluye: conectores de plástico, tubos y una jeringa de 60 centímetros cúbicos (cc). El sensor se puede conectar a la jeringa u otros elementos como un tapón con los conectores y la tubería.

En la Figura 10 se pueden observar las distintas partes del sensor Pasco, así como su nomenclatura y elementos adjuntos.

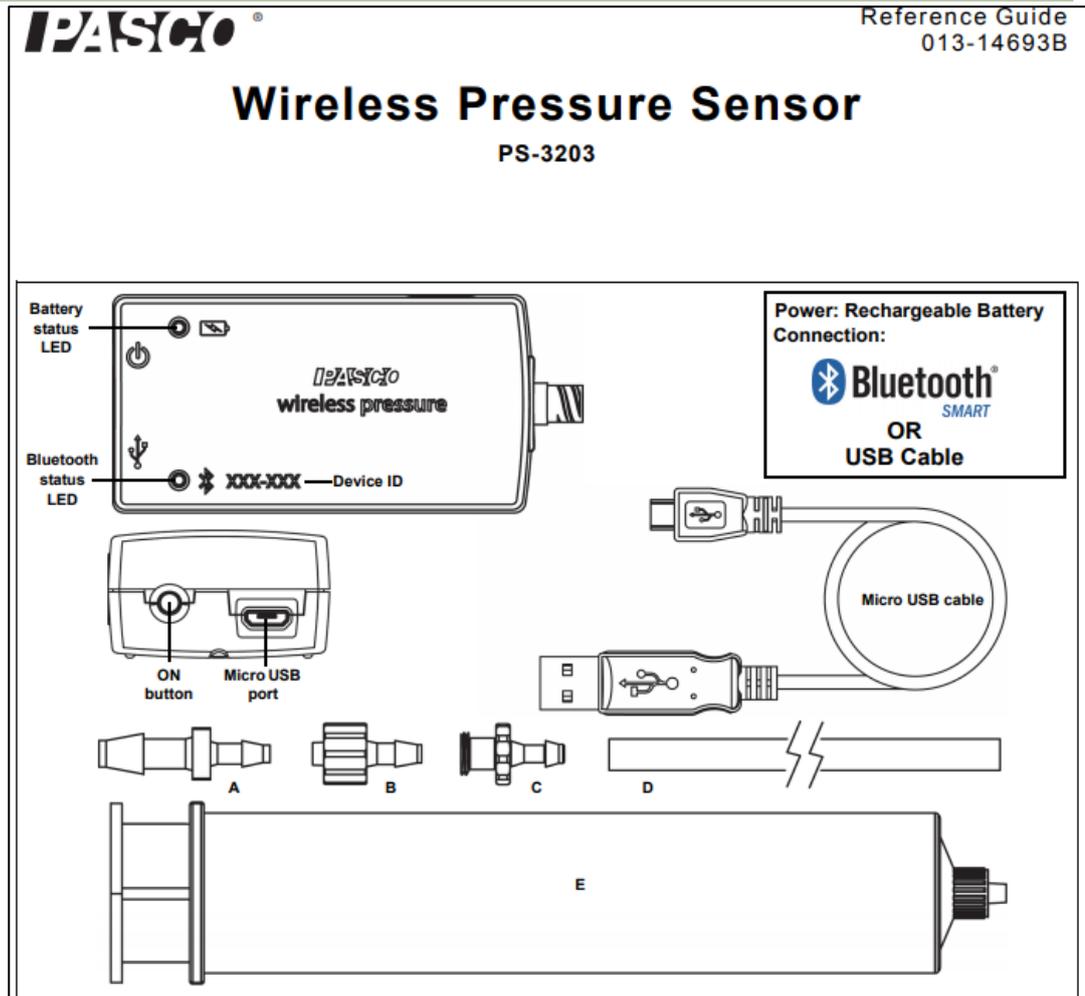


Figura 10. Sensor Pasco.

3.1.2. Programa Capstone

El Software utilizado para la recopilación de datos fue el programa PASCO CAPSTONE. Puede ejecutarse en los siguientes sistemas operativos: Windows y macOS. En la Figura 11 puede observarse la página principal del programa donde parecen las diferentes funciones.

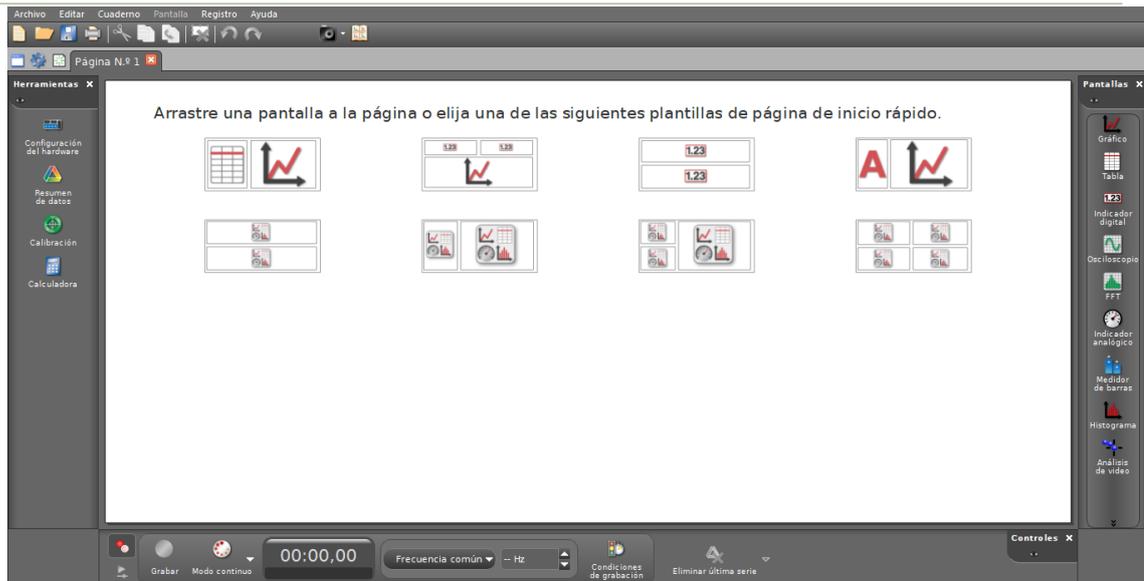


Figura 11. Ventana principal.

Algunas de las características básicas que presenta el programa son las siguientes:

Con respecto a los sensores es la facilidad de reconocerlos automáticamente y conectarlos mediante el uso de Bluetooth, el programa funciona para varios tipos de sensores tales como PASCO PASPORT, ScienceWorkshop y Wireless; este último corresponde al usado en nuestro caso.

Las pantallas básicas incluyen gráfico, tabla, dígitos, medidor, medidor de barra, osciloscopio, cuadro de texto, imagen.

Algunas funciones consisten en: recopilar datos y visualizarlos en tiempo real a baja y alta velocidad, introducir los datos de forma fácil y sencilla en una tabla, modificar la duración de las mediciones y la frecuencia para obtener mayor cantidad de datos.

En lo que refiere a la visualización de resultados podemos observar varias mediciones en una misma gráfica, como así también ver los resultados de cada medición por separado en cualquier momento. Con respecto a los valores numéricos se pueden modificar las unidades y decimales de cada medición. Otra función es la de insertar ecuaciones para obtener diferentes resultados a los medidos directamente, como por ejemplo restar a las mediciones del PASCO la presión atmosférica o la diferencia entre las mediciones de los dos sensores.

A continuación, se enumeran los pasos para conseguir la toma de datos con sensores y su correspondiente análisis.

1. Agregar un sensor remoto mediante la conexión Bluetooth

En esta sección aparecen todos los dispositivos que son reconocidos por el programa, con doble clic sobre cada sensor quedan vinculados (Figura 12).

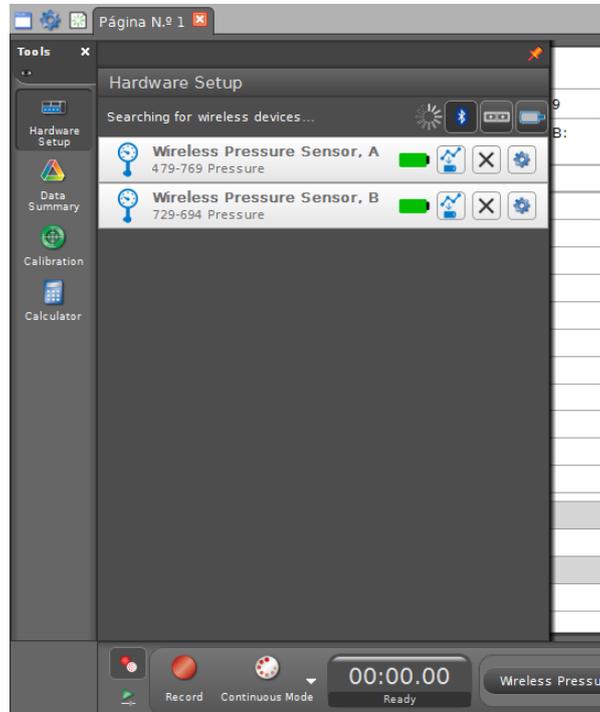


Figura 12. Agregar Dispositivos.

Seleccionando cada sensor se puede observar las propiedades básicas (frecuencias mínimas y máximas) y nomenclaturas que lo describen (Figura 13).

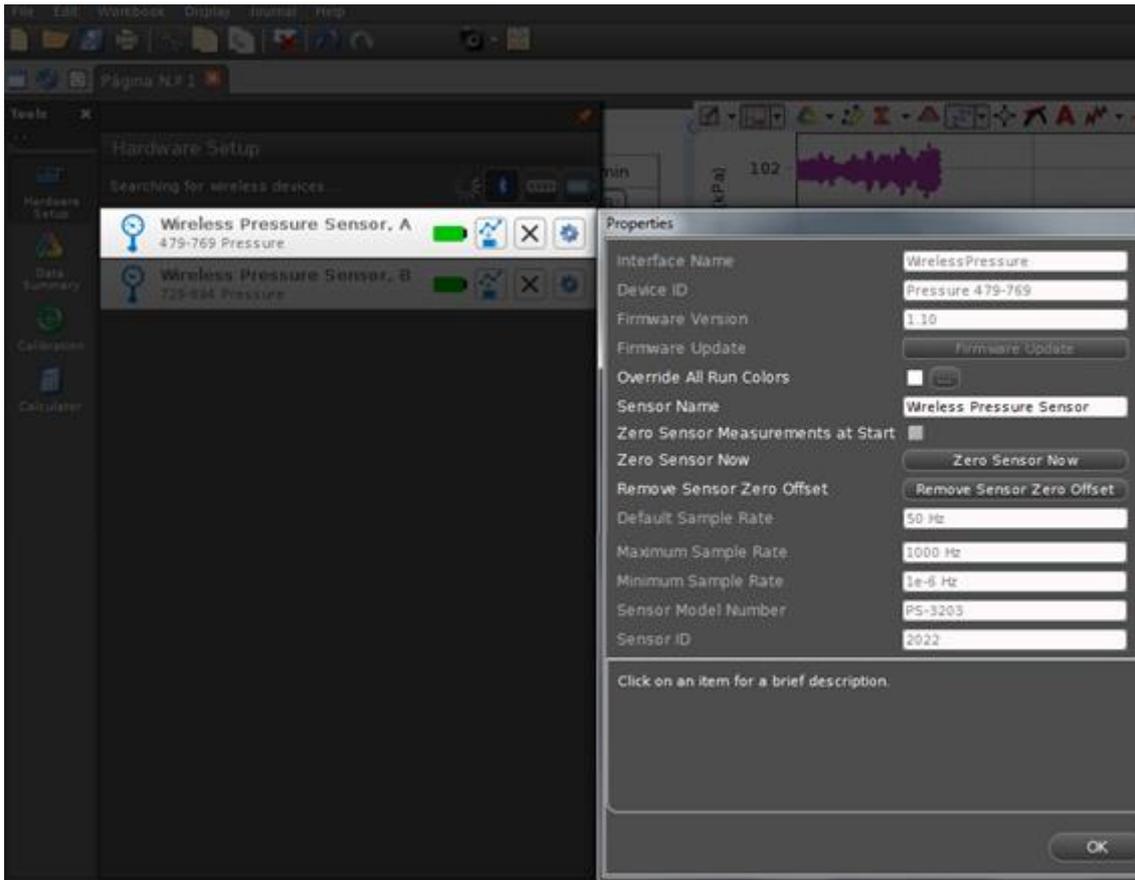


Figura 13. Propiedades de los dispositivos.

2. Definir unidades y cantidades de decimales en la que desea expresarse

Esto se puede realizar tanto para los valores tomados de presión como para el tiempo que dura la medición (Figura 14).

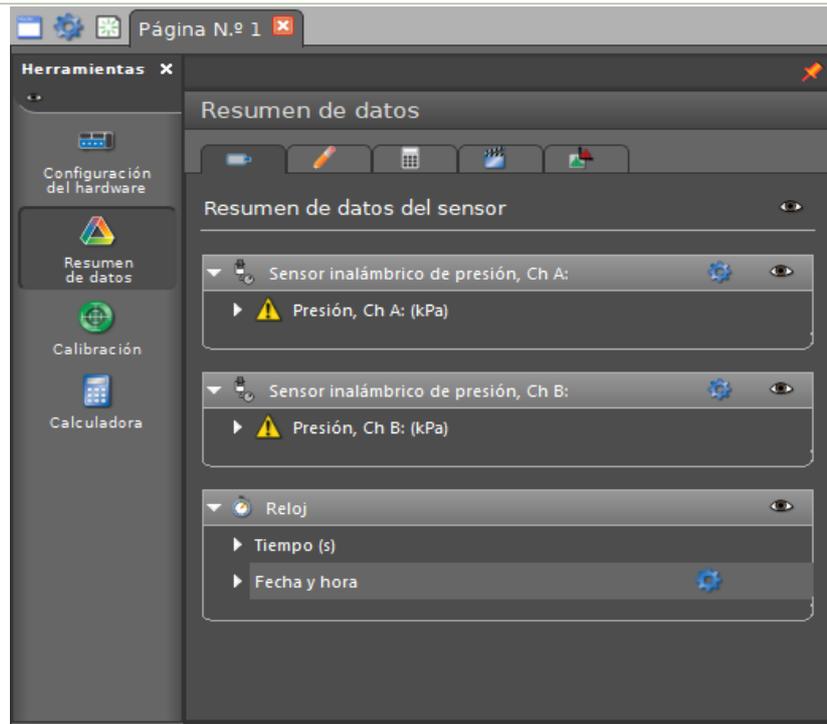


Figura 14. Variables a modificar.

En cuanto a la presión haciendo clic sobre el sensor que se desea configurar y luego en las propiedades del mismo, nos aparecerá la sección nombre y símbolos en la cual podemos modificar el nombre de la medición, la abreviación y su símbolo variable; y en el ítem *unidades predeterminadas* se observan todas las unidades en las que es compatible el programa, de las cuales seleccionamos la que nos interesa mostrar nuestros resultados (Figura 15).

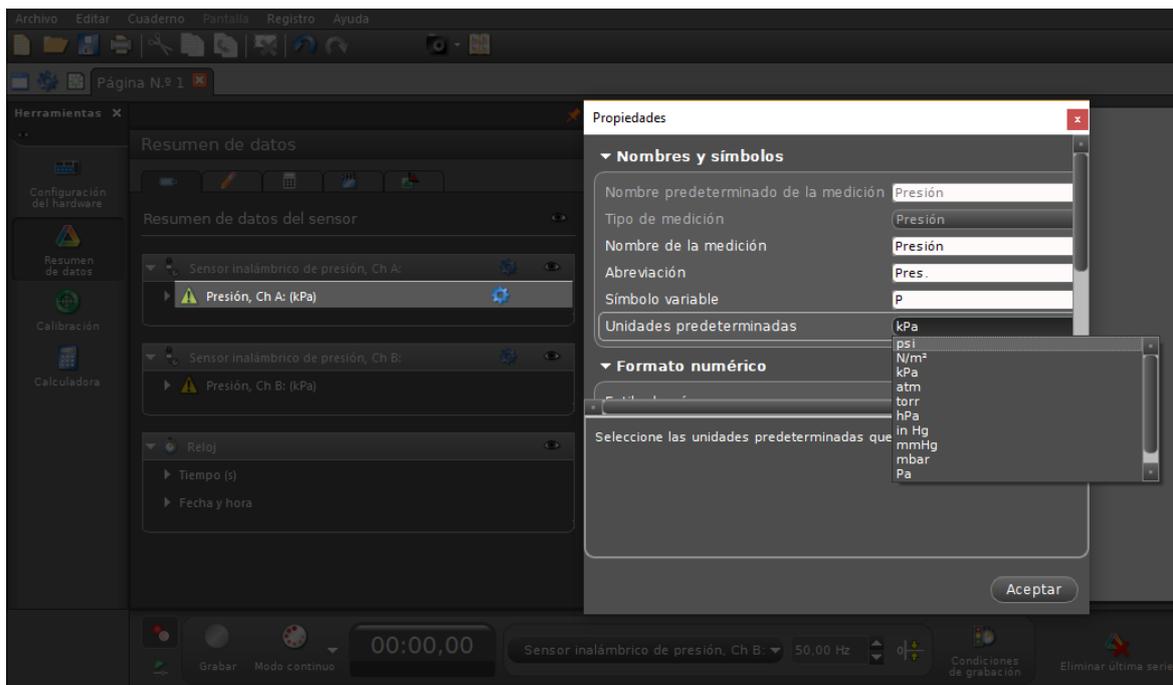


Figura 15. Configuración de nombres y símbolos.

Luego en el ítem *formato numérico* modificamos la cantidad de decimales en las que se expresaran nuestros resultados (Figura 16).

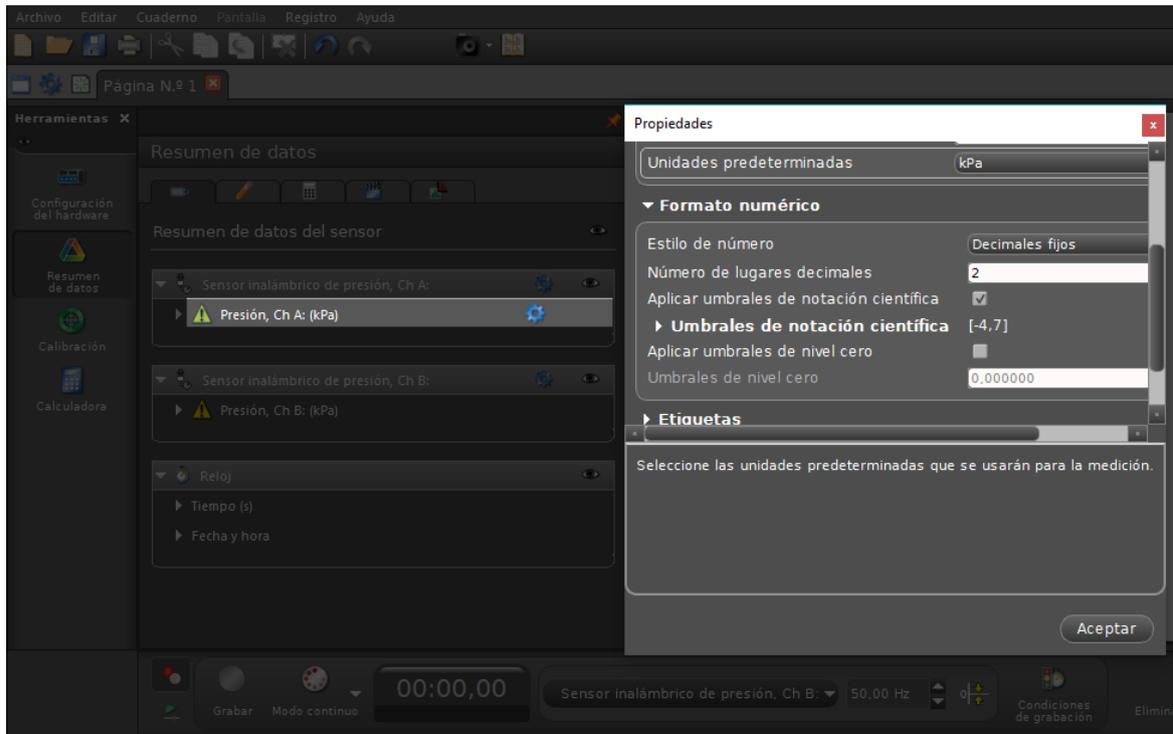


Figura 16. Configuración de formato numérico.

De manera similar a los datos de presión se configura el tiempo, haciendo clic en las propiedades de la sección tiempo (Figura 17).

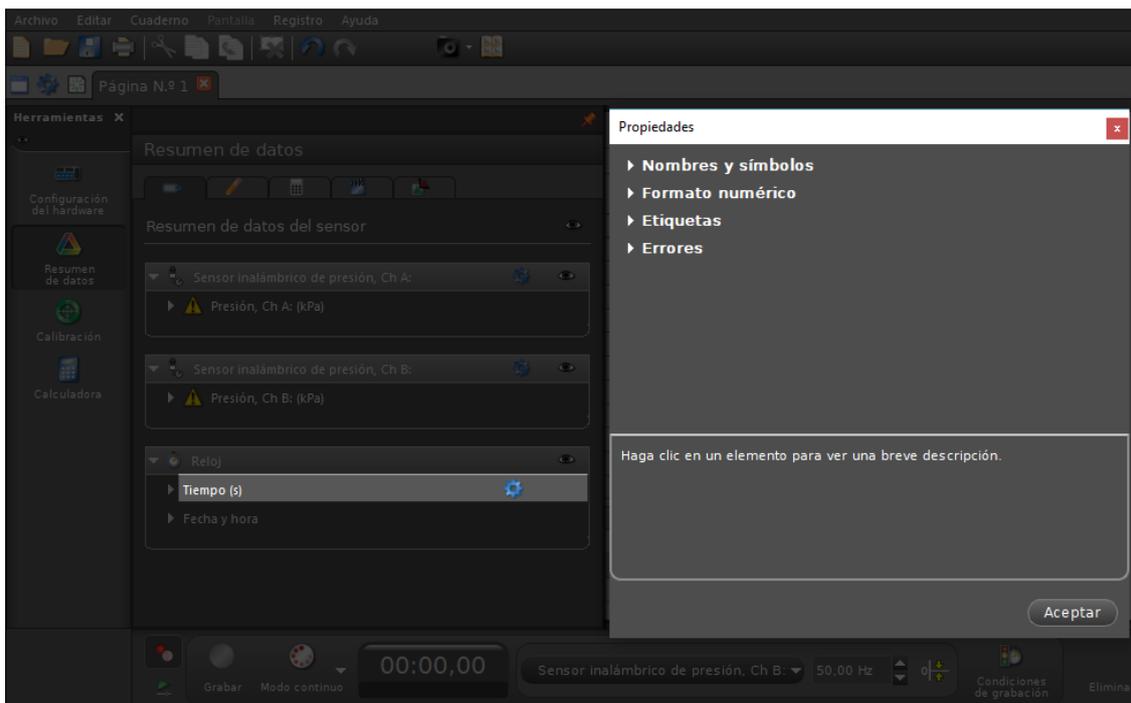


Figura 17. Configuración del Tiempo.

3. Establecer duración de la medición

Luego de configurar los sensores se modifican las variables del ensayo, en este caso el tiempo de medición. En la parte inferior se selecciona *condiciones de grabación*, en el mismo se puede definir en cuanto tiempo empezar a medir y cuánto tiempo dura el experimento para establecer la detención de la toma de datos (Figura 18).

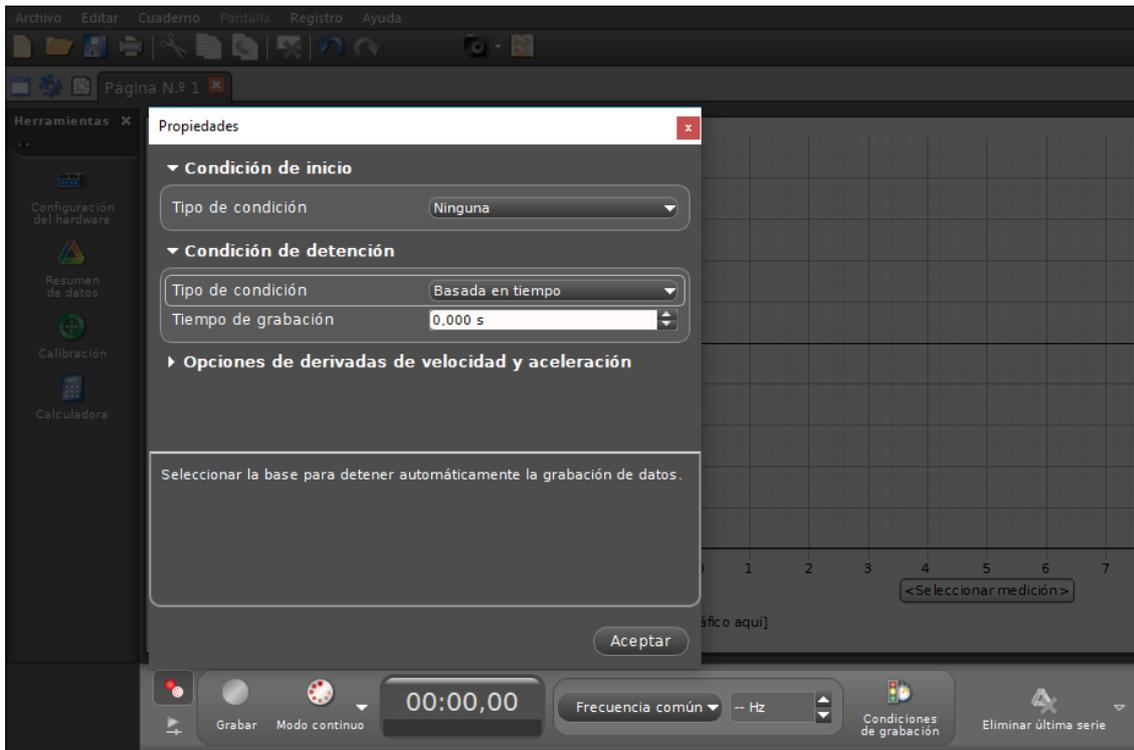


Figura 18. Tiempo de medición.

4. Elegir la cantidad de datos requeridos mediante la modificación de la frecuencia en Hz

El siguiente paso es modificar la frecuencia, lo cual se logra haciendo clic en la parte inferior central en *sensor inalámbrico de presión*. En este se puede seleccionar cada sensor y modificar la frecuencia de los mismo, se puede trabajar con sensores midiendo en diferentes frecuencias, en nuestro caso siempre se realizó la mayoría de las mediciones con ambos sensores a la misma frecuencia (Figura 19).

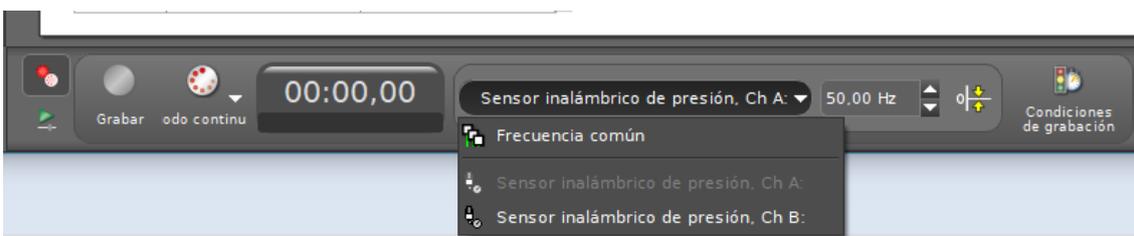


Figura 19. Configuración de Frecuencia.

5. Comenzar y detener la medición

Por ultimo dando clic en *grabar* se empieza la medición, y con este mismo se puede detener la medición en el momento que se desee (Figura 20).

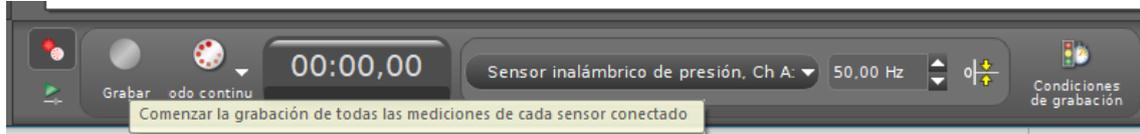


Figura 20. Inicio y pausa de Medición.

6. Agregar gráficos

Una vez empezado el experimento, los resultados se puede exponer de diferentes maneras: con uno o varios gráficos, presión vs tiempo de cada sensor, una ecuación introducida vs tiempo, por ejemplo. Para agregar un gráfico se debe hacer clic en uno de los iconos superiores derecho. Luego haciendo clic en cada eje se puede elegir que deseamos observar en cada uno: presión de un sensor, tiempo u otra variable definida como la diferencia entre ambos (Figura 21).

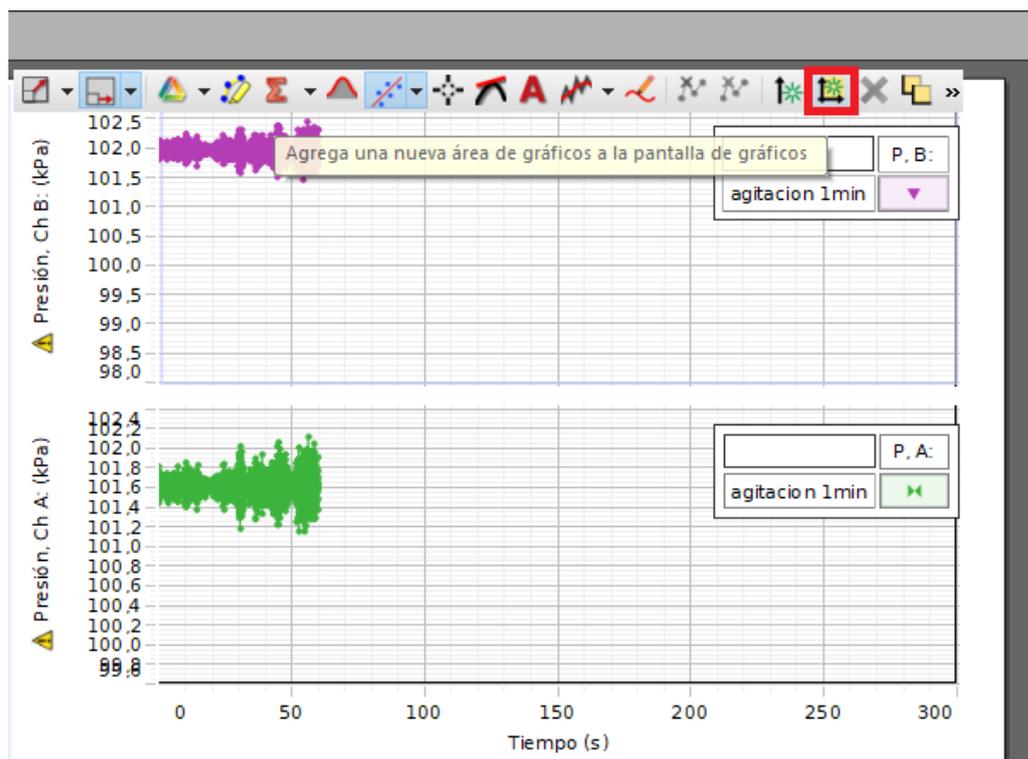


Figura 21. Agregar área de Gráficos.

7. Modificar series medidas

Todos los datos medidos se expresan en tablas. Cada serie obtenida se la observa haciendo clic en el nombre de la última serie medida en la parte superior de la tabla, en este sector se puede renombrar a cada serie medida (Figura 22).

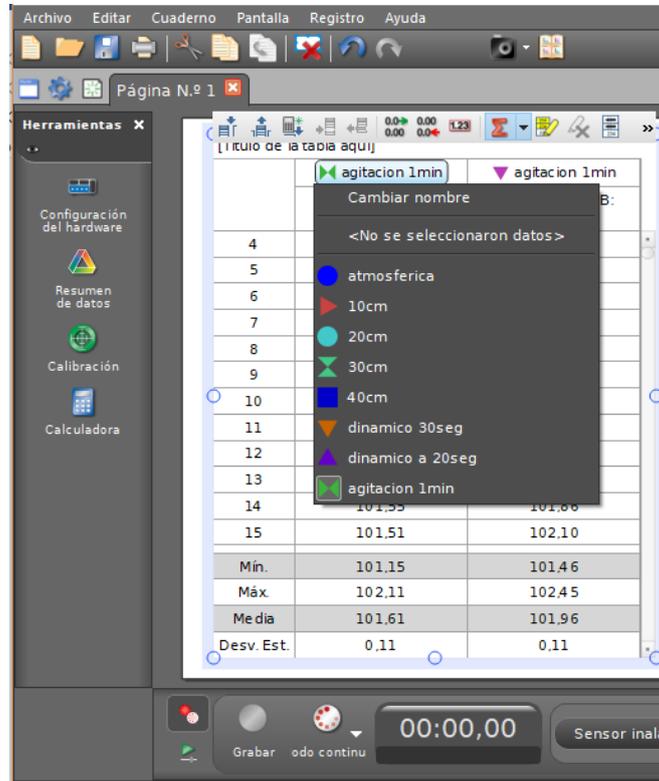


Figura 22. Observar series medidas y renombrar.

Luego en la sección inicial de *Resumen de datos* podemos distinguir todas las series medidas, en las cuales se observan las propiedades de la serie como la fecha y el nombre, esta sección también nos da la posibilidad de eliminar alguna serie seleccionando la cruz roja (Figura 23).

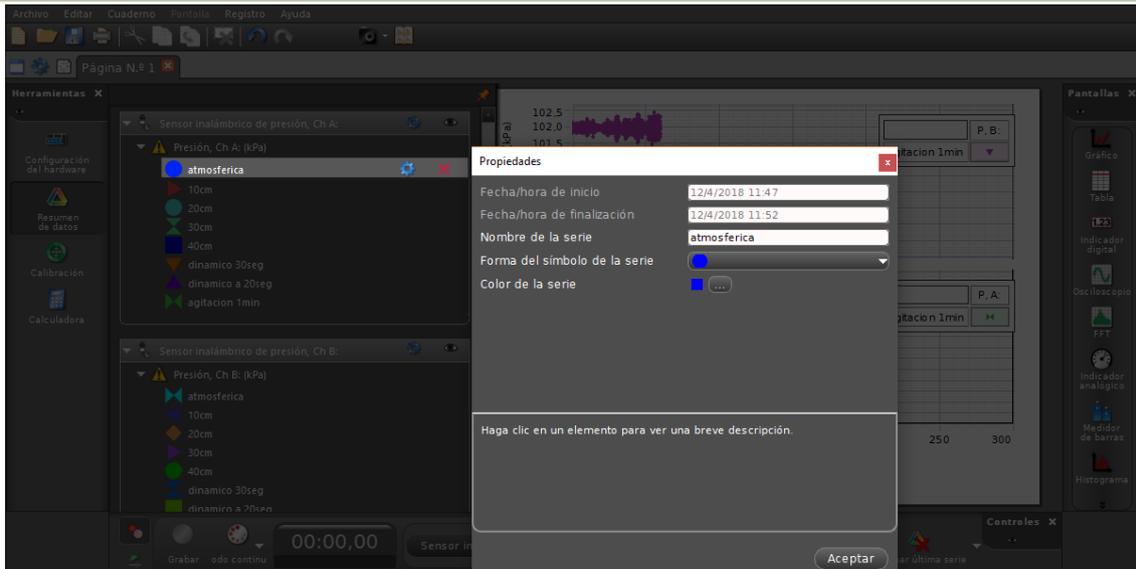


Figura 23. Configurar y eliminar series.

Otra función del programa es que nos permite obtener datos estadísticos de cada serie medida ya sea los valores mínimos y máximos, el promedio y el desvío estándar. Esto se obtiene seleccionando en el icono rojo superior a los nombres de serie (Figura 24).

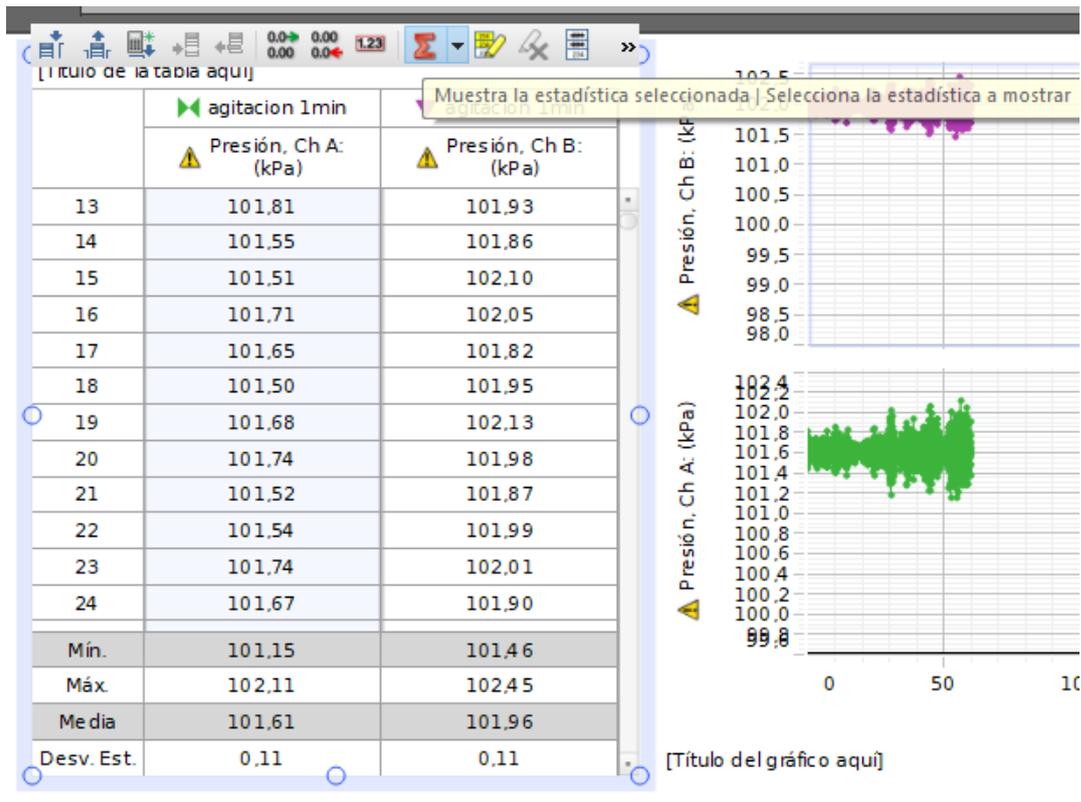


Figura 24. Resultados estadísticos de serie.

8. Exportar datos del programa para ser analizados mediante Excel.

El último paso consiste en exportar los datos como block datos para luego ser pasados a un Excel y poder ser analizados. Para esto se selecciona en la parte superior izquierda en la sección *Archivo* y luego en *exportar dato* (Figura 25).

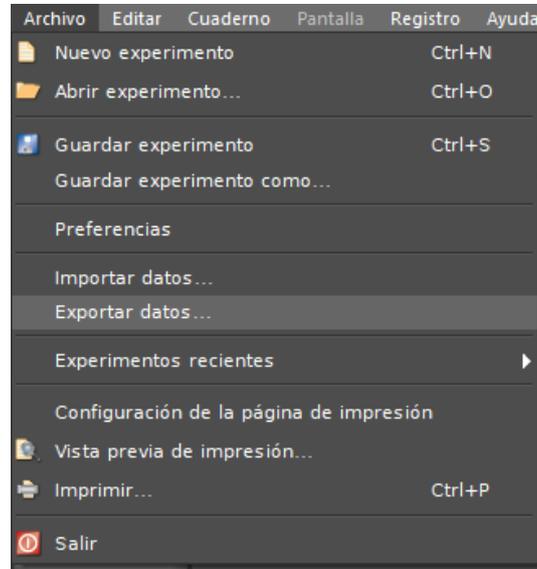


Figura 25. Exportar datos.

3.2. Metodología

Se llevaron a cabo mediciones tanto en un tubo (será descrito en la sección de mediciones para calibración) como en el modelo del Dique los Alazanes. Las mediciones en el tubo con el sensor se realizaron de la siguiente manera: a una duración determinada que va desde 20 s a 600 s (para el caso de menor tiempo fueron utilizadas en las mediciones dinámicas para poder apreciar variaciones de presión en intervalos cortos y para tiempos mayores se utilizó en las mediciones atmosféricas para poder observar la variación que se genera durante ensayos de mayor duración) y a una frecuencia que va desde 10 Hz a 1000 Hz para obtener variaciones de resultados comparados con la frecuencia usada normalmente en las mediciones realizadas en el laboratorio, se busca obtener mayor cantidad de datos y resolución con frecuencias mayores y menores dispersiones con las más bajas frecuencias.

El ensayo se realiza tomando lecturas en agua con los dos sensores a la vez o en algunas ocasiones con un sensor a la vez debido algún inconveniente en la otra toma del tubo. Ambas alternativas se efectúan para la calibración de los sensores. Las mediciones estáticas y dinámicas se realizan con ambos sensores a la vez.

Dentro de las mediciones realizadas en el tubo podemos diferenciar entre mediciones atmosféricas, estáticas y dinámicas. Ahora se nombrará como **Sensor A al 694** y **Sensor B al 769**, estos números son utilizados para diferenciar cada sensor entre si y se refieren a la identificación del dispositivo mostrada en uno de las caras del mismo.

A continuación se muestra en Tabla 1 un resumen de los ensayos realizados en el tubo donde se diferencia las características básicas de cada uno, tales como: sensor usado, duración,

frecuencia y si se trata de un ensayo para obtener presiones atmosféricas, estáticas, dinámicas y calibración. Además se incluye el ensayo realizado en el modelo.

Tabla 1. Característica básica de cada ensayo.

Ensayo	Frecuencia (Hz)	Sensor usado	Duración(s)	Tipo
1	5	Ambos	3600	Atmosférica
2	5	Ambos	3600	Atmosférica
3	50	Ambos	300	Atmosférica
4	50	Sensor A	300	Calibración
5	50	Sensor B	300	Calibración
6	50	Sensor A	300	Calibración
7	50	Sensor B	300	Calibración
8	50	Sensor A	300	Calibración
9	50	Sensor A	300	Calibración
10	50	Sensor A	300	Calibración
11	50	Sensor B	300	Calibración
18	10	Ambos	120	Calibración
19	10	Ambos	120	Calibración
20	10	Ambos	60	Calibración
21	10	Ambos	60	Calibración
12	50	Ambos	300	Estática
13	10,50,100,1000	Ambos	90	Estática
14	50,100,1000	Ambos	90	Estática
15	50	Ambos	20,30,60	Dinámica
16	10,50,100,1000	Ambos	90	Dinámica
17	50,100,1000	Ambos	600	Dinámica
22	1000	Ambos	300	Modelo

3.2.1. Mediciones atmosféricas.

Estos ensayos consisten en tomar lecturas de la presión de aire con ambos sensores a la vez, los primeros 2 ensayos para comprobar si el sensor registraba alguna variación en un tiempo mayor al que se utiliza normalmente para los ensayos (5 minutos por lo general), por lo que se dejó los sensores tomando mediciones atmosféricas durante una hora. El ensayo restante se realizó con mediciones de 5 minutos y nos sirvió para obtener el cero relativo correspondiente a la presión atmosférica antes de comenzar con las mediciones en agua. Para estos ensayos se utilizan frecuencias de 5 Hz (en los primeros dos ensayos con duración de una hora para no tener una gran cantidad de datos) y 50 Hz (el valor de frecuencia definido para cada medición realizada en el laboratorio).

3.2.2 Mediciones utilizadas para la calibración del sensor

En estas mediciones el objetivo es obtener una ecuación de calibración para futuras mediciones a realizarse con los sensores mediante la utilización de un tubo como instrumental, que se lo definirá como tubo de ensayo y el mismo será descripto a continuación.

3.2.2.1. Instrumental

Para obtener una adecuada calibración se han realizado ensayos en un dispositivo compuesto por: un tubo de PVC de 50 cm de largo apoyado sobre una base de polietileno expandido para darle una adecuada estabilidad y dar espacio a la colocación de las tomas con los sensores, para las cuales se usaron dos mangueras de plástico de 5 mm de diámetro, y mediante la introducción de una regla de papel graduada al mm en el interior de tubo se pudo realizar la lectura de las diferentes alturas. El dispositivo puede observarse en la Figura 26.



Figura 26. Tubo de ensayo diseñado en Laboratorio.

Para tener la lectura adecuada en el tubo de ensayo al valor leído en la regla se lo debe corregir con las distancias desde la base del tubo hasta la altura en la que se encuentra el sensor que toma las lecturas. Por lo que se usó la Ecuación 3:

$$h_L = h + L_0 - \frac{\phi}{2} - D \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, h es lectura tomada mediante la regla, L_0 se refiere a la distancia vertical desde el punto apoyo del sensor y el polietileno hasta la base del tubo de ensayo, ϕ es el diámetro de la toma (5mm), D la distancia entre el punto de apoyo del sensor hasta la toma del sensor (9mm) y h_L la lectura real en cm de columna de agua. Las mismas pueden apreciarse en la Figura 27.

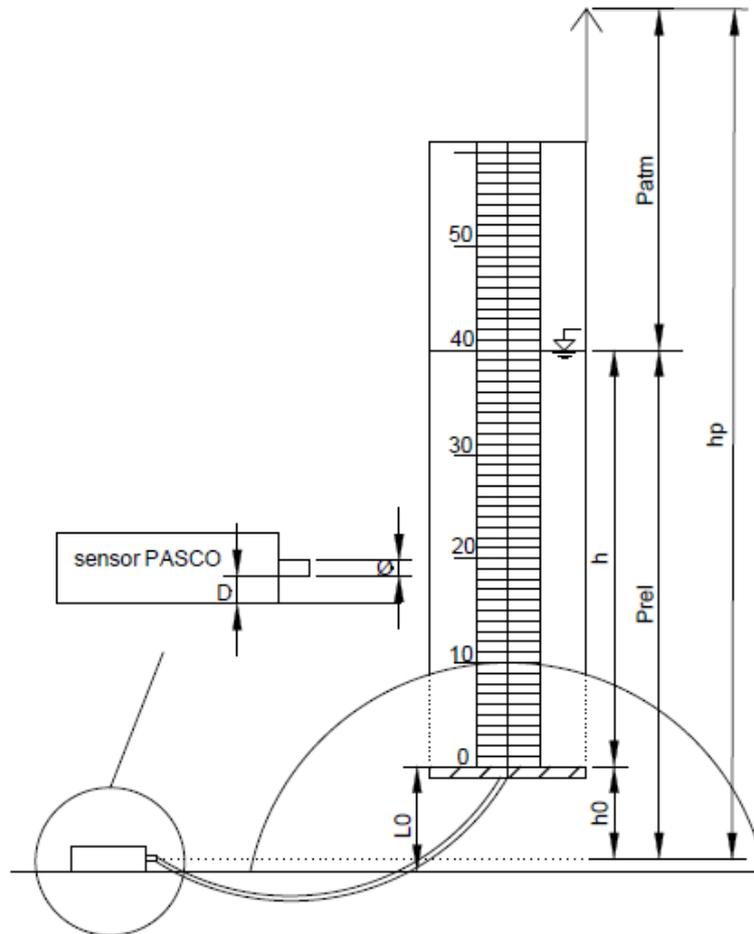


Figura 27. Variables para calibración.

Estas variables nos servirán para obtener las rectas de calibración que se refieren a las rectas de ajuste de los puntos obtenidos entre las distintas alturas medidas en el tubo de ensayo y las correspondientes presiones relativas. Se procedió de dos maneras: una mediante el uso de mediciones atmosféricas y los valores de L_0 del tubo de ensayo, la otra alternativa consiste en tomar mediciones con altura cero de agua en el tubo de ensayo que se designa como P_0 antes y después de cada ensayo. Ambas alternativas se describirán a continuación.

3.3.2.2. Calibración con presiones atmosféricas

Los ensayos se realizarán de diferentes maneras: en algunos casos se tomó lectura atmosférica al comienzo y después las mediciones en agua con ambos sensores y en otros casos referidos a los últimos ensayos de calibración para buscar una mayor precisión de lecturas atmosféricas se tomaron lectura al inicio (tomando como presión atmosférica constante durante toda la medición) y al final de presiones atmosféricas para obtener en cada instante el valor de presión atmosférica mediante la suposición de variación lineal de la misma.

En todas presiones absolutas obtenidas por los sensores se realizará un promedio de los datos tomados durante los 5 minutos de medición y ese valor usamos para la calibración. Las lecturas de presiones atmosféricas medidas son usadas para obtener las presiones relativas, al restar las mediciones de presión absoluta los valores de presión atmosférica correspondiente.

De la misma manera para cada ensayo se mostrará resultados en tabla, por lo que se describirá en Tabla 2 cada variable presente en la misma.

Tabla 2. Variables usadas en calibración.

h	Lectura tomada directamente de la regla graduada
h_L	Altura en cm de columna de agua (Ecuación 3)
h_P	Medición obtenida con el PASCO luego de realizar el promedio a todos los datos generados
P_{rel}	Se obtiene mediante la Ecuación 4 y nos sirve para comparar con los valores de h_L

$$P_{rel} = (h_P - P_{atm}) \times 10,2 \quad \text{Ecuación 4}$$

El factor 10,2 corresponde a la de unidad de kPa a cm.c.a, para poder trabajar con las dos mediciones en cm (h_L y P_{rel}). Se puede determinar que para cada valor de h_L se realizan mediciones con el sensor para poder comparar las mismas en cada altura.

Para cada ensayo aparte de modificar las lecturas en agua se observaba que registran modificaciones las lecturas L_0 debido algún movimiento del tubo de ensayo después o antes de terminar cada ensayo, como así también la presión atmosférica se modificaba dependiendo el día y hora. En la Tabla 3 se realizó un resumen para mostrar el valor de cada variable en cada ensayo, como así también explicitar qué sensor se utilizó en cada ensayo y el correspondiente valor de presión atmosférica usada en cada caso.

Con respecto a la presión atmosférica en los Ensayos del 4 al 11 se tomó una única medición antes de empezar el respectivo ensayo a excepción de los Ensayos 18 y 20 en los cuales se midió presión atmosférica al principio y al final, con estos valores obtenemos una variación lineal de las presiones atmosféricas y podemos determinar su respectivo valor en cada una de las mediciones realizadas en cada altura analizada en el ensayo.

Tabla 3. Características de ensayos de Calibración.

Ensayo	Sensor usado	L_0 (cm)	P_{atm} (kPa)
4	Sensor A	9	96,07
5	Sensor B	9	96,17
6	Sensor A	8,2	96,9
7	Sensor A	8,2	97,28
8	Sensor B	8,1	97,49
9	Sensor A	8,1	97,33
10	Sensor A	8,2	97,67
11	Sensor B	8,2	97,94
18	Ambos	8,9	Variable
20	Ambos	8,9	Variable

Donde D y ϕ son variables que se mantienen constante en cada ensayo ya que se tratan de la distancia entre el punto de apoyo del sensor hasta la toma de mismo y el diámetro de la toma del sensor respectivamente. Para estos ensayos se usó $D = 9 \text{ mm}$ y $\phi = 5 \text{ mm}$.

3.2.2.3. Calibración usando P_0

En esta calibración se procede de manera similar a la obtenida con presiones atmosféricas con la diferencia de que a las lecturas tomadas con los sensores se les restará las mediciones con altura de agua cero en el tubo de ensayo, a la cual puede hacerse referencia mediante la altura h_0 , la misma se define mediante la Ecuación 5.

$$h_0 = L_0 - \frac{\phi}{2} - D \quad \text{Ecuación 5}$$

Las lecturas tomadas por el sensor en la altura h_0 son las que denominamos como P_0 .

Para poder restar las mediciones de P_0 en cada instante se toma lecturas de las mismas al inicio y al final de cada ensayo. Con esto obtenemos una variación lineal de P_0 como se realizó con las mediciones atmosféricas. Con la Ecuación 6 determina el valor de presión relativa que será comparado con la altura de agua h medida directamente en el tubo de ensayo.

$$P_{\text{rel}} = (h_p - P_0) \times 10,2 \quad \text{Ecuación 6}$$

Además de las mediciones para la calibración, en el tubo de ensayo realizamos mediciones estáticas y dinámicas que también serán descriptas posteriormente.

3.2.3. Mediciones estáticas

El objetivo de este ensayo es determinar si las presiones en agua tomadas por los sensores registran grandes variaciones manteniendo una altura de agua constante. Se realizan mediciones de presión atmosférica con ambos sensores conjuntamente, lo cual ya fue analizada en el ítem de presiones atmosféricas. Las mediciones en agua se llevarán a cabo con ambos sensores simultáneamente. El proceso consiste en incrementar el nivel de agua el tubo de manera controlada y tomar lecturas de presión con los sensores para cada altura. Todas las mediciones se realizarán durante 1, 2.5 y 5 minutos a frecuencias de 10, 50, 100, y 1000 Hz.

Se plantean gráficos donde se puedan comparar las presiones absolutas tomadas por los dos sensores, se trabajó con ambos sensores a un mismo cero, para lograr esto se debe modificar las lecturas de un sensor generando una similitud en la comparación, en este caso se calculó la diferencia de los promedios de las lecturas en cada sensor, la cual fue añadida a las lecturas del sensor A que tiene los valores más bajos y dejando sin modificar las lecturas del sensor B, pero en el análisis estadístico se utilizan las lecturas originales para obtener los valores reales de la media, ver su diferencia con otras mediciones y entre los dos sensores. Estas modificaciones son válidas ya que no afectan a los desvíos calculados que son necesarios obtener en nuestro caso.

Para una mejor observación de los resultados se utilizan gráficos con tramos de 5 segundos para poder notar una mejor tendencia en las lecturas obtenidas.

Finalmente se expresan los valores estadísticos obtenidos en los distintos ensayos para cada uno de los sensores.

3.2.4. Mediciones dinámicas

Estas mediciones consisten en tomar los valores con el agua en movimiento. Se realizaron de diferentes maneras: aumentando en nivel de la columna de agua de a poco, agitando el agua y generando movimientos manuales en el tubo de la manera más constante posible. En los ensayos se plantean varias alternativas, cómo medir con ambos sensores conectados en cada una de las mangueras del tubo de ensayo a distintas frecuencias para una misma altura. Luego utilizando en algunos casos una unión en T para la conexión de ambos sensores a una de las mangueras del tubo de ensayo y poder lograr una misma distancia desde el tubo hacia ambos sensores. La T utilizada se observa en la Figura 28.



Figura 28. Unión en T para conexión de ambos sensores.

A su vez se analizará la variación generada en las lecturas al aplicarle las rectas de calibración obtenidas en las correspondientes mediciones para cada sensor. Se buscará obtener una comparación de las presiones obtenidas con ambos sensores y cuantificar la diferencia presente entre los mismos, para lo que utilizaremos una aproximación entre lecturas mediante la suma de los promedios en una lectura como se describió en la sección de Mediciones estáticas.

3.3. Aplicación de los sensores calibrados en el modelo físico

3.3.1 Descripción del Modelo Físico “Dique Los Alazanes”

El modelo físico se construyó en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

En función de los objetivos del estudio y de las instalaciones disponibles en el laboratorio, se definieron las características del modelo físico.

Objetivo del Modelo Físico:

Cuantificar presiones dinámicas en el cuenco y la influencia generada por la colocación de azud aguas abajo del vertedero.

Características del Modelo:

- Modelo físico a fondo fijo,
- Similitud de Froude
- Escala de longitudes no distorsionada $E_L = 1:35$

En la Figura 29 y Figura 30 se pueden observar las características geométricas del modelo en el cuenco donde se realizaron las mediciones, las cuales son distancias entre tomas, ancho y largo del modelo, distancias entre azud y hacia las tomas, altura del cuenco y del vertedero.

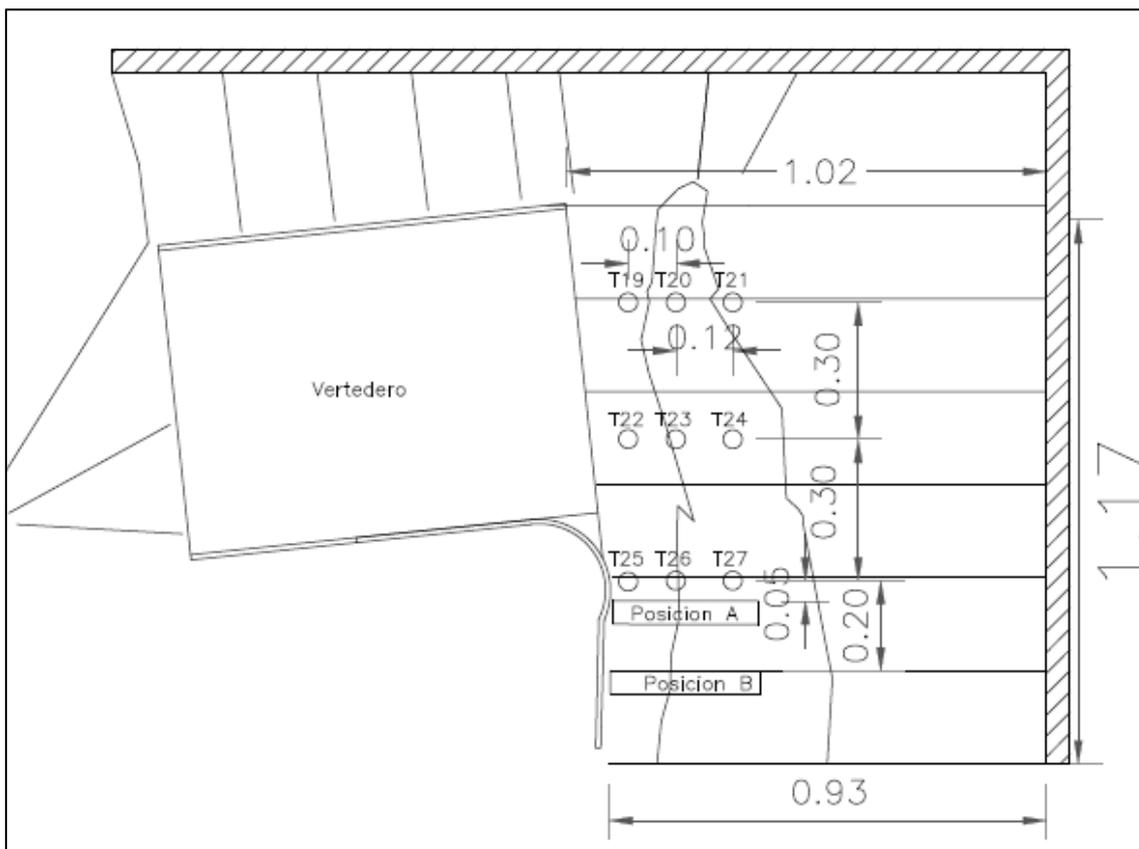


Figura 29. Características geométricas del cuenco disipados del Modelo físico.

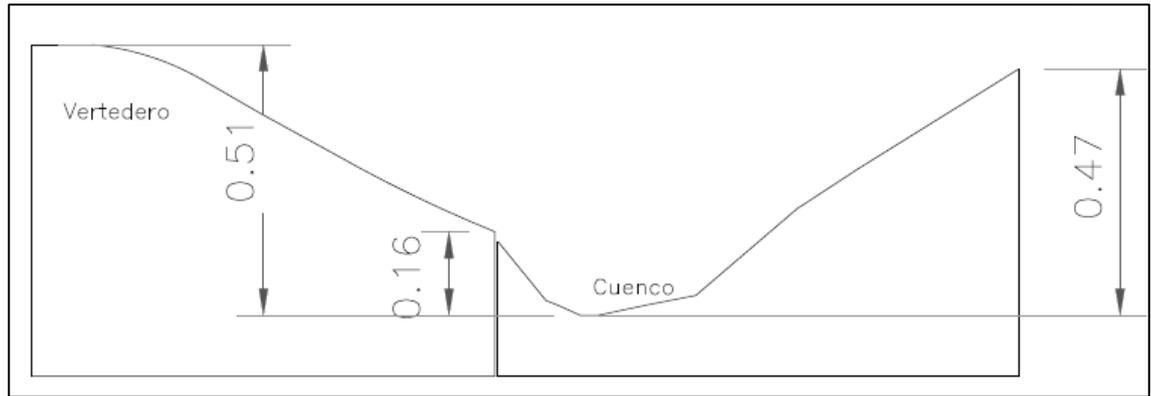


Figura 30. Características geométricas del vertedero y cuenco.

Se replantean los puntos donde irán las tomas de presión y se materializan las mismas de la siguiente manera:

- Tomas de presión dinámica: miden tanto la presión media como las fluctuaciones generadas por la turbulencia. Se usarán un conjunto de 9 tomas de este tipo, todas ellas ubicadas inmediatamente aguas abajo del vertedero. La conducción se hace mediante caños de cobre de 6,5 de diámetro interno. Las 9 tomas donde se realizaron las mediciones pueden observarse en la Figura 31.

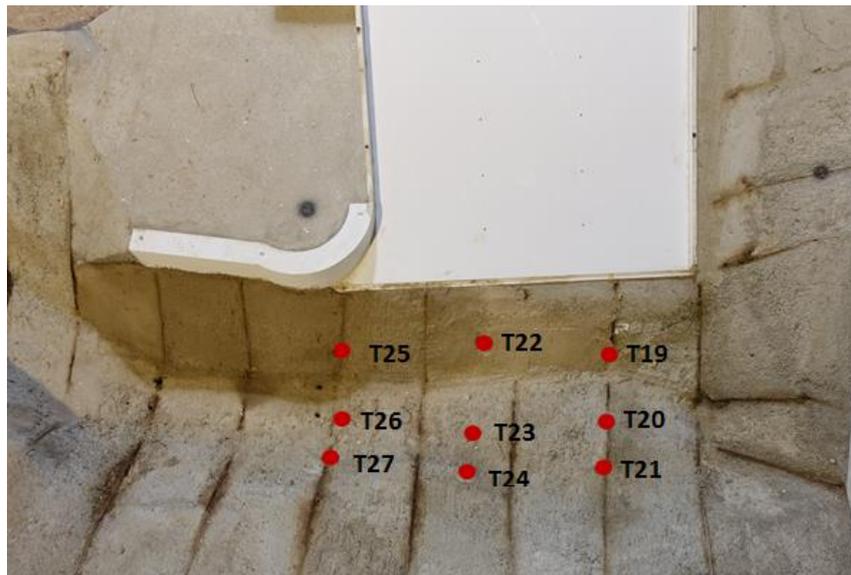


Figura 31. Tomas de presión dinámica.



Figura 32. Posiciones del azud.

Las mediciones se realizaron con un azud de 10,5 cm de alto en la posición B que se observa en la Figura 32. El tirante medido con regla aguas arriba del azud es de 14,5 cm y en la Toma 23 de 13,0 cm.

3.3.2. Mediciones en el modelo físico

Se buscó obtener las presiones fluctuantes aguas abajo del vertedero a través de mediciones de presiones absolutas en 9 tomas. Estas mediciones se realizaron con ambos sensores, en algunos casos se midió en dos tomas a la vez con los diferentes sensores y en otras situaciones se lleva a cabo mediciones en una sola toma con un sensor. Cada caso será explicitado en los resultados. Antes y después de realizar las distintas mediciones en las tomas se llevó a cabo las lecturas de presión atmosféricas de cada sensor para poder obtener una recta que represente la variación atmosférica de cada uno durante todo el ensayo y con ésta poder obtener el valor de presión atmosférica en cada instante que se realizaron mediciones que nos servirán para definir el valor de presión relativa en cada toma en el respectivo instante que se tomaran las lecturas.

Se realizaron ensayos con un azud de 10,5 cm de altura en una posición aguas abajo del vertedero y se les aplicó las rectas de calibración obtenidas en los ensayos con el tubo.

El ensayo realizado consiste en tomar mediciones en cada toma a una frecuencia de 1000 Hz durante 5 minutos. Las lecturas obtenidas deben ser modificadas por las mediciones atmosféricas y de L_0 correspondiente para cada toma. Con esto se obtendrá la altura de agua aplicada a cada toma. Sobre estos valores se aplican las rectas de calibración de cada sensor. Para obtener la correspondiente altura de agua se realiza el siguiente procedimiento:

- Con las lecturas atmosféricas inicial y final de cada sensor obtenemos la pendiente (a) y ordenada (b) mediante una aproximación lineal en la variación de la presión atmosférica.
- Con a y b de cada sensor se puede obtener las mediciones atmosféricas en cada instante comprendido entre la medición inicial y final.

Ahora se procede a calcular la columna de agua total (P_{rel}) mediante las lecturas tomadas con el Pasco (h_p) menos la mediciones atmosféricas en el instante correspondiente.

$$P_{rel} = h_p - P_{atm}(t) \quad \text{Ecuación 7}$$

- Con P_{rel} menos la lectura de base (L_0) en cada toma obtenemos el valor de presión dinámica (h_D) que está aplicado sobre cada toma, a este último resultado se le aplicará la recta de calibración para el sensor correspondiente con que se haya tomado las lecturas.

Las distintas variables enunciadas se expresan en la Figura 33.

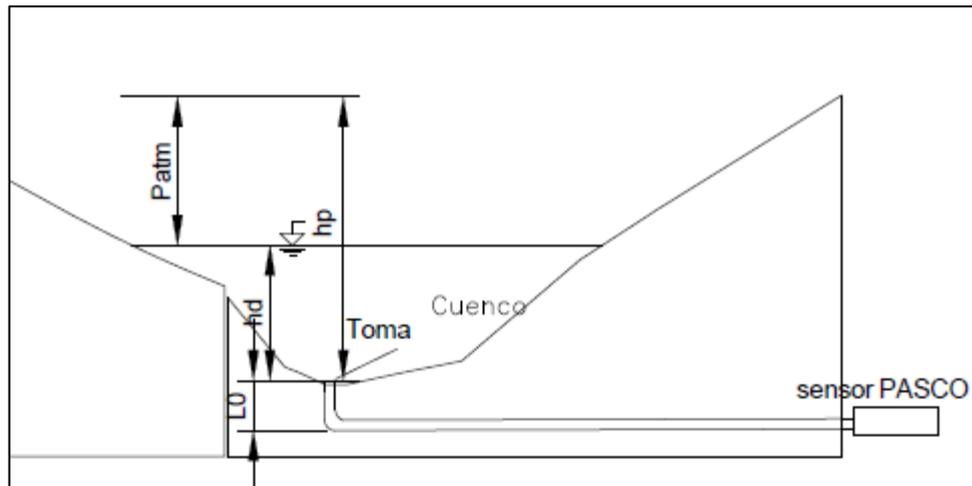


Figura 33. Modelo físico los Alazanes.

Tabla 4 se observan las mediciones realizadas durante el ensayo, en la misma se detalla con *RUN* la numeración correspondiente a las lecturas tomadas simultáneamente y con el respectivo sensor utilizado.

Tabla 4. Mediciones en tomas.

TOMA	26'	20'	26	23'	20	23	21	19	24	22	27	25
RUN	Run #39	Run #39	Run #40	Run #40	Run #41	Run #41	Run #42	Run #42	Run #43	Run #43	Run #44	Run #44
SENSOR	Sensor A	Sensor B										

3.4. Síntesis de metodología de medición

Mediciones en el tubo:

Primero contar con el adecuado instrumental de medición que en nuestro caso fueron el tubo de ensayo y los sensores de presión absoluta. Para obtener la calibración correspondiente se plantea en un principio la cantidad de puntos (alturas de columna de agua) a medir, partiendo que se han obtenido resultados satisfactorios midiendo con cuatro puntos diferentes, pero en las rectas obtenidas con mayor precisión se utilizaron nueve puntos (los

primeros cada 1 cm y luego cada 5 cm de altura de columna de agua). Las primeras mediciones consisten en medir con cada sensor presiones atmosféricas o P_0 . Luego se medirán las presiones absolutas en cada una de las alturas definidas, se deben tomar alturas de columna de agua con precisión al cm para poder tomar la lectura de cada una con el menor error posible. Si los ensayos tienen un prolongada duración (de una hora aproximadamente) se recomienda medir las presiones atmosféricas o P_0 al final del ensayo para obtener una mejor precisión en cuanto a las lecturas de las mismas en el tiempo de duración de ensayo, asumiendo una variación lineal entre las lecturas iniciales y finales; si el ensayo es de poca duración con pocos puntos se puede asumir de manera constantes en todas las mediciones las lecturas atmosféricas y de P_0 tomadas al principio; lo correcto sería tomar las lecturas de presiones atmosféricas y P_0 en cada medición realizada pero esto resultaría muy complejo al tener que conectar y desconectar los sensores en cada instante que se requiera. Con las presiones absolutas medidas en cada altura de columna de agua y la correspondiente lectura atmosférica o P_0 obtenida en el tiempo correspondiente que se midió cada altura de agua obtenemos las presiones relativas en cada punto mediante la diferencia entre las lecturas mencionadas (absolutas y atmosféricas o P_0). Dichas presiones relativas serán comparadas con la altura total de agua (h_L) si se usa la metodología de calibración atmosférica o se comparan directamente con la altura de columna de agua (h) tomada directamente en la regla graduada. Se grafican la relación entre los distintos puntos obteniendo una línea de tendencia mediante la cual utilizamos su pendiente y ordenada para calibrar las futuras mediciones. En el caso de medir con presiones atmosféricas se tiene la dificultad de medir el L_0 del tubo (tomado antes de empezar el ensayo y verificar al final) ya que el mismo sufre algunos movimientos. Tener el cuidado de no dejar burbujas de aire en las mangueras de conexión con el sensor. Para las mediciones estáticas y dinámicas es conveniente medir con la T para obtener resultados con un menor desfase entre lecturas.

Mediciones en el modelo:

Primero determinar que tomas se medirán (si es que se necesita el valor de una en especial o si es un nuevo ensayo donde se miden en todas las tomas). Para las mediciones en el modelo Los Alazanes se debe medir las lecturas atmosféricas al inicio y al final del ensayo por lo descrito anteriormente de manera de obtener una lectura en cada medición. Luego se medirá en cada toma las presiones absolutas. Para obtener las lecturas de L_0 en cada toma se tiene que determinar una toma de referencia en la cual se medirán presiones absolutas al terminar el ensayo cuando se encuentre sin agua el modelo. Con las lecturas atmosféricas finales y las presiones absolutas obtenemos las presiones relativas en la toma de referencia y mediante las características geométricas del modelo en cuanto a los desniveles obtenemos los valores de L_0 en las demás tomas. Para determinar la altura de columna de agua sobre cada toma (h_D) se le resta a las lecturas de presión absoluta el valor de presión atmosférica en el tiempo correspondiente que se midió las presiones absolutas, luego se resta el valor de L_0 de la toma y con esto obtenemos el valor final al cual se le aplicara la recta de calibración obtenida en las mediciones en el tubo de ensayo. Se recomienda medir con un solo sensor en todas las tomas debido a la diferencia en las lecturas obtenidas entre cada uno de los sensores. A su vez se obtienen buenos resultados al calibrar lecturas de un sensor medidas en distintos tiempos.

4. RESULTADOS

Se expresarán los resultados que se obtuvieron en las mediciones tanto en el tubo de ensayo como en el modelo físico. En el tubo de ensayo tenemos mediciones estáticas y dinámicas. En gráficos se muestran los resultados que relacionan la variación de las mediciones durante el tiempo y en tablas los valores estadísticos de cada ensayo. A continuación se describen los resultados de cada ensayo que se diferencian en atmosféricos, estáticos, calibración, dinámicos y en Modelo.

4.1. Resultados de mediciones atmosféricas

Se realizó una comparación de la pendiente entre los sensores, así como también entre los diferentes ensayos. Se puede observar que todas las rectas bajan con una misma tendencia. Para mayor precisión se mostrarán las ecuaciones de cada línea de tendencia junto al coeficiente de determinación (R^2). En la Tabla 5 se observan las variables de las líneas de tendencia en cada ensayo y su correspondiente coeficiente de determinación, esto se muestra para cada ensayo.

Tabla 5. Variables de líneas de tendencia.

Ensayo	Sensor A			Sensor B		
	a (Pendiente)	b Ordenada (kPa)	R^2	a (pendiente)	b Ordenada (kPa)	R^2
1	-4E-05	96,591	0,8053	-4E-05	97,519	0,9163
2	-3E-05	96,435	0,8645	-5E-05	97,354	0,9161
3	-7E-06	97,673	0,0026	5E-07	97,937	2E-05

En los primeros dos ensayos con duración de una hora tienen aproximadamente los mismos valores. Estos dos ensayos se realizaron consecutivamente y se puede observar que el ensayo 2 registró valores más bajos por la influencia de la temperatura. El ensayo 1 se empezó a las 13.33 hs. y el ensayo 2 a las 14.37hs. con mayor temperatura en este último. En la Figura 34 se puede observar cómo se tiene la misma pendiente y misma tendencia entre los 2 ensayos. La pendiente se mantiene prácticamente constante y con los coeficientes de determinación similares entre sí y cercanos a la unidad, menos en el último ensayo donde se supone que la presión se mantiene prácticamente constante durante los 5 min.

El ensayo 3 al tener una duración mucho menor al anterior, 5 minutos que es el tiempo usado comúnmente para todos los ensayos que realizamos con agua, mostró menor variabilidad en la presiones en el tiempo, pudiéndose asumir una presión media durante la medición si se toman lecturas al comienzo y al final (Figura 35).

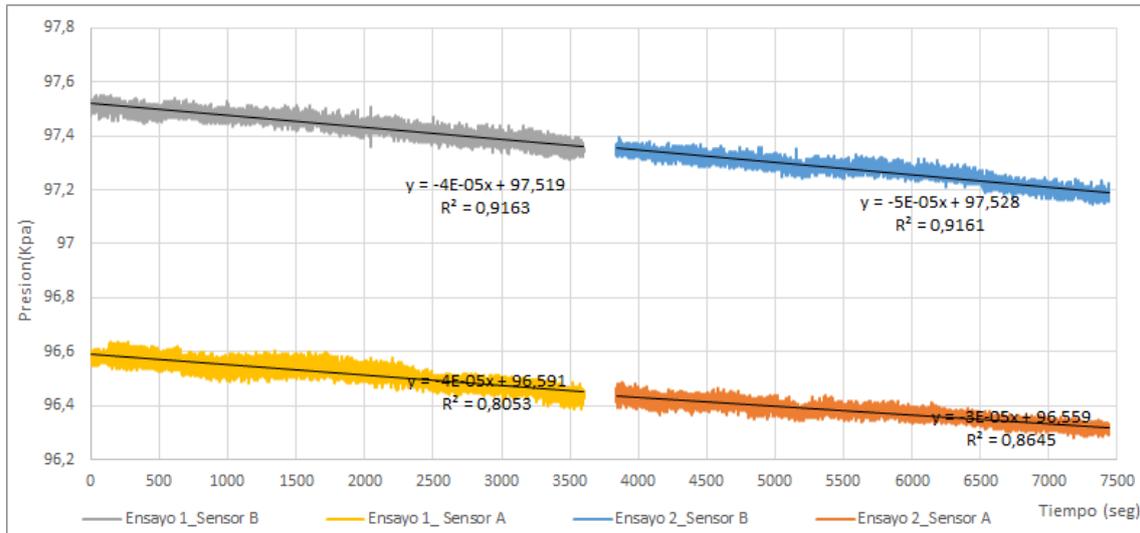


Figura 34. Ensayo 1 y 2. Lecturas atmosféricas en Sensor A y B.

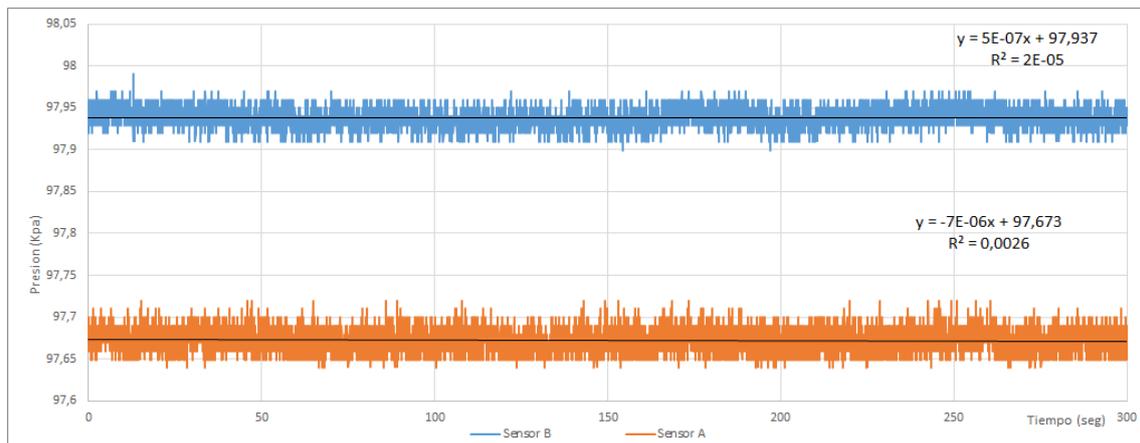


Figura 35. Ensayo 3. Lecturas atmosféricas en Sensor A y B.

En la primera figura las máximas variaciones entre la lectura inicial y final van de 0,15 kPa para el Sensor A y 0,16 kPa para el Sensor B, para la siguiente con menor duración se determina una variación de 0,02 kPa para el Sensor A y 0,01 kPa para el Sensor B.

En la Figura 36 se puede observar la diferencia de presión entre ambos sensores en cada ensayo realizado, en donde determinamos que para cada ensayo dicha diferencia se mantiene constante durante toda la medición.

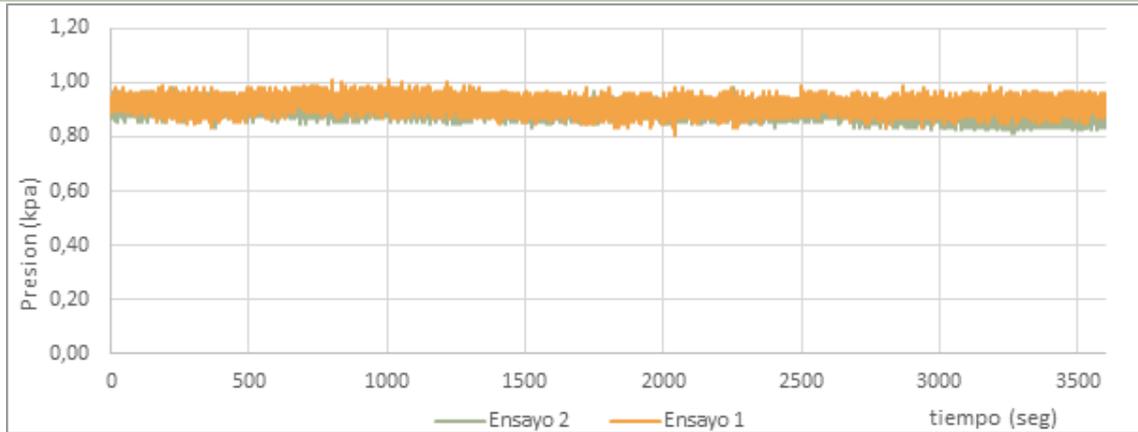


Figura 36. Ensayo 1 y 2. Diferencia entre las lecturas atmosféricas de ambos sensores.

Por último, en Tabla 6 se expresan la media y el desvío de cada ensayo.

Tabla 6. Resultados estadísticos en Ensayos 1,2 y 3.

Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Duración (s)	3600	3600	300
Frecuencia (Hz)	5	5	50
Cantidad de datos	18000	18000	15000
Media (kPa) Sensor A	96,522	96,377	97,672
Media (kPa) Sensor B	97,439	97,272	97,938
Desvío (kPa) Sensor A	0,044	0,036	0,012
Desvío (kPa) Sensor B	0,048	0,049	0,010

En este caso solo se considera válido el desvío del ensayo 3 ya que en el mismo los valores de presiones se mantuvieron constantes durante el ensayo y a pesar de que el valor del coeficiente de determinación no es correcto, solo tenemos en cuenta el desvío obtenido. Con lo cual es importante destacar que el desvío en este caso representa el ruido del instrumento al realizar las mediciones atmosféricas.

4.1.1. Discusión de resultados mediciones atmosféricas

Con los resultados obtenidos en los tres ensayos podemos observar lo siguiente:

- Obtuvimos una aproximación del ruido del instrumento ya que no está sometido a variaciones de agua ni a fluctuaciones, por lo que las variaciones que se generan son propias del sensor. De acuerdo con los ensayos el desvío aceptable en las próximas mediciones no tendría que ser mayor a los 0,10-0,12 cm para una duración de 5 minutos.
- A su vez se observa que los desvíos son menores en el Sensor B cuando los ensayos tienen una duración de 5 minutos.
- De acuerdo a los primeros dos ensayos realizados podemos observar cómo las pendientes y ordenadas de las rectas debidas a la variación atmosférica se mantienen prácticamente constantes a pesar de que se detuvo la medición por 12 minutos (tiempo entre el final del ensayo 1 y el comienzo del ensayo 2) y luego se continuó con la misma.

4.2. Resultados de mediciones para calibración

A continuación, se explicará cada ensayo de calibración. Se realizaron 12 ensayos, algunos con características similares. Los mismos constarán de tablas donde se tiene el resumen de los datos obtenidos y un gráfico de lecturas medidas en función de las presiones relativas. En el eje de abscisas la presión relativa obtenida con el sensor pasado a cm y en ordenadas los cm de agua medidos directamente con regla. Entre los 12 ensayos tenemos 10 realizados con presiones atmosféricas y 2 con presiones con altura cero (h_0) descrita en la metodología. Se describirán primero los realizados con presiones atmosféricas.

4.2.1. Calibración con presión atmosférica

Primero se describirán brevemente los ensayos del 4 al 11 que se realizaron de manera similar con presiones atmosféricas al comienzo de cada ensayo. Se mostrarán los resultados obtenidos para cada sensor en tablas donde se incluyen todas las mediciones realizadas. Se dispuso de todos los gráficos de calibración de cada sensor por separado para obtener una mejor comparación.

Sensor A

Ensayo 4: Este ensayo consiste en tomar mediciones con el Sensor A. El procedimiento consiste en medir una altura aleatoria, en este caso 7,2 cm, e ir aumentando agua también de manera aleatoria y tomar las lecturas con regla.

Ensayo 6: Se realizó de manera similar al ensayo 4 solo que se dio inicio en las mediciones con una altura aleatoria de 11,8 cm.

Ensayo 7: En este ensayo se comenzó con una lectura inicial de 5 cm en el tubo y se fue aumentando de a 5 cm a medida que se tomaban las mediciones.

Ensayo 9: se realizó de manera similar al ensayo 7 pero con la mitad de mediciones efectuadas.

Ensayo 10: Este ensayo se realizó tomando lecturas para una altura de 10 cm de agua y aumentamos de a 10 cm en cada medición.

Se recuerda el significado de cada una de las variables a utilizar en los distintos ensayos: h es la lectura tomada directamente de la regla, h_L es la lectura total de columna de agua obtenida con h más las variables D , ϕ y L_0 , h_p es la medición obtenida con el PASCO luego de realizar el promedio a todos los datos generados y P_{rel} es la presión relativa que se obtiene de la diferencia entre h_p y las lecturas atmosféricas. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados Ensayos 4, 6, 7, 9 y 10.

Ensayo	Medición	h	h_L	h_P	P_rel
-	-	cm	cm	kPa	cm
4	1	7,2	15,95	97,60	15,58
	2	17,2	25,95	98,59	25,67
	3	27,4	36,15	99,56	35,64
	4	37,4	46,15	100,53	45,46
	5	10,9	19,65	97,89	18,58
	6	12,9	21,65	98,09	20,57
	7	14,9	23,65	98,27	22,43
6	1	11,8	18,85	98,49	16,18
	2	14	21,05	98,68	17,76
	3	18,9	25,95	99,11	22,36
	4	22,4	29,45	99,45	25,78
	5	26,3	33,35	99,81	29,85
	6	7,3	14,35	97,92	10,86
	7	1,9	8,95	97,45	6,14
7	1	5,0	11,95	98,42	11,61
	2	10,0	16,95	98,83	15,79
	3	15,0	21,95	99,31	20,69
	4	20,0	26,95	99,82	25,84
	5	25,0	31,95	100,27	30,44
	6	30,0	36,95	100,73	35,15
9	1	5,0	11,95	98,24	9,79
	2	10,0	16,95	98,73	14,73
	3	15,0	21,95	99,20	19,53
10	1	10,0	17,05	99,41	17,75
	2	20,0	27,05	100,35	27,34
	3	30,0	37,05	101,28	36,82
	4	40,0	47,05	102,26	46,82

Las rectas de los 5 ensayos realizados con el Sensor A se pueden observar en la Figura 37.

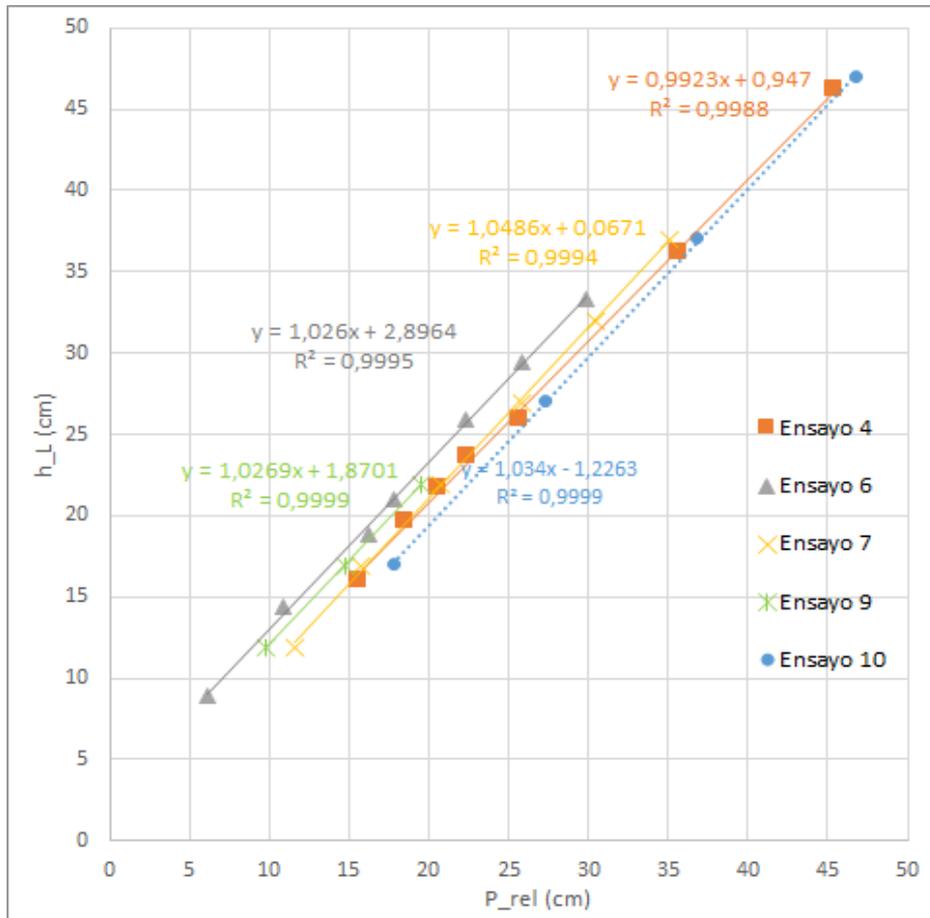


Figura 37. Resultados Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

En la Tabla 8 se expresa un resumen de las líneas de tendencias de cada recta de calibración obtenidas con el Sensor A.

Tabla 8. Líneas de tendencia Sensor A.

Ensayo	a Pendiente	b Ordenada (cm)
<u>4</u>	0,992	0,947
<u>6</u>	1,026	2,896
<u>7</u>	1,049	0,067
<u>9</u>	1,027	1,870
<u>10</u>	1,034	-1,226

En las distintas rectas para cada ensayo se determinó lo siguiente:

Ensayo 4: En la figura se puede observar una buena aproximación de los valores por lo que la calibración no modificaría los resultados finales de manera relevante debido a la pendiente, pero si debido al valor de ordenada.

Ensayo 6: Se tiene una buena aproximación con una pendiente constante, pero con un alto valor de ordenada.

Ensayo 7: En el gráfico se puede determinar una buena aproximación de los valores y con una ordenada de menor valor a las anteriores por lo que la calibración no modificaría los valores de manera relevante.

Ensayo 9: Obteniendo una buena aproximación, pero con una pendiente de valor considerable.

Ensayo 10: Se observa una buena tendencia entre cada punto, pero con una ordenada negativa y de valor relevante que modificaría en gran medida los resultados finales.

Sensor B

Ensayo 5: Se realizó de manera conjunta al ensayo 4, donde se empezó con una altura aleatoria de 7,2 cm.

Ensayo 8: Se procedió de manera simultánea con el ensayo 7. Empezando con una altura de 5 cm e ir aumentando de a 5 cm en cada medición.

Ensayo 11: Se efectuó conjuntamente con ensayo 10. La primera medición se realizó con 10 cm y se aumentamos de a 10 cm.

Los resultados se expresan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados ensayos 5, 8 y 11.

Ensayo	Medición	h	h _L	h _P	P _{rel}
-	-	cm	cm	kPa	cm
5	1	7,2	15,95	97,86	17,24
	2	17,2	25,95	98,93	28,12
	3	27,4	36,15	99,91	38,15
	4	37,4	46,15	100,84	47,60
	5	10,9	19,65	98,38	22,56
	6	12,9	21,65	98,65	25,31
	7	14,9	23,65	98,83	27,17
8	1	5,0	11,95	98,74	12,72
	2	10,0	16,95	99,18	17,23
	3	15,0	21,95	99,61	21,64
	4	20,0	26,95	100,16	27,19
	5	25,0	31,95	100,62	31,90
	6	30,0	36,95	101,07	36,50
11	1	10,0	17,05	99,81	19,07
	2	20,0	27,05	100,76	28,76
	3	30,0	37,05	101,64	37,74
	4	40,0	47,05	102,61	47,63

Las rectas de los 3 ensayos realizados con el Sensor B se pueden observar en la Figura 38.

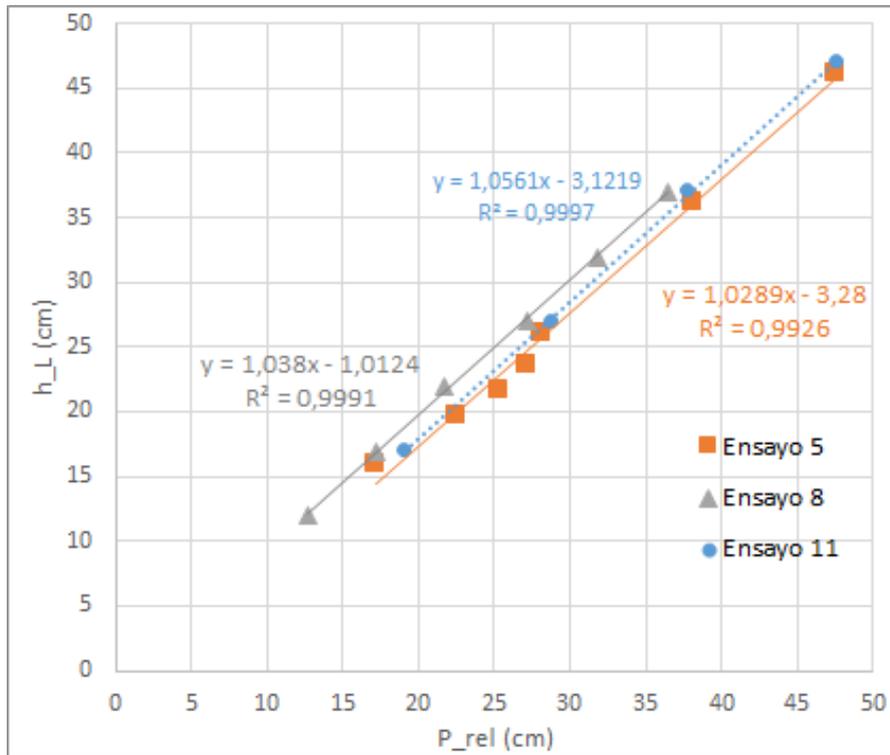


Figura 38. Resultados Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

En la Tabla 10 podemos observar las rectas de calibración obtenidas con el Sensor B.

Tabla 10. Líneas de tendencia Sensor B.

Ensayo	a Pendiente	b Ordenada (cm)
<u>5</u>	1,029	-3,280
<u>7</u>	1,038	-1,012
<u>11</u>	1,056	-3,122

En las distintas rectas para cada ensayo se determinó lo siguiente:

Ensayo 5: En este caso se aprecia una desviación en las mediciones intermedias, con la cual la recta de calibración no se aproxima a todos los valores de manera similar y obtenemos un relevante valor de ordenada que modificaría en gran medida las lecturas finales calibradas.

Ensayo 8: Se obtiene una buena aproximación de la recta, pero con un valor relevante en la ordenada.

Ensayo 11: Se obtuvo una buena aproximación entre las lecturas, pero el valor de ordenada es muy alto.

En los siguientes ensayos se buscó obtener mayor exactitud usando mediciones de presión atmosférica al inicio y final de los ensayos para obtener lecturas atmosféricas en cada instante de segundo. Para el ensayo 18 se utilizaron los siguientes datos de presión atmosférica inicial y final. En la Tabla 11 observamos los valores tomados con ambos sensores y el tiempo expresado en segundos entre una medición y la otra.

Tabla 11. Presiones atmosféricas inicial y final, Ensayo 18.

Hora	Sensor A	Sensor B	Tiempo (s)
Atmosférica inicial 11:03:21	97,870	98,169	0
Atmosférica final 01:11:25	98,038	98,224	7684
Diferencia	-0,168	-0,055	7684

Ensayo 18

A continuación expresamos los resultados obtenidos para cada experimento y cada sensor por separado. En los siguientes experimentos se utilizarán lecturas menores a las anteriores para poder tener valores de comparación de un orden menor. Comenzando desde 1 cm hasta 45 cm, primero aumentando de a 1 cm y luego de a 5 cm. La otra diferencia de los ensayos anteriores es que se determinara las lecturas atmosféricas en cada medición a realizar mediante la toma de presiones atmosféricas al inicio y al final de cada ensayo. Se realizan dos experimentos de manera simultánea y en cada uno de estos se diferencian las lecturas tomadas con cada sensor.

Experimento 1.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 12 y Figura 39)

Tabla 12. Resultados Ensayo 18, Experimento 1.A. Sensor A.

Medición	h	h _L	h _P	P _{rel}	Patm
-	cm	cm	kPa	Cm	kPa
4	1,0	9,05	98,500	6,079	97,904
5	2,0	10,05	98,594	6,985	97,910
6	3,0	11,05	98,671	7,724	97,914
7	4,0	12,05	98,760	8,587	97,918
8	5,0	13,05	98,852	9,494	97,921
9	10,0	18,05	99,330	14,332	97,925
10	15,0	23,05	99,819	19,281	97,929
11	20,0	28,05	100,298	24,113	97,934
12	25,0	33,05	100,763	28,805	97,939
13	30,0	38,05	101,240	33,636	97,942
14	35,0	43,05	101,727	38,560	97,947
15	40,0	48,05	102,198	43,319	97,951
16	45,0	53,05	102,690	48,298	97,955

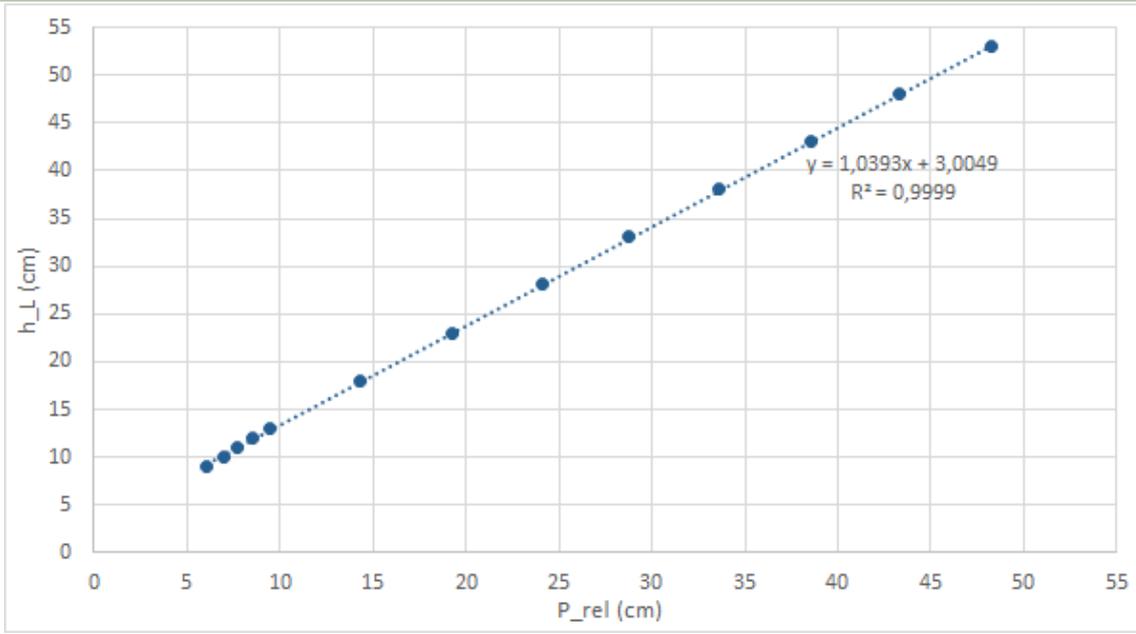


Figura 39. Resultado Ensayo 18, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 1.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 13 y Figura 40).

Tabla 13. Resultados Ensayo 18, Experimento 1.B. Sensor B.

Medición	h	h_L	h_P	P_{rel}	P_{atm}
-	cm	cm	KPa	Cm	KPa
4	1,0	9,05	99,053	8,902	98,180
5	2,0	10,05	99,147	9,835	98,182
6	3,0	11,05	99,214	10,509	98,184
7	4,0	12,05	99,303	11,400	98,185
8	5,0	13,05	99,384	12,217	98,186
9	10,0	18,05	99,833	16,790	98,187
10	15,0	23,05	100,311	21,647	98,189
11	20,0	28,05	100,791	26,525	98,190
12	25,0	33,05	101,268	31,377	98,192
13	30,0	38,05	101,725	36,031	98,193
14	35,0	43,05	102,201	40,864	98,195
15	40,0	48,05	102,665	45,587	98,196
16	45,0	53,05	103,152	50,543	98,197

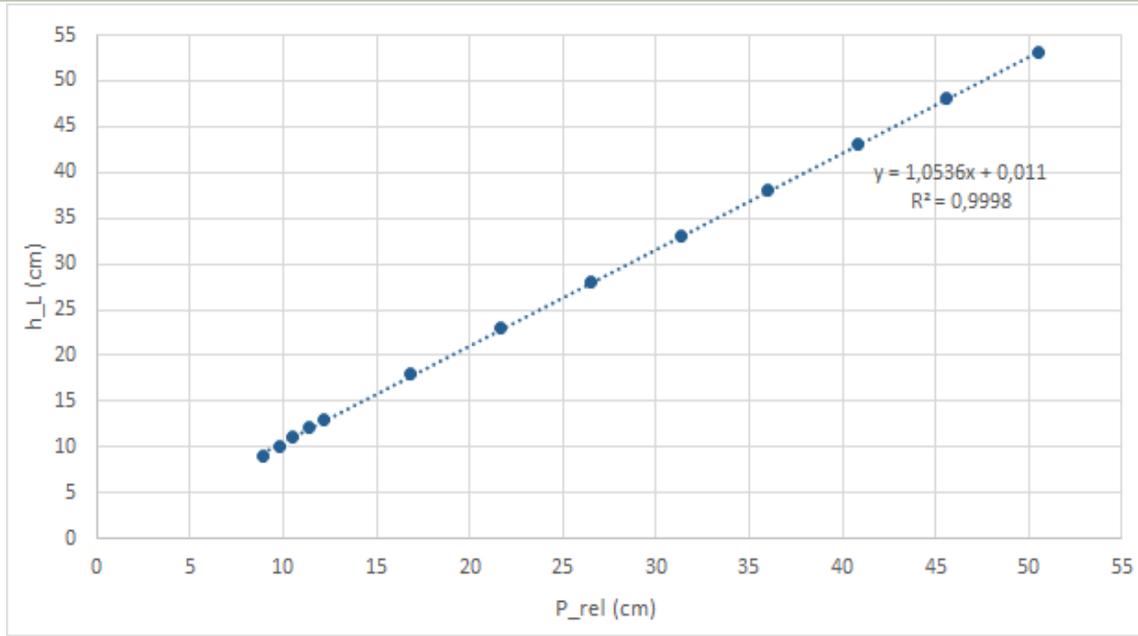


Figura 40. Resultados Ensayo 18, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 14 y Figura 41).

Tabla 14. Resultados Ensayo 18, Experimento 2.A. Sensor A.

Medición	h	h _L	h _P	P _{rel}	Patm
-	cm	cm	kPa	Cm	kPa
17	1,0	9,05	98,437	6,492	97,800
18	2,0	10,05	98,533	7,515	97,796
19	3,0	11,05	98,634	8,584	97,792
20	4,0	12,05	98,736	9,668	97,788
21	5,0	13,05	98,842	10,797	97,783
22	10,0	18,05	99,321	15,747	97,778
23	15,0	23,05	99,802	20,703	97,772
24	20,0	28,05	100,274	25,575	97,766
25	25,0	33,05	100,752	30,500	97,762
26	30,0	38,05	101,245	35,593	97,756
27	35,0	43,05	101,727	40,563	97,750
28	40,0	48,05	102,201	45,461	97,744
29	45,0	53,05	102,684	50,429	97,740

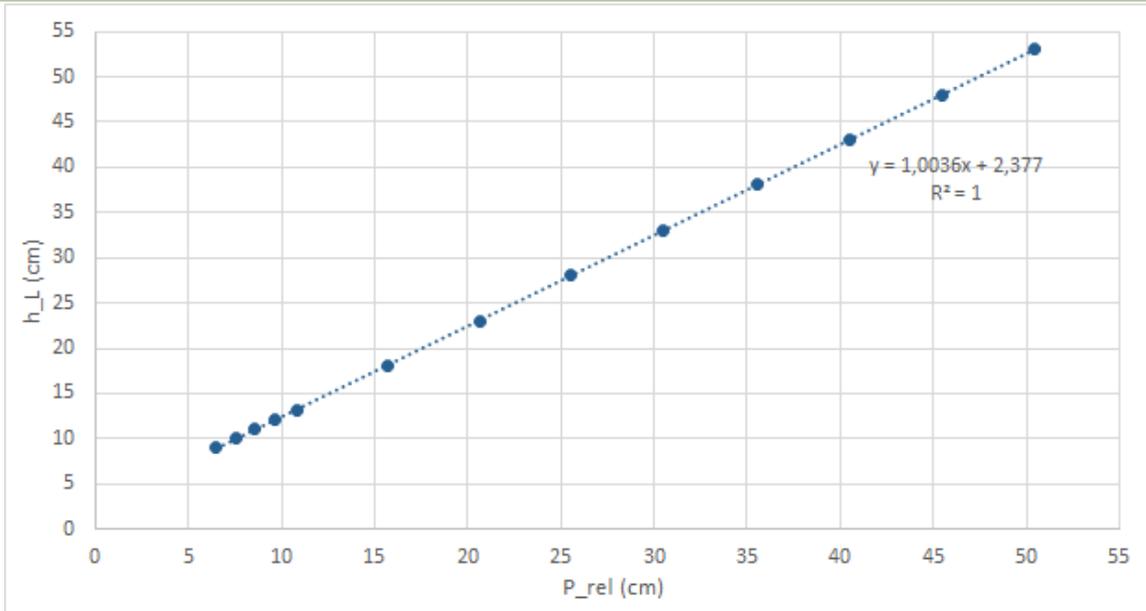


Figura 41. Resultados Ensayo 18, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 15 y Figura 42).

Tabla 15. Resultados Ensayo 18, Experimento 2.B. Sensor B.

Medición	h	h_L	h_P	P_rel	Patm
-	cm	cm	kPa	Cm	kPa
17	1,0	9,05	99,000	8,877	98,130
18	2,0	10,05	99,089	9,800	98,129
19	3,0	11,05	99,189	10,832	98,127
20	4,0	12,05	99,295	11,927	98,126
21	5,0	13,05	99,401	13,019	98,124
22	10,0	18,05	99,872	17,843	98,123
23	15,0	23,05	100,345	22,688	98,121
24	20,0	28,05	100,818	27,533	98,119
25	25,0	33,05	101,287	32,327	98,117
26	30,0	38,05	101,775	37,325	98,115
27	35,0	43,05	102,239	42,079	98,114
28	40,0	48,05	102,695	46,747	98,112
29	45,0	53,05	103,145	51,356	98,110

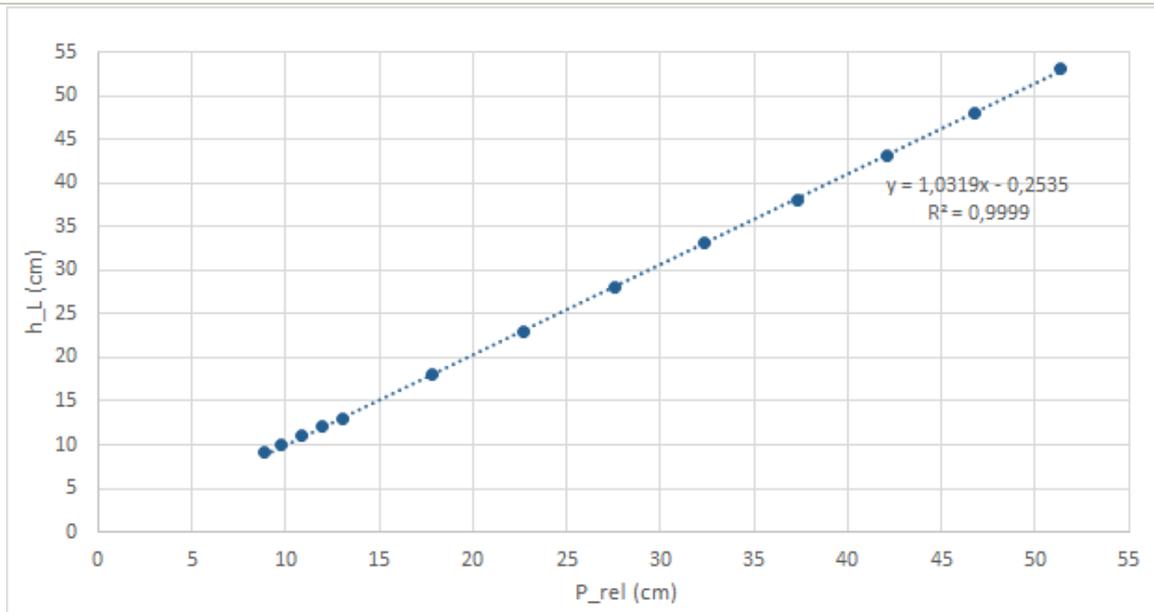


Figura 42: Resultados Ensayo 18, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

En el Ensayo 18 se obtienen buenas tendencias entre cada lectura realizada, pero con valores de ordenada entre 2 y 4 cm para el sensor A y de menor orden para el Sensor B.

Ensayo 20

Se realizó de la misma manera que el ensayo 18. En la Tabla 16 observamos los valores de presión atmosférica inicial y final tomados con ambos sensores y el tiempo expresado en seg entre una medición y la otra.

Tabla 16. Presiones atmosféricas iniciales y finales, Ensayo 20.

Hora	Sensor A	Sensor B	Tiempo (s)
Atmosférica inicial 11:41:18	97,666	97,836	0
Atmosférica final 13:16:23	97,359	97,685	5705
Diferencia	0,307	0,151	5705

El ensayo 20 se realizó mediante dos experimentos midiendo con ambos sensores en cada uno.

Experimento 1.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 17 y Figura 43).

Tabla 17. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.A. Sensor A.

Medición	h	h_L	h_P	P_rel	Patm
-	cm	cm	kPa	Cm	kPa
4	1,0	9,05	98,263	6,855	97,591
5	2,0	10,05	98,389	8,199	97,585
6	3,0	11,05	98,491	9,303	97,579
7	4,0	12,05	98,592	10,410	97,571
8	5,0	13,05	98,683	11,406	97,565
9	10,0	18,05	99,183	16,572	97,558
10	15,0	23,05	99,657	21,480	97,551
11	20,0	28,05	100,143	26,497	97,545
12	25,0	33,05	100,604	31,253	97,540
13	30,0	38,05	101,090	36,267	97,535
14	35,0	43,05	101,564	41,156	97,529
15	40,0	48,05	102,035	46,036	97,522
16	45,0	53,05	102,538	51,246	97,514

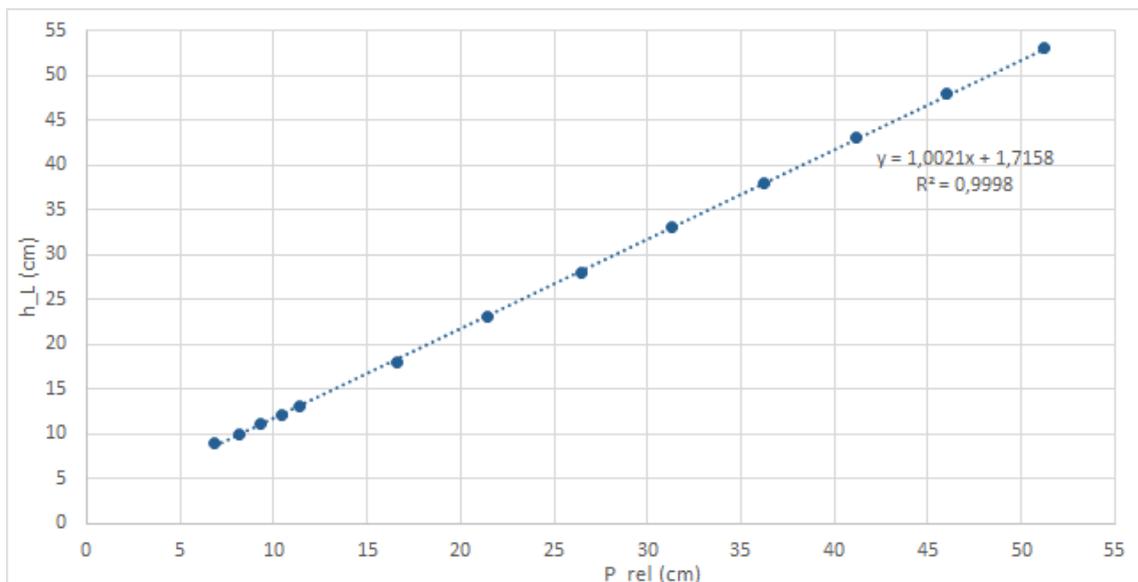


Figura 43. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 1.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 18 y Figura 44).

Tabla 18. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.B. Sensor B.

Medición	h	h_L	h_P	P_rel	Patm
-	cm	cm	kPa	cm	kPa
4	1,0	9,05	98,544	7,593	97,800
5	2,0	10,05	98,725	9,476	97,796
6	3,0	11,05	98,823	10,494	97,794
7	4,0	12,05	98,926	11,594	97,790
8	5,0	13,05	99,019	12,565	97,787
9	10,0	18,05	99,520	17,718	97,783
10	15,0	23,05	99,992	22,566	97,780
11	20,0	28,05	100,486	27,629	97,777
12	25,0	33,05	100,950	32,395	97,774
13	30,0	38,05	101,435	37,362	97,772
14	35,0	43,05	101,918	42,320	97,769
15	40,0	48,05	102,381	47,083	97,765
16	45,0	53,05	102,879	52,197	97,762

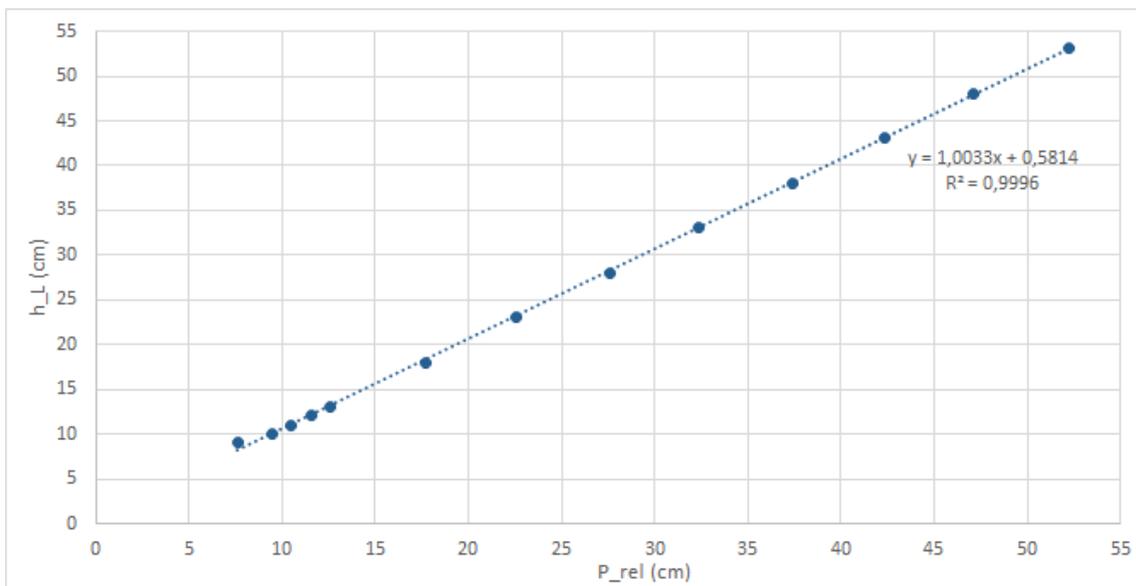


Figura 44. Resultados Ensayo 20, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 19 y Figura 45).

Tabla 19. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.A. Sensor A.

Medición	h	h _L	h _P	P _{rel}	Patm
-	cm	cm	kPa	cm	kPa
17	1,0	9,05	98,437	8,950	97,559
18	2,0	10,05	98,533	9,873	97,565
19	3,0	11,05	98,634	10,809	97,574
20	4,0	12,05	98,736	11,775	97,581
21	5,0	13,05	98,842	12,769	97,590
22	10,0	18,05	99,321	17,476	97,608
23	15,0	23,05	99,802	22,231	97,622
24	20,0	28,05	100,274	26,942	97,632
25	25,0	33,05	100,752	31,684	97,646
26	30,0	38,05	101,245	36,555	97,662
27	35,0	43,05	101,727	41,339	97,674
28	40,0	48,05	102,201	46,047	97,687
29	45,0	53,05	102,684	50,881	97,696

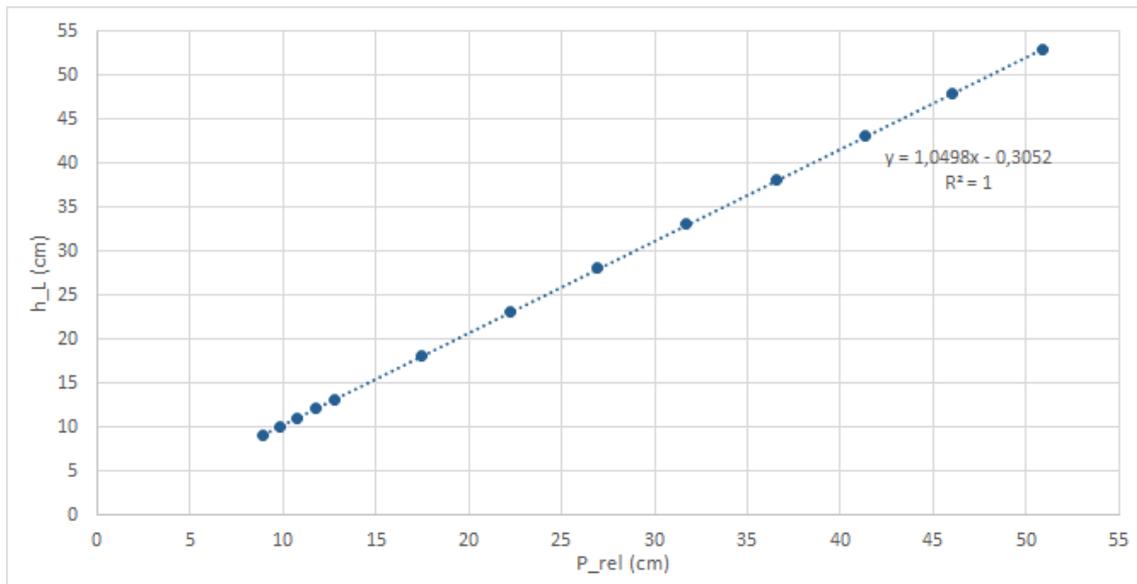


Figura 45. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 20 y Figura 46).

Tabla 20. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.B. Sensor B.

Medición	h	h_L	h_P	P_rel	Patm
-	cm	cm	kPa	cm	KPa
17	1,0	9,05	99,000	13,324	97,694
18	2,0	10,05	99,089	14,204	97,697
19	3,0	11,05	99,189	15,176	97,701
20	4,0	12,05	99,295	16,221	97,705
21	5,0	13,05	99,401	17,254	97,709
22	10,0	18,05	99,872	21,969	97,718
23	15,0	23,05	100,345	26,725	97,725
24	20,0	28,05	100,818	31,500	97,730
25	25,0	33,05	101,287	36,211	97,737
26	30,0	38,05	101,775	41,110	97,744
27	35,0	43,05	102,239	45,782	97,751
28	40,0	48,05	102,695	50,367	97,757
29	45,0	53,05	103,145	54,917	97,761

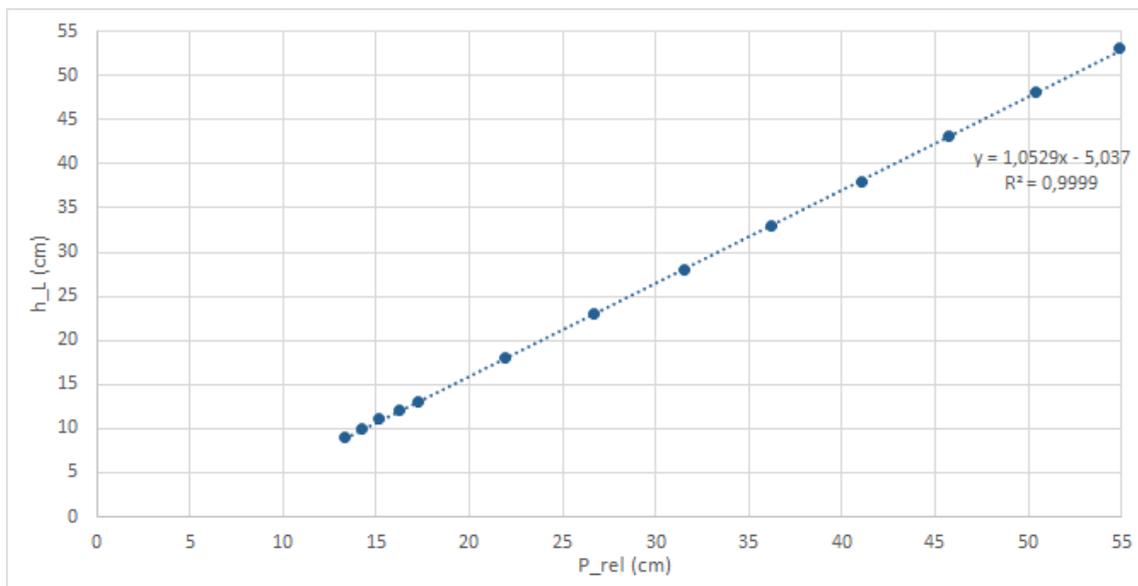


Figura 46. Resultados Ensayo 20, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

En el Ensayo 20 se obtuvo una buena aproximación en las rectas, pero los datos de ordenadas son dispersos. En algunos casos de valores muy relevantes (1,7 y 5 cm) mayores para el Sensor B.

4.2.2. Mediciones con variaciones en presión atmosférica

Luego de expresar los resultados de los ensayos realizados con variación atmosférica se analizó modificar los valores de presión atmosférica buscando representar algunas irregularidades que pueden presentarse durante la medición de presiones atmosféricas, las cuales pueden ser: que el sensor se haya quedado con alguna gota de agua que modifique el valor correcto o si el sensor se vio afectado por algún movimiento y no se ha dejado un tiempo para que logre una estabilización antes de medir. Estas variaciones se detallan en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 donde se podrán observar las diferencias entre cada una de las lecturas tomadas al inicio y al final de los ensayos.

Se utilizarán las siguientes variables:

- atm normal: son las lecturas atmosféricas tomadas de manera similar a los primeros ensayos
- con gota: se las designa así a las mediciones realizadas dejando una gota en la conexión del sensor.
- con mov 1 y 2: son lecturas tomadas luego de aplicarle un movimiento al sensor y medir inmediatamente después del mismo. Se realizó por duplicado esta secuencia por lo que se designa con mov 1 y con mov 2.
- dif: es la diferencia obtenida entre las variaciones de presiones planteadas y las lecturas de atm normal.

Tabla 21. Variaciones atmosféricas iniciales y finales, Ensayo 18.

Ensayo 18	Inicial (kPa)			Final (kPa)		
	atm. normal	con gota	dif.	atm. normal	con gota	dif.
Sensor A	97,870	98,120	0,250	97,816	98,038	0,223
Sensor B	98,169	98,239	0,070	98,135	98,224	0,089

Tabla 22. Variaciones atmosféricas iniciales, Ensayo 20.

Ensayo 20	Inicial (kPa)						
	atm. Normal	con gota	con mov. 1	con mov. 2	dif.	dif.	dif.
Sensor A	97,666	97,860	97,744	97,518	-0,194	-0,078	0,148
Sensor B	97,836	97,893	97,819	97,822	-0,057	0,018	0,014

Tabla 23. Variaciones atmosféricas finales, Ensayo 20.

Ensayo 20	Final (kPa)						
	atm. normal	con gota	con mov. 1	con mov. 2	dif.	dif.	dif.
Sensor A	97,541	97,695	97,359	97,487	-0,154	0,182	0,054
Sensor B	97,685	97,838	97,685	97,671	-0,153	0,000	0,014

Con las variaciones en presiones atmosféricas se plantea calcular nuevas rectas de calibración usando estos valores obtenidos que tienen mayor dispersión en vez de los llamado

atm. normal que representan los valores usados anteriormente. En el ensayo 18 usamos los valores normales y con gota al inicio y al final. Para el ensayo 20 usamos todos los valores expresados en la tabla y entre los que se obtuvieron con movimientos elegimos el de mayor diferencia con respecto al valor normal que representaría el caso más desfavorable a tener en cuenta.

Con todas las alternativas planteadas se obtuvieron un total de diez rectas de calibración. A continuación se expresa cada prueba realizada con el valor de presión atmosférica tomada como inicial y final, a su vez los valores de pendiente y ordenada para cada una. Se detalla lo mismo para cada sensor en la Tabla 24 y en la

Tabla 25.

Tabla 24. Rectas de calibración, Ensayo 18 y 20, Sensor A.

Sensor A	Prueba	Ensayo_Exp	Atm _i (kPa)	Atm _f (kPa)	a Pendiente	b Ordenada (cm)
atm normal	1	18_1.A.	97,870	97,816	1,0246	2,5049
con gota al final	2	18_1.A.	97,870	98,038	1,0393	3,0049
atm normal	3	18_2.A.	97,870	97,816	1,0213	2,5678
con gota al final	4	18_2.A.	97,870	98,038	1,0036	2,3770
atm normal	5	20_1.A.	97,666	97,541	1,0116	2,1775
con gota al final	6	20_1.A.	97,666	97,695	1,0197	2,5756
con mov al final	7	20_1.A.	97,666	97,359	1,0021	1,7158
atm normal	8	20_2.A.	97,666	97,541	1,0300	-0,3181
con gota al final	9	20_2.A.	97,666	97,695	1,0139	-0,3284
con mov al final	10	20_2.A.	97,666	97,359	1,0498	-0,3052

Tabla 25. Rectas de calibración, Ensayo 18 y 20, Sensor B.

Sensor B	Prueba	Ensayo_Exp	Atm _i (kPa)	Atm _f (kPa)	a Pendiente	b Ordenada (cm)
atm normal	1	18_1.B.	98,169	98,135	1,0475	-0,1770
con gota al final	2	18_1.B.	98,169	98,224	1,0536	0,0110
atm normal	3	18_2.B.	98,169	98,135	1,0393	-0,1946
con gota al final	4	18_2.B.	98,169	98,224	1,0319	-0,2535
atm normal	5	20_1.B.	97,836	97,685	1,0033	0,5814
con gota al final	6	20_1.B.	97,836	97,838	1,0113	0,9593
con mov al final	7	20_1.B.	97,836	97,685	1,0033	0,5814
atm normal	8	20_2.B.	97,836	97,685	1,0530	-5,0371
con gota al final	9	20_2.B.	97,836	97,838	1,0362	-4,9720
con mov al final	10	20_2.B.	97,836	97,685	1,0529	-5,0370

No se expresa de manera gráfica todas las variaciones ya que las tendencias entre los puntos son similares y lo único que es necesario son los valores de cada recta obtenida al modificar la presión atmosférica. Como se puede observar solo se tienen en cuenta variaciones

al final, ya que se supone que al empezar los ensayos el sensor no estuvo sometido a movimientos bruscos ni fue usado con agua antes de las mediciones de presión atmosférica.

4.2.3. Rectas de calibración con presión atmosférica

Con los 10 ensayos realizados se obtuvieron un total de 15 rectas de calibración para el Sensor A y 13 rectas para el Sensor B, para reducir este número y tener rectas que comprendan todos los casos posibles se realizaron seis conjuntos, donde cada uno representa una recta de calibración. Se plantea en tres conjuntos mantener fija la pendiente de la recta que es igual al promedio de las 15 pendientes obtenidas y se varió las ordenadas de la siguiente manera: una representa el promedio de las 15 ordenadas obtenidas, otra la mayor de estas y por último el valor mínimo de las mismas. Los 3 conjuntos restantes son de manera similar solo que con las ordenas fijas y las pendientes variables.

Los resultados para el Sensor A se expresan en la Tabla 26 donde cada conjunto se representa con un set. El set 1, set 2 y set 3 hacen referencia a las rectas con pendiente variable y ordenada fija. El set 4, set 5, set 6 representan las rectas con pendiente fija y ordenada variable.

Tabla 26. Rectas de calibración con Presión atmosférica, Sensor A.

	a Pendiente	b Ordenada (cm)
set 1	1,0229	1,5319
set 2	1,0498	1,5319
set 3	0,9923	1,5319
set 4	1,0229	1,5319
set 5	1,0229	3,0049
set 6	1,0229	-0,3284

Se puede observar que las pendientes no varían en gran medida en cada conjunto, contrario a lo que sucede en las ordenadas. Para el caso del set 5 al tener ordenada de mayor valor los resultados finales se modifican en gran medida. Mientras que para los restantes conjuntos los resultados son aceptables.

Se realizó lo mismo para el caso del Sensor B con 13 rectas de calibración obtenidas en los ensayos. Los resultados se detallan en la Tabla 27.

Tabla 27. Rectas de calibración con Presión atmosférica, Sensor A.

	a Pendiente	b Ordenada (cm)
set 1	1,0349	-1,5245
set 2	1,0561	-1,5245
set 3	1,0021	-1,5245
set 4	1,0349	-1,5245
set 5	1,0349	0,9593
set 6	1,0349	-5,0371

Por último se define como la recta final a utilizar en las siguientes calibraciones como el promedio de estos conjuntos obtenidos. Se muestran las rectas finales de cada en sensor en la Tabla 28.

Tabla 28. Rectas a utilizar en Sensor A y B.

RECTA FINAL	a Pendiente	b Ordenada (cm)
Sensor A	1,0223	1,4674
Sensor B	1,0330	-1,5699

4.2.4. Resultados de Calibración con P_0

Los siguientes ensayos se realizaron con una metodología similar reemplazando presiones atmosféricas por presiones de base y utilizando la lectura tomada de manera directa en el tubo de ensayo (h) en vez de h_L para la comparación con P_{rel} .

Se realizaron 2 ensayos con esta metodología. Se mostraran lo resultados de cada ensayo en los cuales el primero se realizó con una determinada medición de P_0 y el siguiente con otra medición de P_0 .

Se recuerda el significado de cada una de las variables a utilizar en los distintos ensayos: P_0 son las lecturas tomadas por el sensor en la altura h_0 , h es la lectura tomada directamente de la regla, h_p es la medición obtenida con el PASCO luego de realizar el promedio a todos los datos generados y P_{rel} es la presión relativa que se obtiene de la diferencia entre h_p y P_0 . Las variables se representan en la Figura 47.

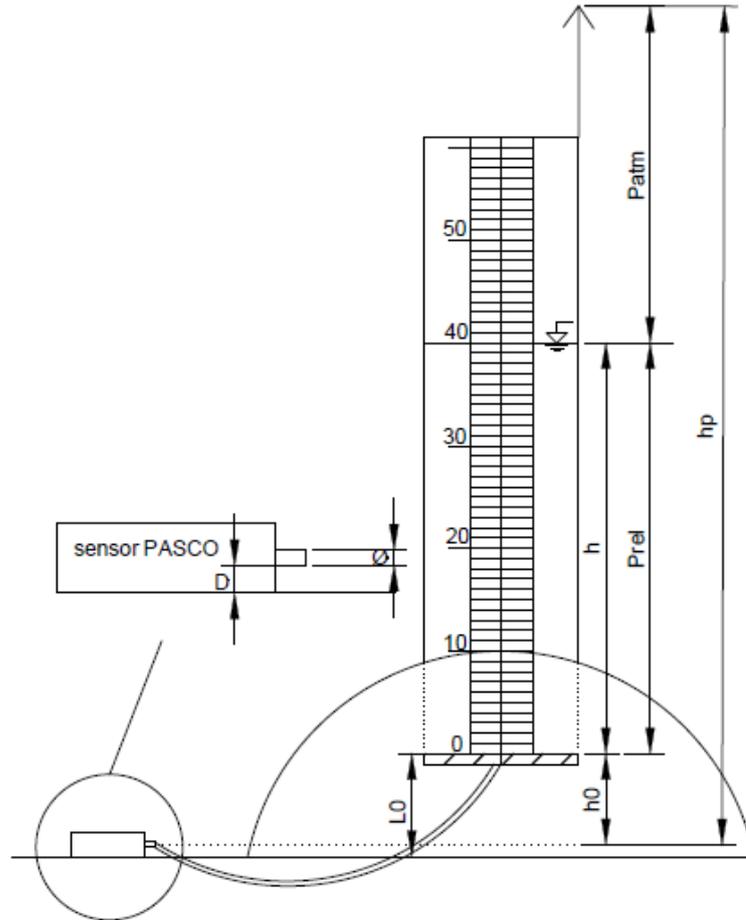


Figura 47. Variables para calibración con P_0 .

Ensayo 19

Comenzamos con el ensayo 19 donde realizaron mediciones con ambos sensores de manera simultánea mediante dos experimentos continuos. A continuación se expresan en la Tabla 29 las mediciones de P_0 que se tomaron para obtener las diferentes rectas de calibración.

Tabla 29. P_0 inicial y final, Ensayo 19.

Hora	Sensor A	Sensor B	Tiempo (s)
P0 inicial 11:23:27 am	98,432	98,994	0
P0 final 01:03:10 pm	98,367	98,927	5983
Diferencia	0,065	0,067	5983

Experimento 1.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 30 y Figura 48)

Tabla 30. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.A. Sensor A.

Medición	h	h_p	P_{rel}	P_0
-	cm	kPa	cm	kPa
4	1,0	98,500	0,713	98,430
5	2,0	98,594	1,711	98,427

6	3,0	98,671	2,512	98,425
7	4,0	98,760	3,437	98,423
8	5,0	98,852	4,399	98,421
9	10,0	99,330	9,298	98,419
10	15,0	99,819	14,304	98,417
11	20,0	100,298	19,207	98,415
12	25,0	100,763	23,975	98,412
13	30,0	101,240	28,860	98,410
14	35,0	101,727	33,859	98,408
15	40,0	102,198	38,677	98,406
16	45,0	102,690	43,719	98,404

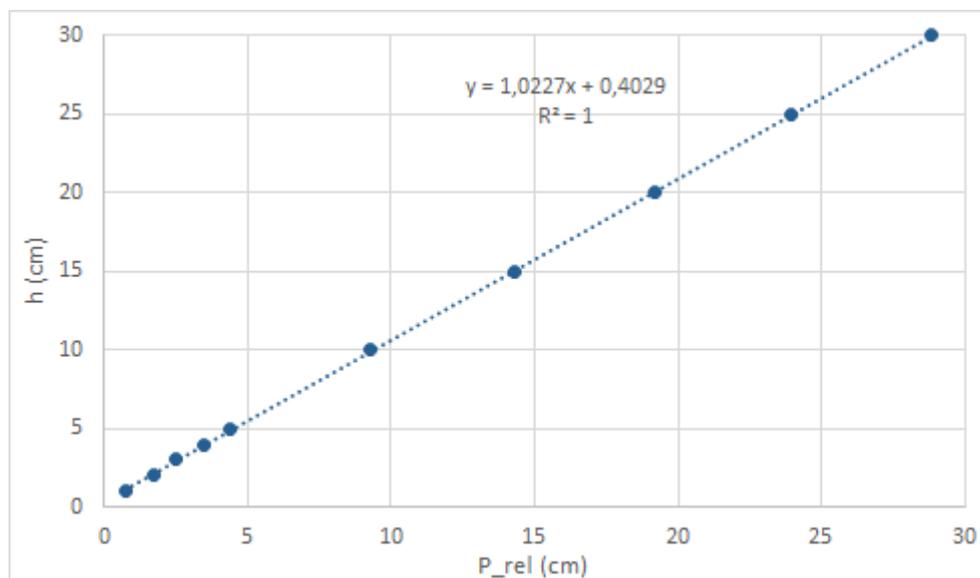


Figura 48. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 1.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 31 y Figura 49).

Tabla 31. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.B. Sensor B.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kPa	cm	kPa
4	1,0	99,053	0,624	98,992
5	2,0	99,147	1,609	98,989
6	3,0	99,214	2,317	98,987
7	4,0	99,303	3,243	98,985
8	5,0	99,384	4,090	98,983
9	10,0	99,833	8,697	98,981
10	15,0	100,311	13,587	98,979

11	20,0	100,791	18,504	98,977
12	25,0	101,268	23,399	98,974
13	30,0	101,725	28,083	98,972
14	35,0	102,201	32,957	98,970
15	40,0	102,665	37,714	98,968
16	45,0	103,152	42,705	98,966

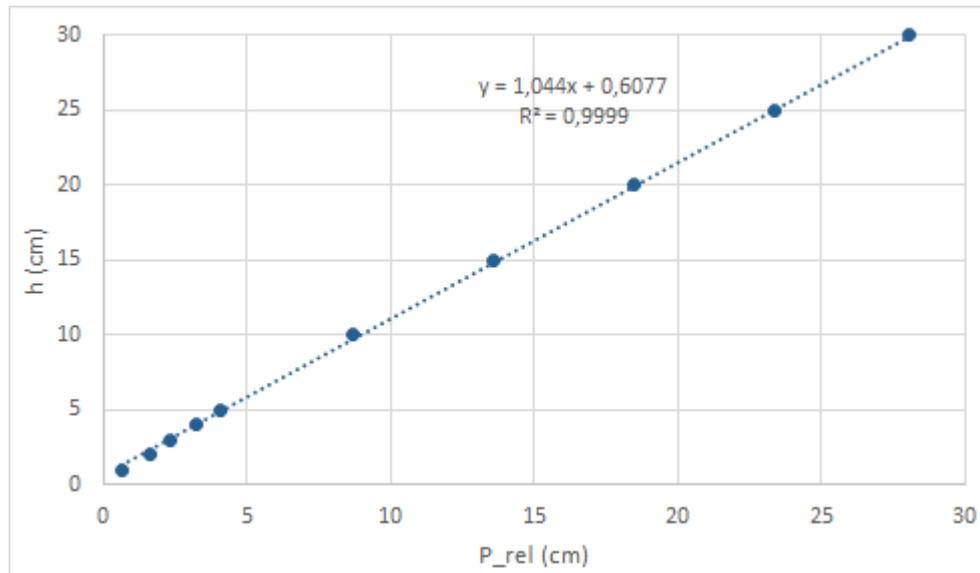


Figura 49. Resultados Ensayo 19, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 32 y Figura 50)

Tabla 32. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.A. Sensor A.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kPa	Cm	kPa
17	1,0	98,437	0,691	98,369
18	2,0	98,533	1,655	98,371
19	3,0	98,634	2,661	98,373
20	4,0	98,736	3,677	98,375
21	5,0	98,842	4,741	98,377
22	10,0	99,321	9,602	98,380
23	15,0	99,802	14,471	98,383
24	20,0	100,274	19,256	98,386
25	25,0	100,752	24,116	98,388
26	30,0	101,245	29,115	98,391
27	35,0	101,727	34,001	98,394
28	40,0	102,201	38,805	98,397
29	45,0	102,684	43,709	98,399

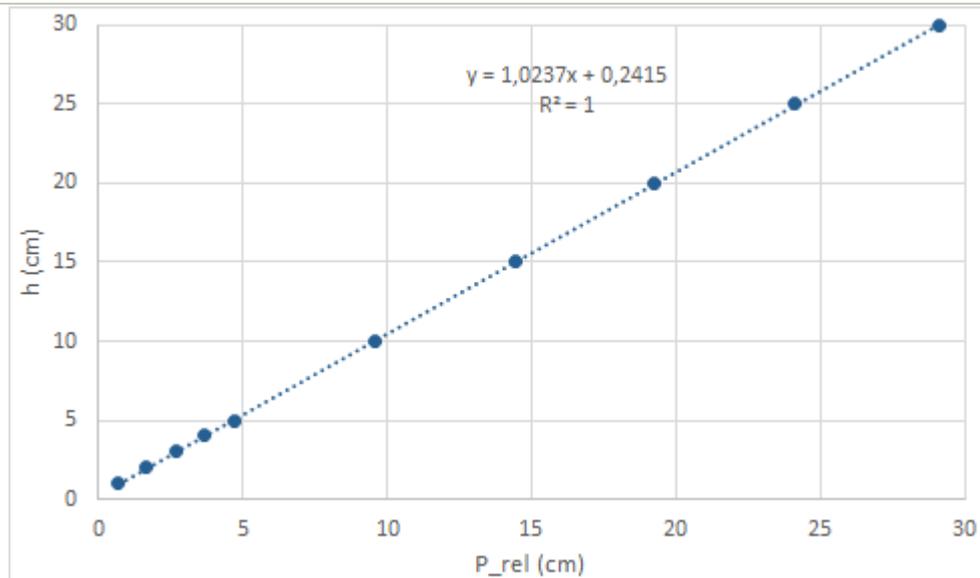


Figura 50. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 33 y Figura 51).

Tabla 33. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.B. Sensor B.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kPa	cm	kPa
17	1,0	99,000	0,720	98,930
18	2,0	99,089	1,609	98,932
19	3,0	99,189	2,605	98,934
20	4,0	99,295	3,663	98,936
21	5,0	99,401	4,718	98,938
22	10,0	99,872	9,493	98,941
23	15,0	100,345	14,290	98,944
24	20,0	100,818	19,086	98,947
25	25,0	101,287	23,844	98,949
26	30,0	101,775	28,788	98,952
27	35,0	102,239	33,497	98,955
28	40,0	102,695	38,112	98,958
29	45,0	103,145	42,685	98,960

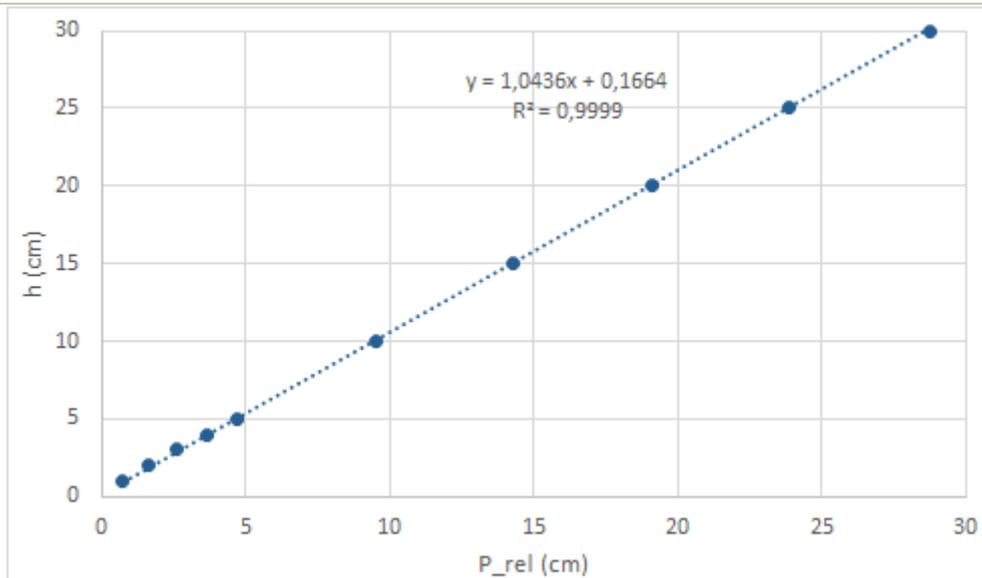


Figura 51. Resultados Ensayo 19, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

En el Ensayo 19 se obtuvieron buenas aproximaciones en las rectas y a su vez valores relativamente bajos de ordenadas al compararlos con los obtenidos en las mediciones atmosféricas, todas las ordenas son positivas para cada sensor.

Ensayo 21

Siguiendo la misma metodología del último ensayo se repetirá el procedimiento para el ensayo 21 donde se realizan de manera simultánea las mediciones con ambos sensores en dos experimentos. Las lecturas de P_0 se expresan en la Tabla 34.

Tabla 34. P_0 inicial y final, Ensayo 21.

Hora	Sensor A	Sensor B	Tiempo (s)
P0 inicial 12:00:10	98,152	98,382	0
P0 final 13:14:05	98,117	98,359	4435
Diferencia	0,035	0,023	4435

Experimento 1.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 35 y Figura 52)

Tabla 35. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.A. Sensor A.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kPa	cm	kPa
4	1,0	98,263	1,155	98,150
5	2,0	98,389	2,444	98,149
6	3,0	98,491	3,501	98,148
7	4,0	98,592	4,536	98,147
8	5,0	98,683	5,479	98,146
9	10,0	99,183	10,582	98,145
10	15,0	99,657	15,433	98,144
11	20,0	100,143	20,400	98,143
12	25,0	100,604	25,106	98,142
13	30,0	101,090	30,074	98,142
14	35,0	101,564	34,916	98,141
15	40,0	102,035	39,732	98,140
16	45,0	102,538	44,876	98,139

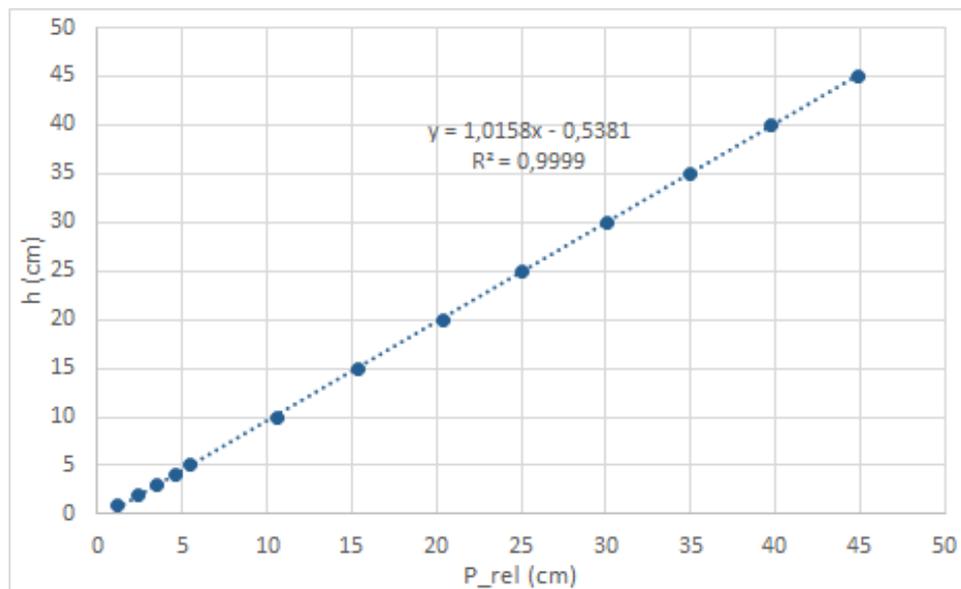


Figura 52. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 1.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 36 y Figura 53).

Tabla 36. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.B. Sensor B.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kpa	cm	kpa
4	1,0	98,544	1,662	98,381
5	2,0	98,725	3,520	98,380
6	3,0	98,823	4,516	98,380
7	4,0	98,926	5,583	98,379
8	5,0	99,019	6,530	98,378
9	10,0	99,520	11,654	98,378
10	15,0	99,992	16,475	98,377
11	20,0	100,486	21,515	98,376
12	25,0	100,950	26,258	98,376
13	30,0	101,435	31,205	98,375
14	35,0	101,918	36,140	98,375
15	40,0	102,381	40,874	98,374
16	45,0	102,879	45,958	98,373

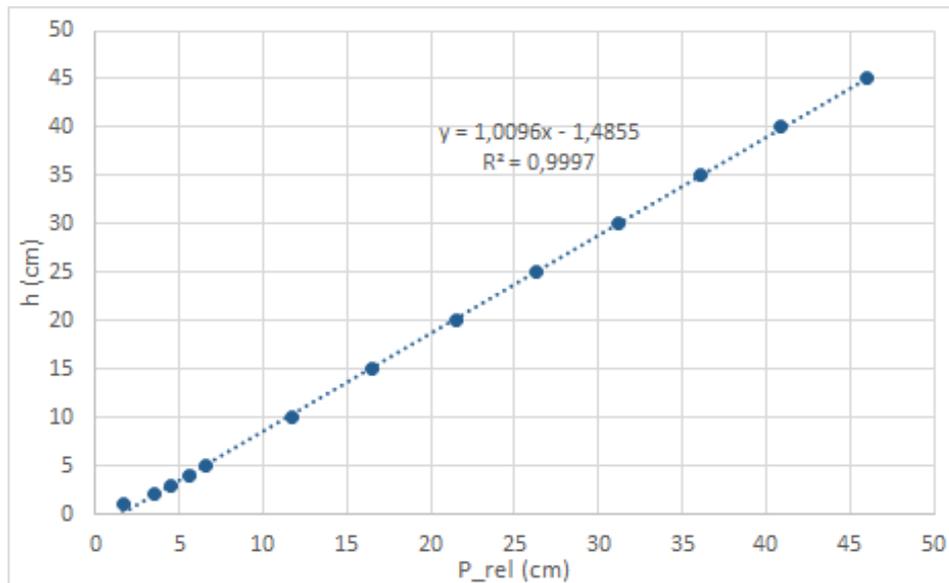


Figura 53. Resultados Ensayo 21, Experimento 1.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.A.: Mediciones realizadas con el Sensor A (Tabla 37 y Figura 54).

Tabla 37. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.A. Sensor A.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kpa	cm	kpa
17	1,0	98,271	1,546	98,119
18	2,0	98,363	2,484	98,120
19	3,0	98,470	3,559	98,121
20	4,0	98,566	4,523	98,122
21	5,0	98,668	5,550	98,124
22	10,0	99,142	10,364	98,126
23	15,0	99,623	15,249	98,128
24	20,0	100,091	20,001	98,130
25	25,0	100,340	22,529	98,132
26	30,0	101,147	30,734	98,134
27	35,0	101,613	35,468	98,136
28	40,0	102,056	39,963	98,138
29	45,0	102,539	44,875	98,139

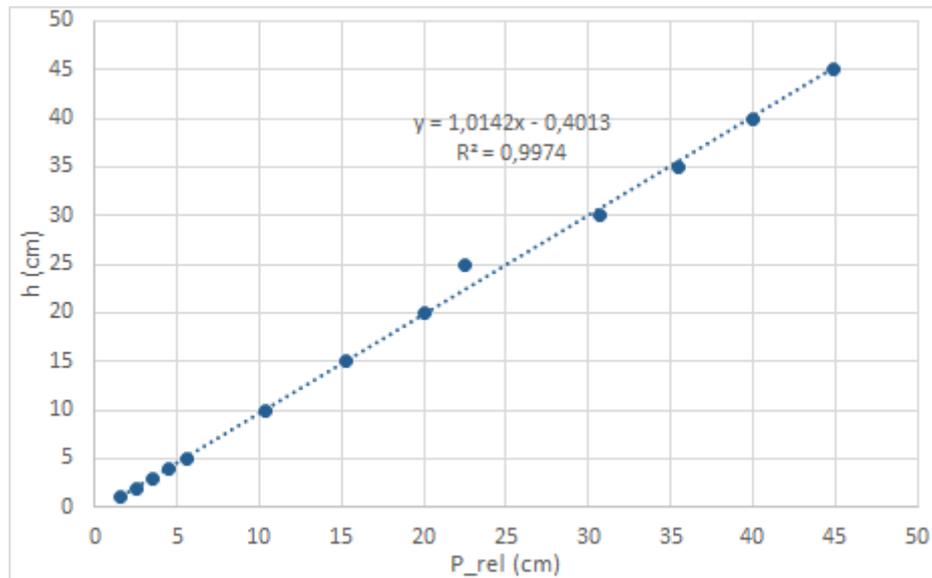


Figura 54. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.A. Sensor A. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Experimento 2.B.: Mediciones realizadas con el Sensor B (Tabla 38 y Figura 55).

Tabla 38. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.B. Sensor B.

Medición	h	h_P	P_rel	P0
-	cm	kPa	cm	kPa
17	1,0	98,562	2,062	98,360
18	2,0	98,704	3,495	98,361
19	3,0	98,809	4,562	98,362
20	4,0	98,902	5,492	98,363
21	5,0	98,993	6,411	98,364
22	10,0	99,484	11,412	98,366
23	15,0	99,962	16,266	98,367
24	20,0	100,438	21,112	98,368
25	25,0	100,630	23,058	98,369
26	30,0	101,448	31,387	98,371
27	35,0	101,924	36,230	98,372
28	40,0	102,381	40,872	98,374
29	45,0	102,879	45,942	98,375

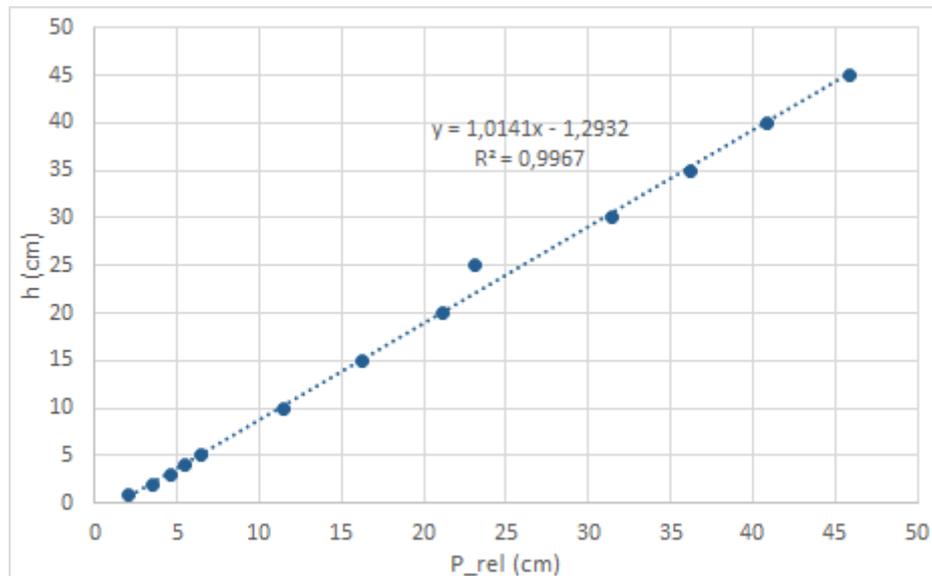


Figura 55. Resultados Ensayo 21, Experimento 2.B. Sensor B. Lecturas medidas vs Presiones relativas.

Para el Ensayo 21 se tiene una buena tendencia en la recta solo con un punto disperso a los 25 cm de altura de agua que no es relevante para la obtención de la recta debido a que se planteó obtener la recta sin dicho punto disperso y la recta obtenida es similar a la obtenida en un principio, por lo tanto se decide dejar el punto más allá de estar alejado en la línea de tendencia. las ordenadas son negativas mayores para el caso del Sensor B (1,3 y 1,5 cm).

4.2.5. Rectas de calibración con P_0

Con los ensayos realizados se obtuvieron cuatro rectas de calibración para cada sensor. Se plantea realizar algunas variaciones en las presiones de base utilizadas de manera de contemplar errores debido a una mala toma de datos generada por algún movimiento indebido en el sensor o en el caso de quedar alguna burbuja en la unión del sensor y la manguera a su vez también se plantean alternativas donde por cualquier motivo no se haya tomado la lectura al principio o al final, trabajando solo con una de esta y tomando P_0 constante en toda la medición. Se plantean las distintas alternativas para cada sensor donde utilizaremos las siguientes variables:

P_0 normal se refiere a los resultados obtenidos con las mediciones tomadas de manera correcta al principio y al final de las cuales tenemos las cuatro rectas determinadas anteriormente. Se describe que ensayo y experimento corresponde cada recta (Ensayo_Exp). En cada ensayo se midieron las lecturas de P_0 inicial y final, para cada alternativa se plantean diferentes posibilidades entre las cuales no se midió alguna de las dos lecturas de P_0 por lo que se recurriría a utilizar la única lectura tomada como P_{0i} y P_{0f} , que serían los casos de P_{0i} cte y P_{0f} cte con las mediciones realizadas en cada ensayo. Las últimas alternativas planteadas sirven para hacer referencia a los casos descritos en las mediciones atmosféricas tales como: variaciones generadas por algún movimiento en el sensor y en el caso donde quedo una gota en la conexión al sensor, para esto se define una variación de $\pm 0,25$ kPa que es la máxima variación obtenida en los ensayos de presiones atmosféricas realizando de manera forzada estas posibilidades, para tener en consideración estos casos se realiza en dos de los experimentos.

En la Tabla 39 y en la Tabla 40 se representan los resultados de las distintas rectas obtenidas para cada sensor.

Tabla 39. Rectas calibración con P_0 , Ensayo 19 y 21, Sensor A.

Sensor A	Prueba	Ensayo_Exp	P_{0i} (kPa)	P_{0f} (kPa)	a Pendiente	b Ordenada (cm)
P_0 normal	1	19_1.A.	98,432	98,367	1,0227	0,4029
P_{0i} cte	2	19_1.A.	98,432	98,432	1,0282	0,4694
P_{0f} cte	3	19_1.A.	98,367	98,367	1,0282	-0,2162
P_0 normal	4	19_2.A.	98,432	98,367	1,0237	0,2415
P_{0i} cte	5	19_2.A.	98,432	98,432	1,0169	0,8649
P_{0f} cte	6	19_2.A.	98,367	98,367	1,0169	0,1868
P_0 normal	7	21_1.A.	98,152	98,117	1,0158	-0,5381
P_{0i} cte	8	21_1.A.	98,152	98,152	1,0182	-0,5024
P_{0f} cte	9	21_1.A.	98,117	98,117	1,0182	-0,8634
P_0 normal	10	21_2.A.	98,152	98,117	1,0142	-0,4013
P_{0i} cte	11	21_2.A.	98,152	98,152	1,0097	-0,0753
P_{0f} cte	12	21_2.A.	98,117	98,117	1,0097	-0,4333
$P_{0i} + 0,25$ Kpa, $P_{0f} + 0,25$ Kpa	13	19_1.A.	98,682	98,617	1,0227	3,0106
$P_{0i} + 0,25$ Kpa, $P_{0f} - 0,25$ Kpa	14	19_1.A.	98,682	98,182	0,9875	2,4973
$P_{0i} + 0,25$ Kpa, $P_{0f} + 0,25$ Kpa	15	21_1.A.	98,402	98,367	1,0158	2,0522
$P_{0i} + 0,25$ Kpa, $P_{0f} - 0,25$ Kpa	16	21_1.A.	98,402	97,867	0,9828	1,4745

Tabla 40. Rectas calibración con P_0 , Ensayo 19 y 21, Sensor B.

Sensor B	Prueba	Ensayo_Exp	P0i (kPa)	P0f (kPa)	a Pendiente	b Ordenada (cm)
P0 normal	1	19_1.B.	98,994	98,927	1,044	0,6077
P0i cte	2	19_1.B.	98,994	98,994	1,0499	0,6786
P0f cte	3	19_1.B.	98,927	98,927	1,0499	-0,0377
P0 normal	4	19_2.B.	98,994	98,927	1,0436	0,1664
P0i cte	5	19_2.B.	98,994	98,994	1,0364	0,8172
P0f cte	6	19_2.B.	98,927	98,927	1,0364	0,1101
P0 normal	7	21_1.B.	98,382	98,359	1,0096	-1,4855
P0i cte	8	21_1.B.	98,382	98,382	1,0112	-1,4632
P0f cte	9	21_1.B.	98,359	98,359	1,0112	-1,7049
P0 normal	10	21_2.B.	98,382	98,359	1,0141	-1,2932
P0i cte	11	21_2.B.	98,382	98,382	1,0109	-1,0753
P0f cte	12	21_2.B.	98,359	98,359	1,0109	-1,317
P0i + 0,25 Kpa, P0f + 0,25 Kpa	13	19_1.B.	99,244	99,177	1,044	3,2699
P0i + 0,25 Kpa, P0f - 0,25 Kpa	14	19_1.B.	99,244	98,677	1,0022	2,659
P0i + 0,25 Kpa, P0f + 0,25 Kpa	15	21_1.B.	98,632	98,609	1,0096	1,089
P0i + 0,25 Kpa, P0f - 0,25 Kpa	16	21_1.B.	98,632	98,109	0,9769	0,5473

Sumadas todas las alternativas se obtiene un total de 16 rectas para cada sensor.

Se optó por elegir las rectas obtenidas de manera normal ya que las demás rectas son consideradas en situaciones muy poco probables si se lleva a cabo de manera correcta tomando al principio y al final las lecturas de P_0 y evitando la introducción de burbujas. Con lo que las demás rectas nos sirven para apreciar la diferencia que generan estas consideraciones. Las rectas elegidas se presentan en la Tabla 41 y en la Tabla 42.

Tabla 41. Rectas elegidas, Sensor A.

Prueba	Ensayo_Exp	P0i (kPa)	P0f (kPa)	a Pendiente	b Ordenada (cm)
1	19_1.A.	98,432	98,367	1,0227	0,4029
4	19_1.A.	98,432	98,367	1,0237	0,2415
7	21_1.A.	98,152	98,117	1,0158	-0,5381
10	21_1.A.	98,152	98,117	1,0142	-0,4013

Tabla 42. Rectas elegidas, Sensor B.

Prueba	Ensayo_Exp	P0i (kPa)	P0f (kPa)	a Pendiente	B Ordenada (cm)
1	19_1.B.	98,994	98,927	1,0440	0,6077
4	19_1.B.	98,994	98,927	1,0436	0,1664
7	21_1.B.	98,382	98,359	1,0096	-1,4855
10	21_1.B.	98,382	98,359	1,0141	-1,2932

Para la obtención de la recta final a utilizar se realiza un promedio entre las obtenidas en cada ensayo. Se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43. Rectas a utilizar con Sensor A y B.

RECTA FINAL	a Pendiente	b Ordenada (cm)
Sensor A	1,01910	-0,07375
Sensor B	1,02783	-0,50115

4.2.6. Discusión de resultados

A simple vista las distintas rectas tienen una tendencia similar entre los puntos calculados lo que se confirma con un coeficiente de determinación cercano a uno en las diferentes mediciones. En algunos casos se puede apreciar algún desvío de un punto fuera de la línea de tendencia como en el caso del ensayo 4 y 5 lo que puede deberse a que fueron las primeras mediciones realizadas y no se tuvieron en cuenta consideraciones como en los siguientes ensayos tales como buscar alturas con números enteros sin decimales (5,10 cm) que dificulten la lectura, realizar aumentos constantes de agua, prevenir los menores movimientos posibles en el entorno del sensor, tomar las mediciones atmosféricas de manera correcta sin dejar gotas en el sensor y no provocar movimientos en el sensor antes de medir.

En las mediciones con presiones atmosféricas se obtienen valores de orden mayor a las obtenidas con P_0 (sin contar las variaciones de 0,25 kPa supuestas) y se observó que las atmosféricas tienen mayor discrepancia en los resultados ya que para el Sensor A tenemos una ordenada positiva (1,47 cm) y para el Sensor B una ordenada negativa (-1,57 cm). Las pendientes son muy similares entre cada sensor y en las dos metodologías, por lo cual las ordenadas tendrían mayor relevancia en las calibraciones con lo que nos llevaría a mayores variaciones de la media, pero no sería relevante para el desvío, esto se tendrá en cuenta al momento de realizar los cálculos estadísticos en las siguientes mediciones.

En los últimos ensayos, mediante la toma de lecturas de diferentes mediciones atmosféricas, se pudo observar la variación que puede generarse debido a no tener ciertas consideraciones al momento de tomar las lecturas. La mayor variación se apreció cuando se midió la presión con una gota de agua, la cual difería de la presión atmosférica sin gota en 0,25 KPa, lo cual es un error considerable. También se observó que el Sensor B es menos susceptible a estas variaciones con respecto al Sensor A, ya que las máximas variaciones en el Sensor B fueron de 0,15 kPa.

Se plantea realizar una comparación entre las rectas obtenidas con presiones atmosféricas y presiones de base cero. Para las lecturas del Sensor A corregidas con la recta de P_0 se obtienen los siguiente resultados y errores en la Tabla 44.

Tabla 44. Presión corregida con P_0 , Sensor A

Presión medida (cm)	Presión corregida (cm)	Dif (cm)	Error %
1	0,945	-0,055	-5
2	1,964	-0,036	-2
3	2,984	-0,016	-1
4	4,003	0,003	0
5	5,022	0,022	0
10	10,117	0,117	1
15	15,213	0,213	1
20	20,308	0,308	2
25	25,404	0,404	2
30	30,499	0,499	2
35	35,595	0,595	2
40	40,690	0,690	2
45	45,786	0,786	2

A partir de las mismas alturas planteamos corregir las lecturas del Sensor A con la recta de presión atmosférica, se expresa en Tabla 45.

Tabla 45. Presión corregida con atmosférica, Sensor A.

Presión medida (cm)	Presión corregida (cm)	Dif (cm)	Error %
1	2,490	1,490	149
2	3,512	1,512	76
3	4,534	1,534	51
4	5,557	1,557	39
5	6,579	1,579	32
10	11,690	1,690	17
15	16,802	1,802	12
20	21,913	1,913	10
25	27,025	2,025	8
30	32,136	2,136	7
35	37,248	2,248	6
40	42,359	2,359	6
45	47,471	2,471	5

Para el primer caso los errores se mantienen en una margen de 1,0 a 2,0% salvo en la primera lectura de 1 cm, los cuales podemos considerar que se tratan de errores de un valor aceptable. No se percibe un orden creciente o decreciente dependiendo la altura de agua. En el siguiente caso encontramos mayores errores al anterior, decrece a medida que aumenta la cantidad de agua, pero sigue manteniendo errores mayores al primer caso. Notar que las

presiones corregidas para el Sensor A son mayores a las medidas en todas las alturas salvo en las dos primeras realizadas con lecturas P_0 .

Se repite el procedimiento anterior para el Sensor B, primero se muestran las lecturas corregidas con P_0 y luego corregidas con presiones atmosféricas (Tabla 46 y Tabla 47).

Tabla 46. Presión corregida con P_0 , Sensor B.

Presión medida (cm)	Presión corregida (cm)	Dif (cm)	Error %
1	0,613	-0,387	-39
2	1,627	-0,373	-19
3	2,641	-0,359	-12
4	3,656	-0,345	-9
5	4,670	-0,330	-7
10	9,741	-0,259	-3
15	14,812	-0,188	-1
20	19,883	-0,117	-1
25	24,954	-0,046	0
30	30,025	0,025	0
35	35,096	0,096	0
40	40,167	0,167	0
45	45,238	0,238	1

Tabla 47. Presión corregida con atmosférica, Sensor B.

Presión medida (cm)	Presión corregida (cm)	Dif (cm)	Error %
1	-0,537	-1,537	-154
2	0,496	-1,504	-75
3	1,529	-1,471	-49
4	2,562	-1,438	-36
5	3,595	-1,405	-28
10	8,760	-1,240	-12
15	13,925	-1,075	-7
20	19,090	-0,910	-5
25	24,255	-0,745	-3
30	29,420	-0,580	-2
35	34,585	-0,415	-1
40	39,750	-0,250	-1
45	44,915	-0,085	0

En el primer caso los errores son muy bajos a partir de los 10 cm (menores al 3%), no varían proporcional a la altura de agua, esto último si ocurre en el siguiente caso de la recta calibrada con presión atmosférica, y los errores tienen un valor mayor en gran medida con

respecto a los anteriores donde los mismos tienen un valor bajo a partir de los 25 cm. Se observa que todas las lecturas corregidas son menores después de la calibración salvo en las últimas cuatro mediciones realizadas con P_0 .

Después de esta comparación y con lo enunciado anteriormente se puede confirmar que son mejores los resultados obtenidos con P_0 y serán las rectas obtenidas con este método que se utilizarán en las siguientes mediciones para las calibraciones de las lecturas.

4.3. Resultados en mediciones estáticas

a. Ensayo 12: altura variable y misma frecuencia.

Este ensayo se realizó de la misma metodología con que se tomó las mediciones para calibración. En este caso vamos ir modificando la altura de agua entre 10 y 40 cm pero siempre midiendo con la misma frecuencia de 50 Hz durante 300 s con ambos sensores.

Mediciones con 10 cm de altura de agua

Se comenzó con una altura de agua de 10 cm. Los resultados se muestran en la Figura 56.

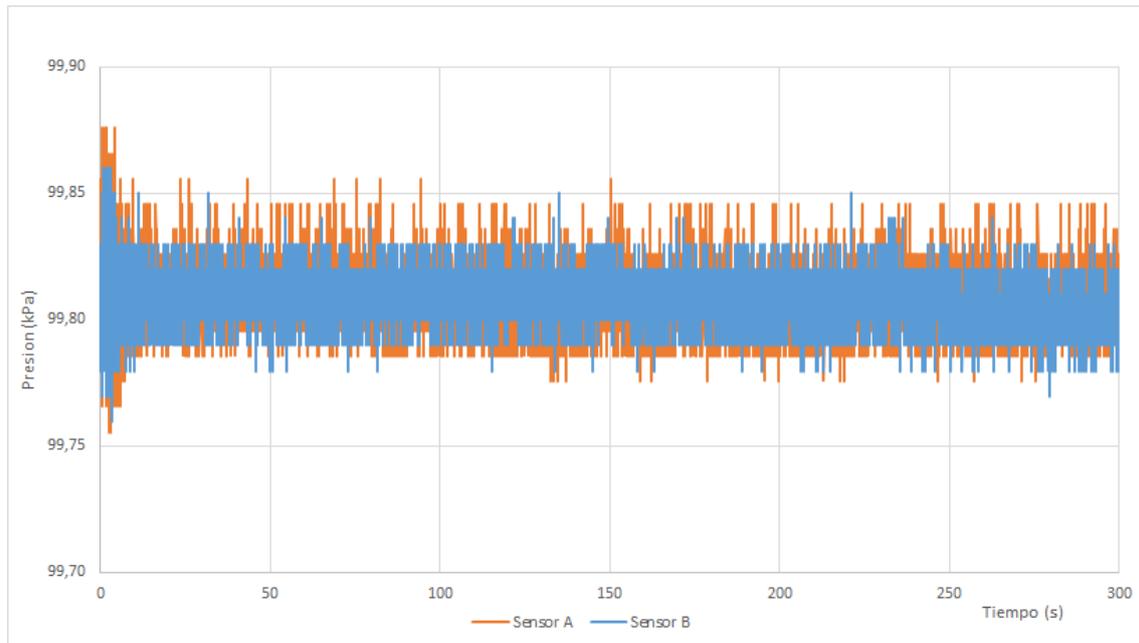


Figura 56. Presión Estática a 10 cm.

Se puede apreciar que durante los 5 minutos la presión no sufre grandes variaciones, se observa una alteración en los primeros segundos que puede haberse originado por algún movimiento en los sensores o el tubo de ensayo, pero muestran una tendencia similar en toda la medición. Para una mejor apreciación se analiza en tramos de 5 s.

Analizaremos dos tramos, entre los 0 y 5 s donde hay mayor dispersión y entre 10 y 15 s donde hay una menor dispersión. Se observan en la Figura 57 y Figura 58.

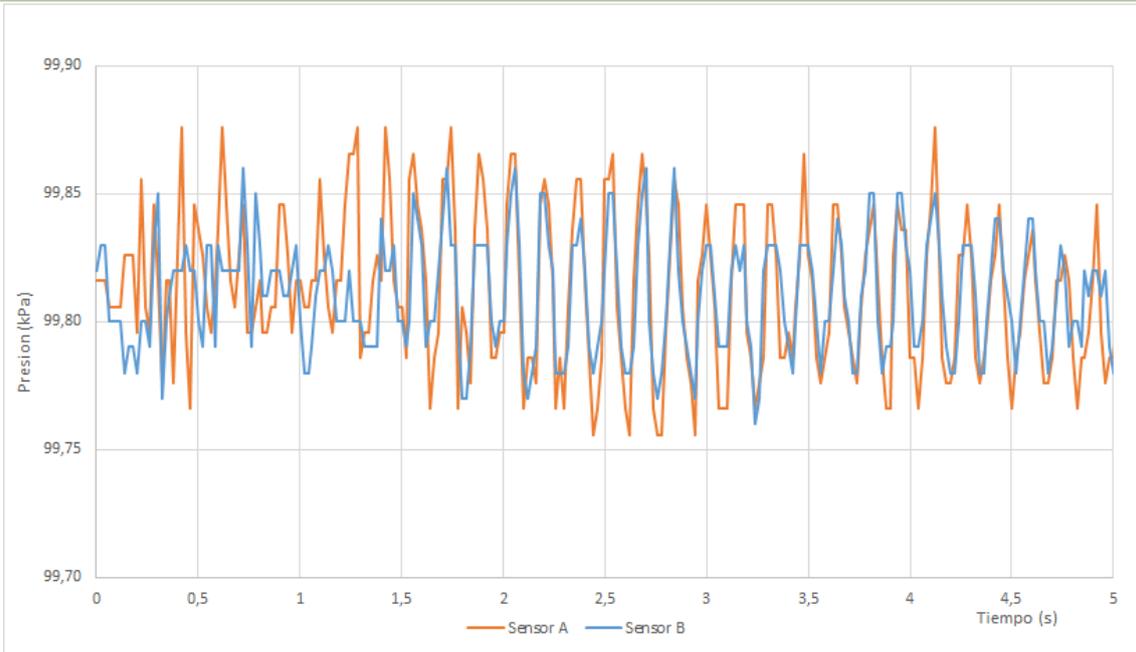


Figura 57. Estática a 10 cm entre 0 y 5 s.

Como se observa en este tramo se distingue una buena tendencia entre ambas señales, donde las variaciones de cada sensor tienden a aumentar y disminuir en el mismo orden siendo el Sensor A el de mayor dispersión.

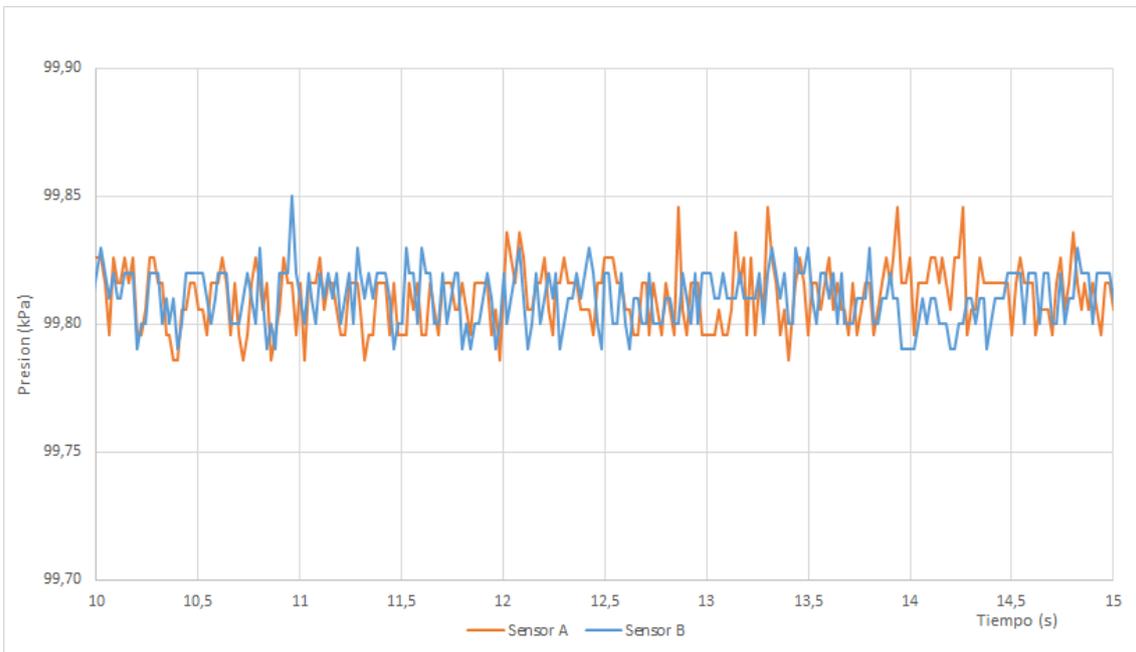


Figura 58. Estática a 10 cm entre 10 y 15 s.

En este caso donde las variaciones son menores corresponden al ruido generado por el instrumento y no depende de las fluctuaciones que se pueden generar en el agua.

Por último se plantea la Tabla 48 con el análisis estadístico para comparar la señal completa con cada tramo.

Tabla 48. Resultados Estadísticos en 10 cm.

Tiempo(s)	Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
0-300	99,411	99,807	0,012	0,011	99,876	99,860	99,756	99,760
0-5	99,416	99,811	0,022	0,030	99,860	99,480	99,760	99,360
10-15	99,415	99,810	0,011	0,012	99,850	99,450	99,790	99,390

En cuanto a la media no sufre grandes variaciones. En los tramos de 5 seg se puede notar que varían entre 0,004 kPa y 0,005 kPa que son del orden de 0,5 mm y la diferencia entre sensores se mantiene prácticamente igual en 0,4 kPa (4 cm).

Los desvíos tuvieron un gran aumento en el tramo de mayor dispersión, modificándose en el orden de 0,10 cm para el Sensor A y 0,2 cm para el Sensor B. En el tramo de menor dispersión no sufre grandes variaciones (aproximadamente 0,10 mm en cada sensor). Los desvíos en el tramo completo y en el de menor dispersión son valores aceptables comparados con las mediciones atmosféricas donde obtuvimos resultados de 0,10 a 0,12 cm.

Los valores máximos y mínimos en cada tramo no tienen gran variación en el caso del Sensor A. En cambio para el Sensor B la variación es más relevante de unos 4 cm aproximadamente.

Mediciones con 20 cm de altura de agua

Con la misma metodología se tomaron las mediciones con una altura de 20 cm de agua y se usaron dos tramos de 5 s para analizar. En la tabla se mostrarán los resultados estadísticos de cada tramo en comparación con la señal completa. Los resultados gráficos de cada tramo y la señal completa se muestran en la Figura 59, la Figura 60 y la Figura 61:

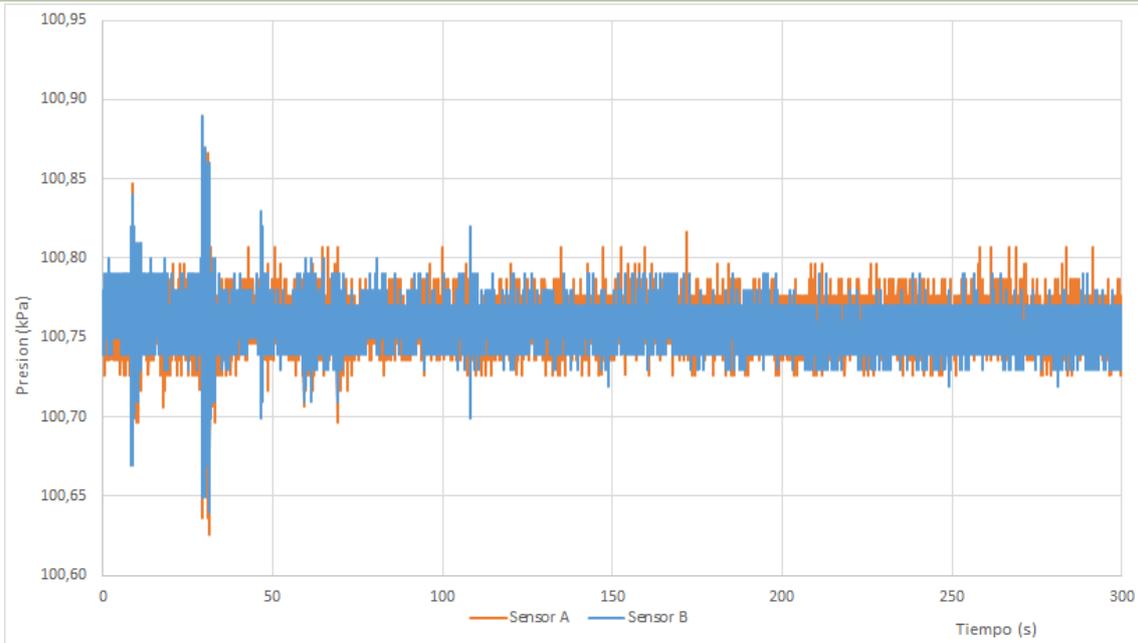


Figura 59. Presión Estática a 20 cm.

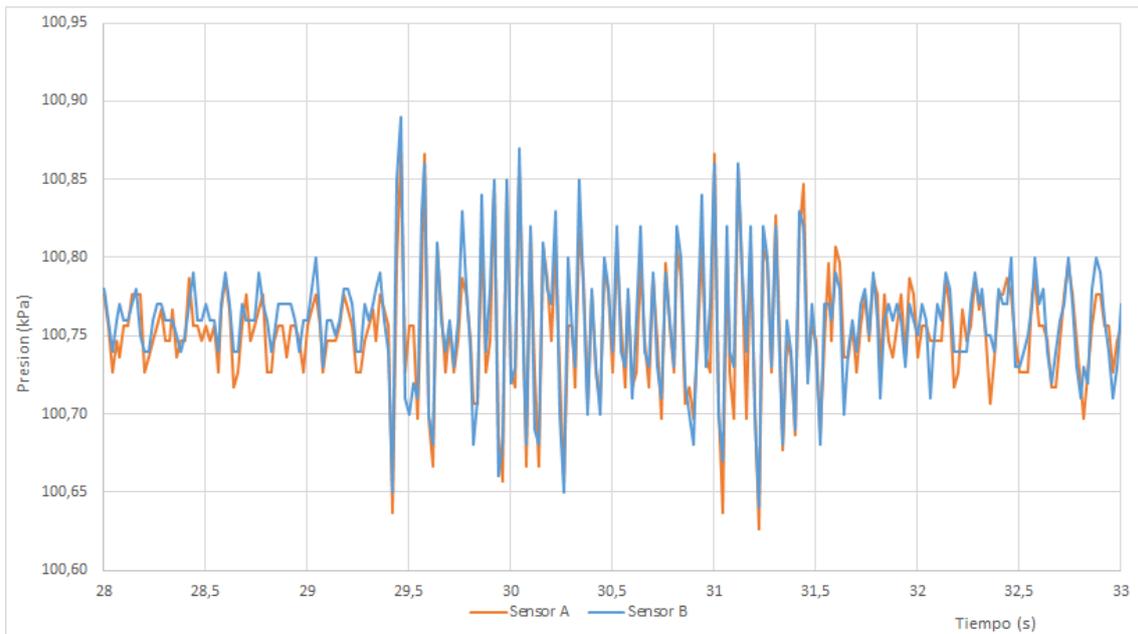


Figura 60. Estática a 20 cm entre 28 y 33 s.

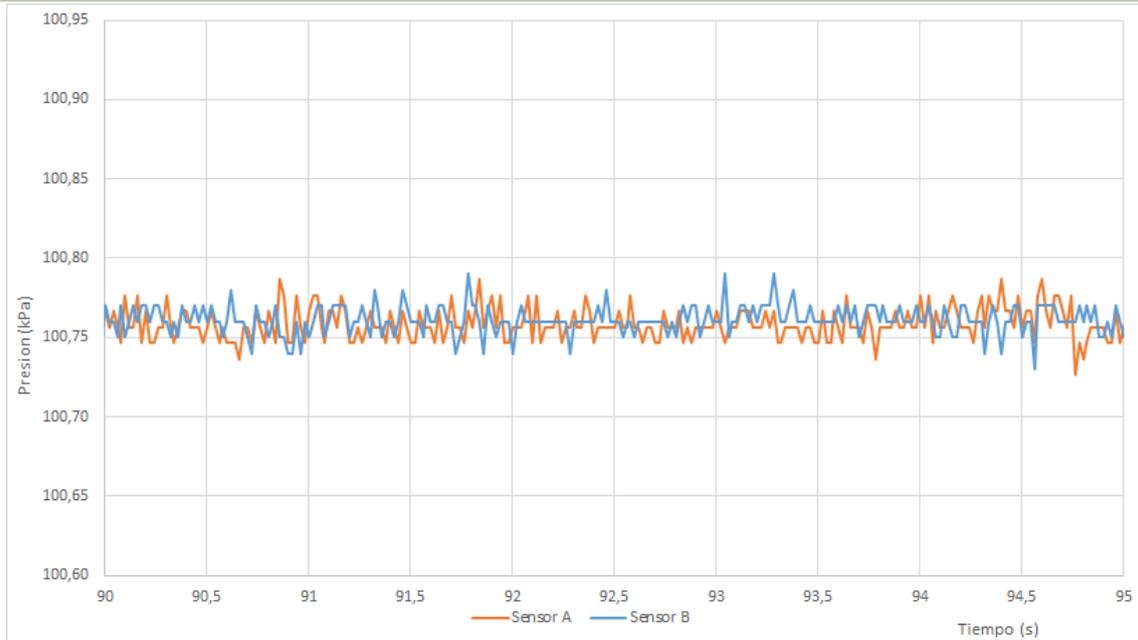


Figura 61. Estática a 20 cm entre 90 y 95 s.

Los resultados estadísticos de las presiones estáticas a 20 cm se expresan en la Tabla 49.

Tabla 49. Resultados Estadísticos en 20 cm.

Tiempo (s)	Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
0-300	100,352	100,758	0,013	0,012	100,867	100,890	100,627	100,640
28-33	100,346	100,758	0,039	0,041	100,867	100,890	100,627	100,640
90-95	100,352	100,761	0,010	0,009	100,787	100,790	100,727	100,730

En el gráfico se puede apreciar valores con poca variación en casi la totalidad de la medición, salvo en tramos donde se observan algunos picos de presión, entre los 10 s, y entre los 30 s aproximadamente.

En cuanto a los resultados estadísticos el desvío presenta una gran variación en el tramo de mayor dispersión con respecto al tramo completo y al de menor dispersión donde se observan desvíos de 0,4 cm aproximadamente, los cuales distan mucho con respecto a los atmosféricos (en el orden de los 0,1 a 0,12 cm), este valor es más cercano en el tramo completo y en el de menor dispersión. Las demás variables estadísticas no sufren variaciones considerables. Las medias entre sensores se diferencian en 0,4 kPa (4,1 cm).

Mediciones con 30 cm de altura de agua

Repitiendo la metodología de mediciones anteriores. Los resultados gráficos se muestran en la Figura 62, la Figura 63 y la Figura 64. Además los resultados estadísticos se expresan en la Tabla 50.

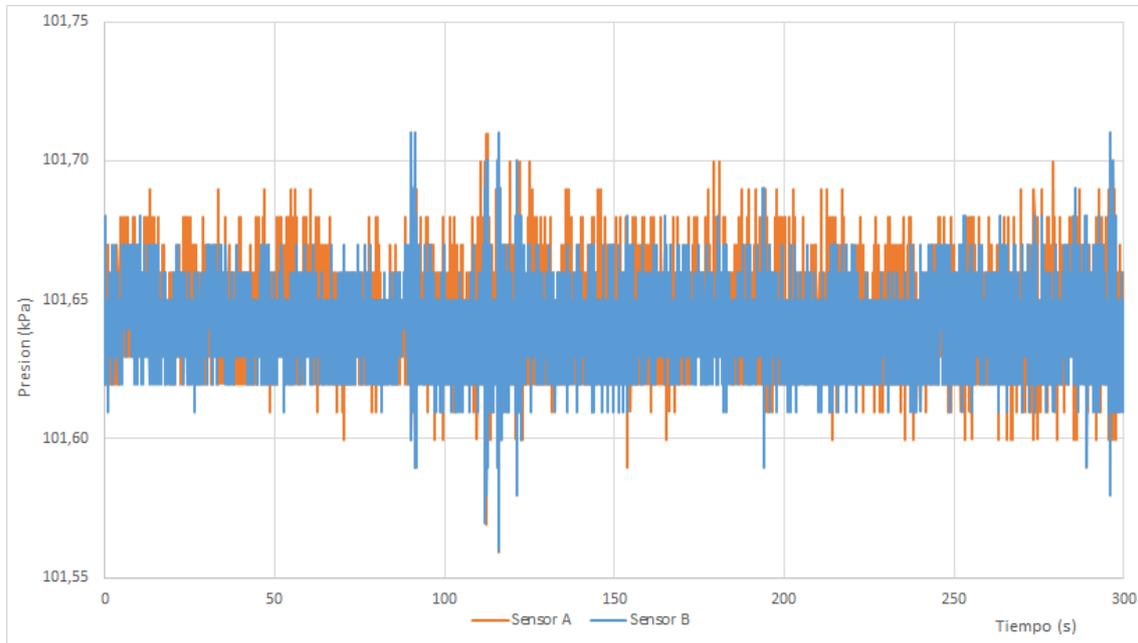


Figura 62. Presión Estática a 30 cm.

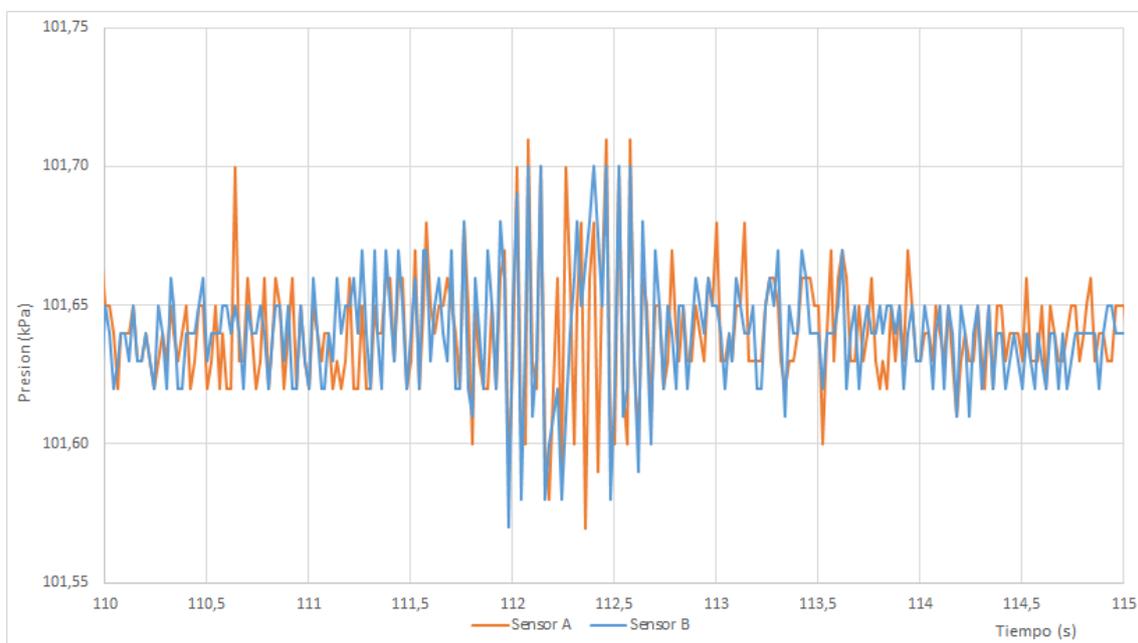


Figura 63. Estática a 30 cm entre 110 y 115 s.

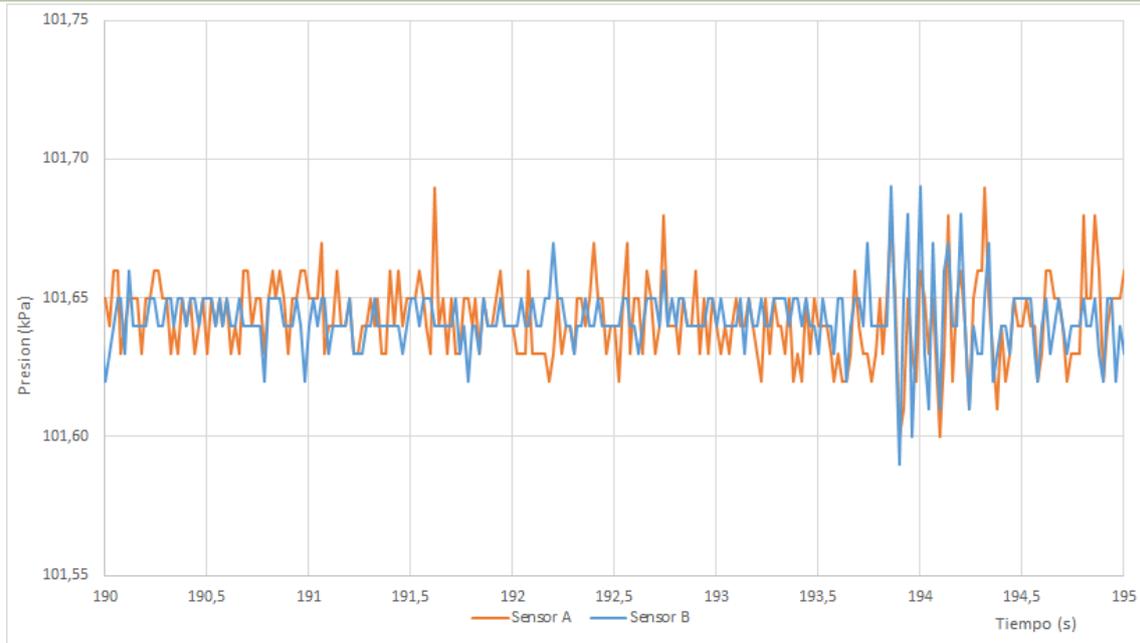


Figura 64. Estática a 30 cm entre 190 y 195 s.

Tabla 50. Resultados Estadísticos en 30 cm.

Tiempo (s)	Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
0-300	101,282	101,641	0,014	0,011	101,710	101,710	101,560	101,560
110-115	101,280	101,640	0,021	0,020	101,710	101,700	101,570	101,570
190-195	101,282	101,642	0,014	0,012	101,700	101,690	101,600	101,590

En el gráfico se pueden ver valores con poca variación en casi la totalidad de la medición, contrario en algunas zonas donde se aprecian algunos picos de presión, aproximadamente a los 90 s y 115 s.

Con respecto a los resultados estadísticos, el valor del desvío no se modifica de manera pronunciada como sucede en las mediciones anteriores (la diferencia es de 0,1 cm aproximadamente comparado con el tramo total). Los valores en el Sensor B son menores a los del Sensor A (lo cual nos contradice a lo obtenido en el ensayo atmosférico), aunque los resultados obtenidos están cerca del orden de 0,10 cm. Las medias entre sensores se diferencian en 0,36 kPa (3,7 cm).

Mediciones con 40 cm de altura de agua

Los resultados gráficos se muestran en la Figura 65, la Figura 66 y la Figura 67 como así también los resultados estadísticos en Tabla 51:

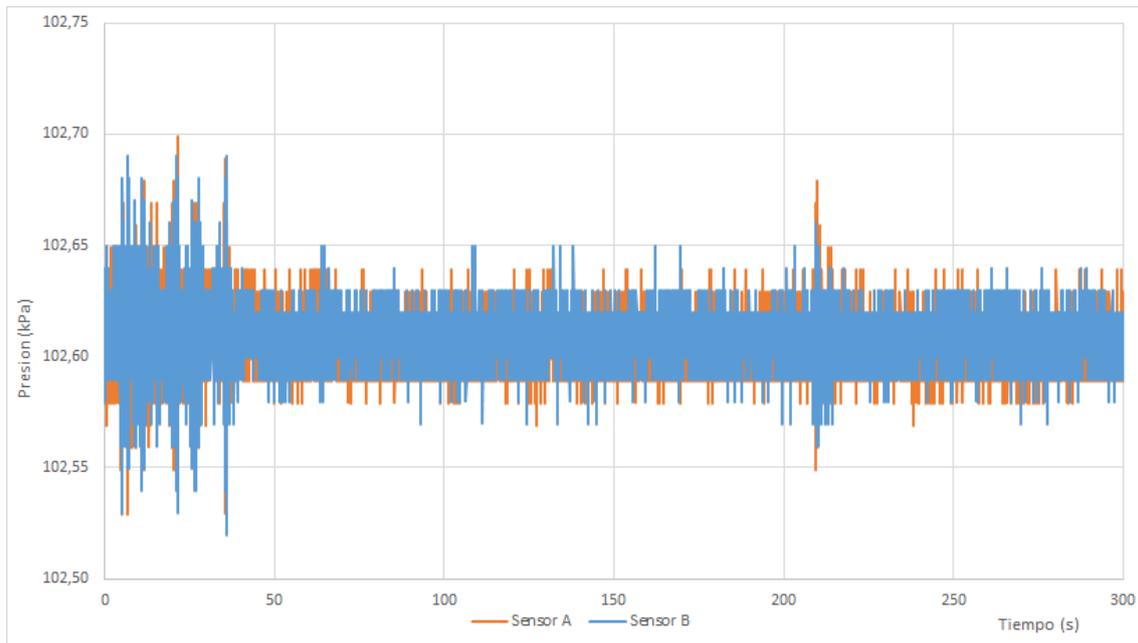


Figura 65. Presión Estática a 40 cm.

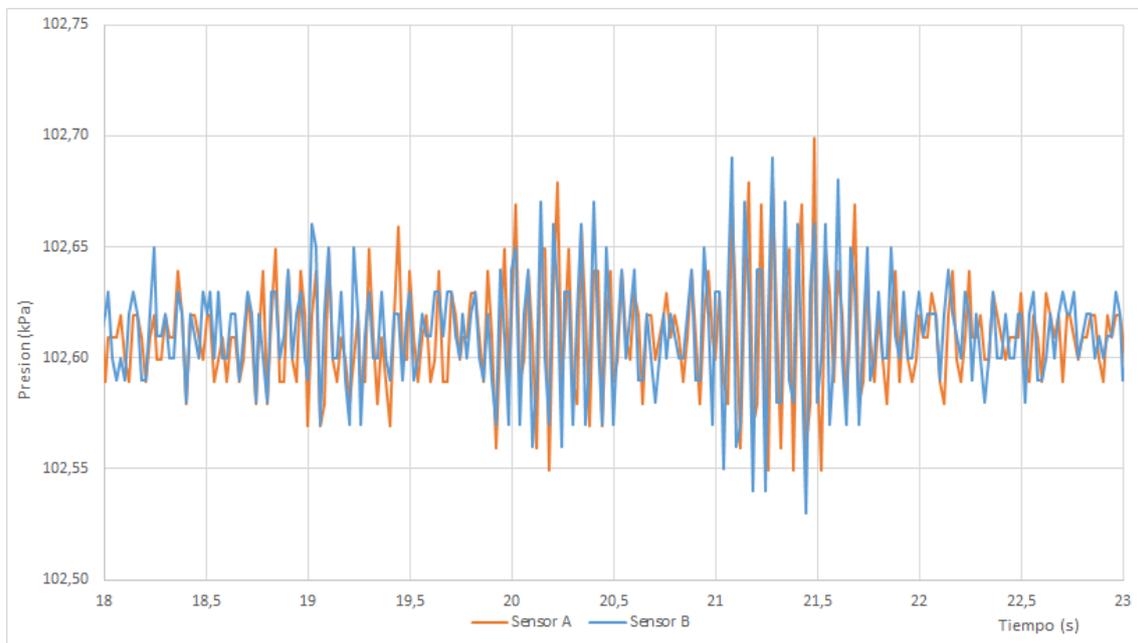


Figura 66. Estática a 40 cm entre 18 y 23 s.

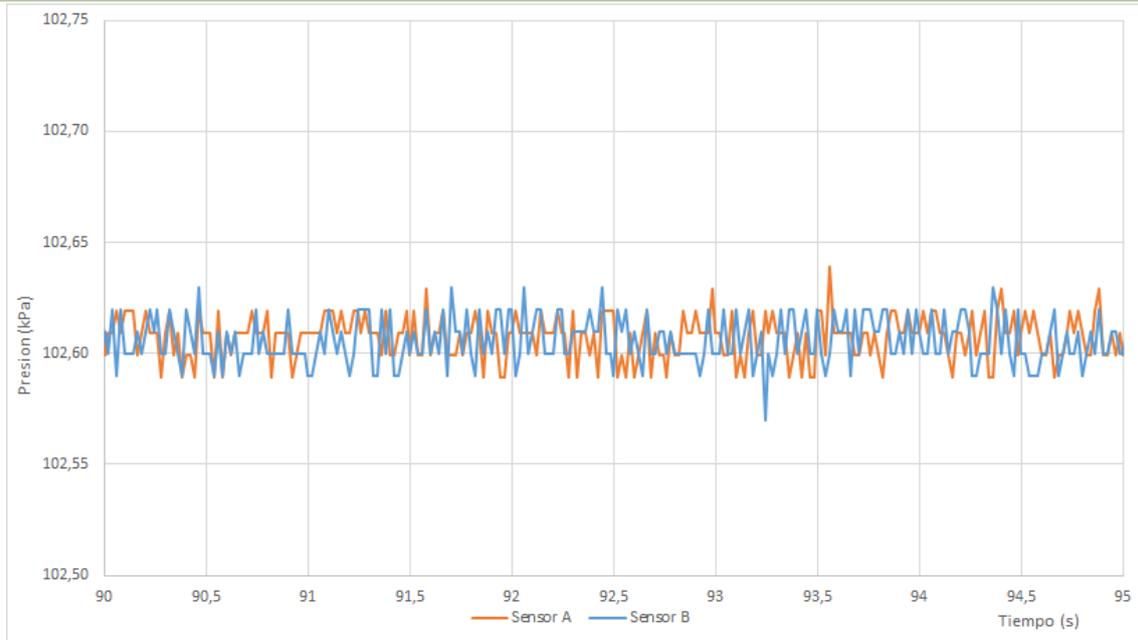


Figura 67. Estática a 40 cm entre 90 y 95 s.

Tabla 51. Resultados Estadísticos en 40 cm.

Tiempo (s)	Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
0-300	102,259	102,608	0,013	0,013	102,699	102,690	102,529	102,520
18-23	102,261	102,611	0,025	0,026	102,699	102,690	102,549	102,530
90-95	102,608	102,606	0,010	0,011	102,639	102,630	102,589	102,570

En el gráfico del tramo total se pueden ver valores con poca variación a partir de los 40 segundos aproximadamente.

Los resultados estadísticos nos muestran una variación del desvío similar obtenida en los 30 cm para el caso del tramo de mayor dispersión, con respecto al tramo total. Los resultados del desvío son comparables con los obtenidos en el Ensayo 3 donde estos se encuentran en el orden de 0,10 a 0,12 cm. Las demás variables no sufren variaciones considerables, las medias entre los sensores se diferencian en 0,35 kPa (3,6 cm).

Discusiones finales del Ensayo 12

Por último se expresa un resumen en de los resultados estadísticos en cada altura (10, 20, 30 y 40 cm) tomando el tramo total de 300 s.

Tabla 52. Resultados Estadísticos 10, 20, 30 y 40 cm.

Altura	Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
10 cm	99,411	99,807	0,012	0,011	99,876	99,860	99,756	99,760
20 cm	100,352	100,758	0,013	0,012	100,867	100,890	100,627	100,640
30 cm	101,282	101,641	0,014	0,011	101,710	101,710	101,560	101,560
40 cm	102,259	102,608	0,013	0,013	102,699	102,690	102,529	102,520

Los desvíos no muestran una tendencia con respecto al aumento de altura, por lo que la variación de éste no dependerá de alturas de agua disponible en cada medición, sino que serán influenciados en mayor medida por factores externos por movimientos en el lugar.

Las alteraciones son más notorias en el Sensor B ya que aumenta el desvío entre los 10 y 20 cm, 30 y 40 cm; a su vez sufre una disminución entre los 20 y 30 cm. Con respecto al Sensor A siempre aumenta de manera proporcional a la altura de agua salvo en la última medición.

Los resultados de desvío obtenidos se encuentran en el orden de los atmosféricos (0, 10), a pesar que se ven sobrepasados en algunos casos por algunos decimales (posiblemente al estar sometidos a una carga de agua y la presión atmosférica a la vez en cambio los otros casos solo a variaciones de la presión atmosférica del ambiente).

b. Ensayo 13: Altura de agua fija y frecuencia variable

En siguiente ensayo se trató de mejorar lo obtenido anteriormente evitando generar tramos con gran dispersión en los resultados. Se caracteriza por tomar mediciones estáticas con una altura de agua fija y modificando las frecuencias con que se toman los datos (a diferencia del ensayo anterior, donde se mantuvo fija la frecuencia y se varió la altura de agua). Las frecuencias utilizadas son de 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz y 1000 Hz. La duración de cada medición es de 90 s tomando lecturas con los dos sensores a la vez.

Se utilizará un tramo de 5 s ya que los resultados obtenidos tienen una mejor uniformidad durante toda la medición. En el ensayo a 10 Hz usamos 10 s de tramo ya que tenemos menos datos disponibles y en las mediciones de 1000 Hz se empleará un tramo de 1 s por el caso contrario al anterior. A su vez se expresan en tablas los resultados estadísticos de cada medición que constan de media, desvío, mínimos y máximos, como se analiza el tramo completo y un solo tramo de 1, 5 o 10 s; según el caso se realizará un resumen estadístico al final de todas las mediciones.

A continuación se muestran los gráficos y tablas para cada ensayo con una frecuencia determinada todos a una altura de 20 cm.

Los resultados a 10 Hz se observan en la Figura 68 y la Figura 69.

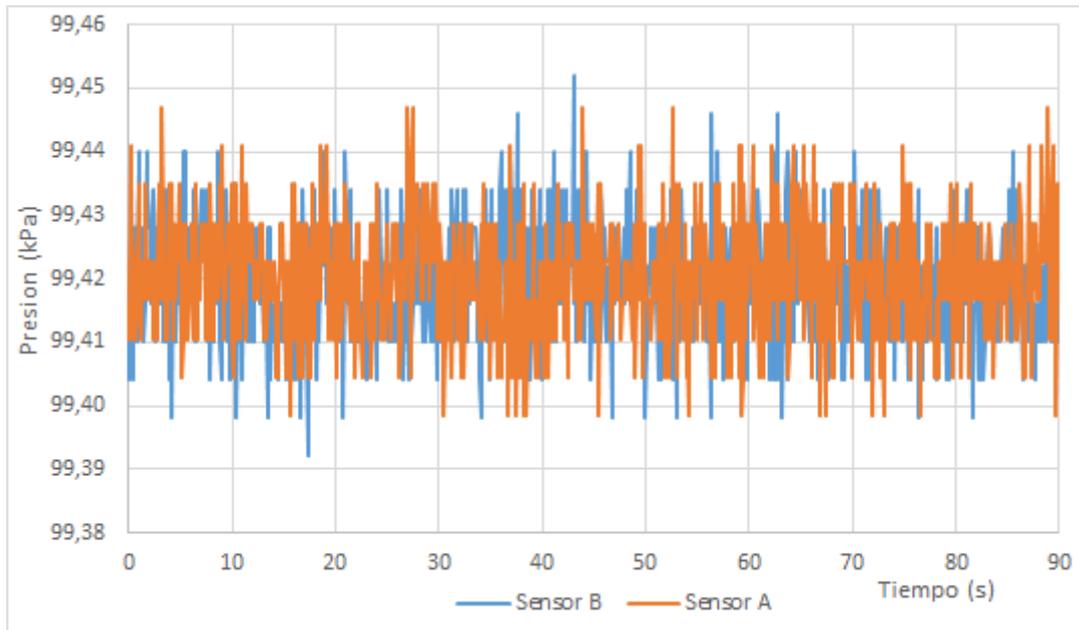


Figura 68. Presión Estática a 10 Hz.

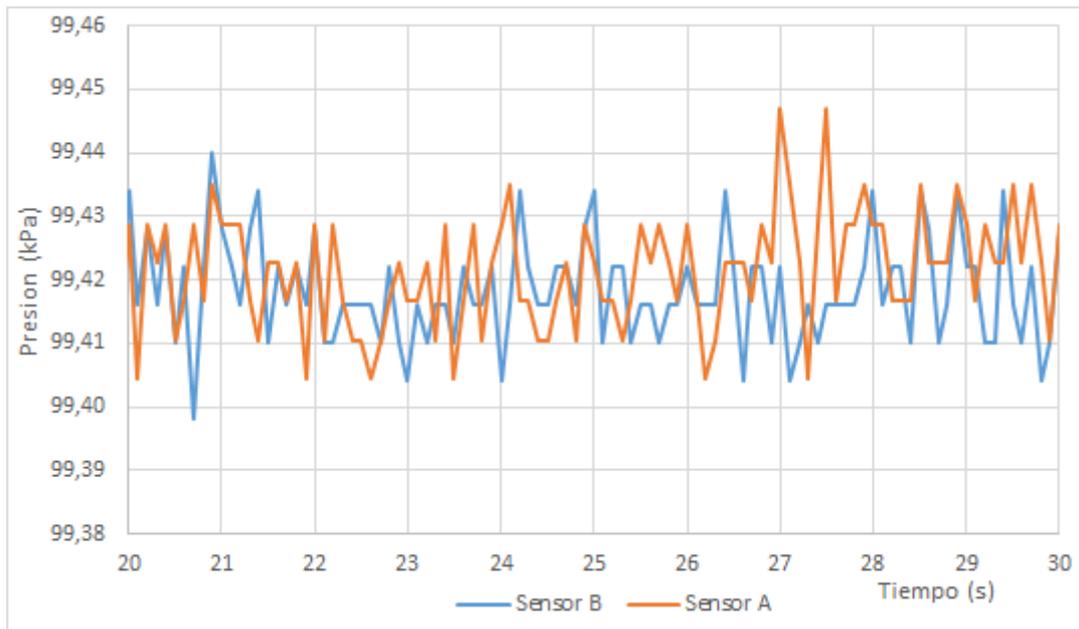


Figura 69. Estática a 10 Hz entre 20 y 30 s

Los resultados a 50 Hz se observan en la Figura 70 y la Figura 71.

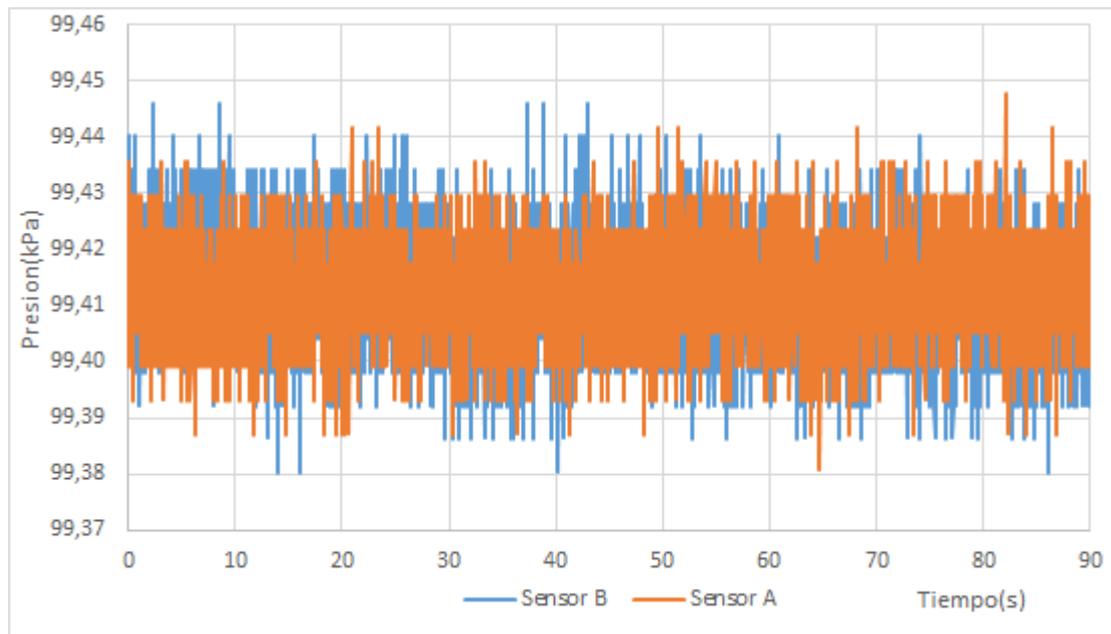


Figura 70. Presión Estática a 50 Hz.

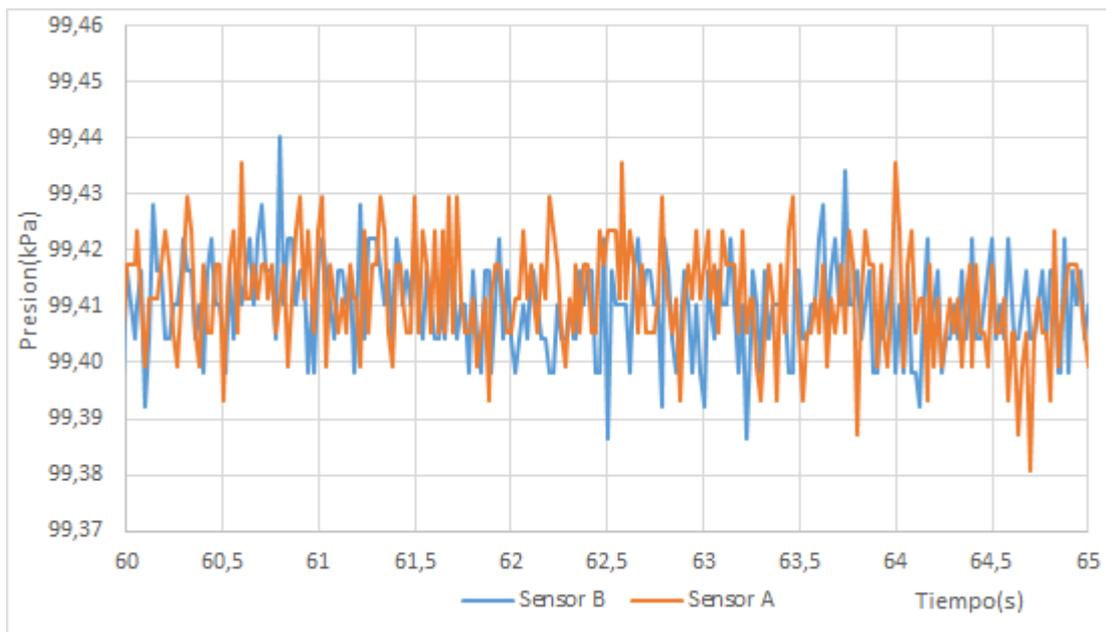


Figura 71. Estática a 50 Hz entre 60 y 65 s.

Los resultados a 100 Hz se observan en la Figura 72 y la Figura 73.

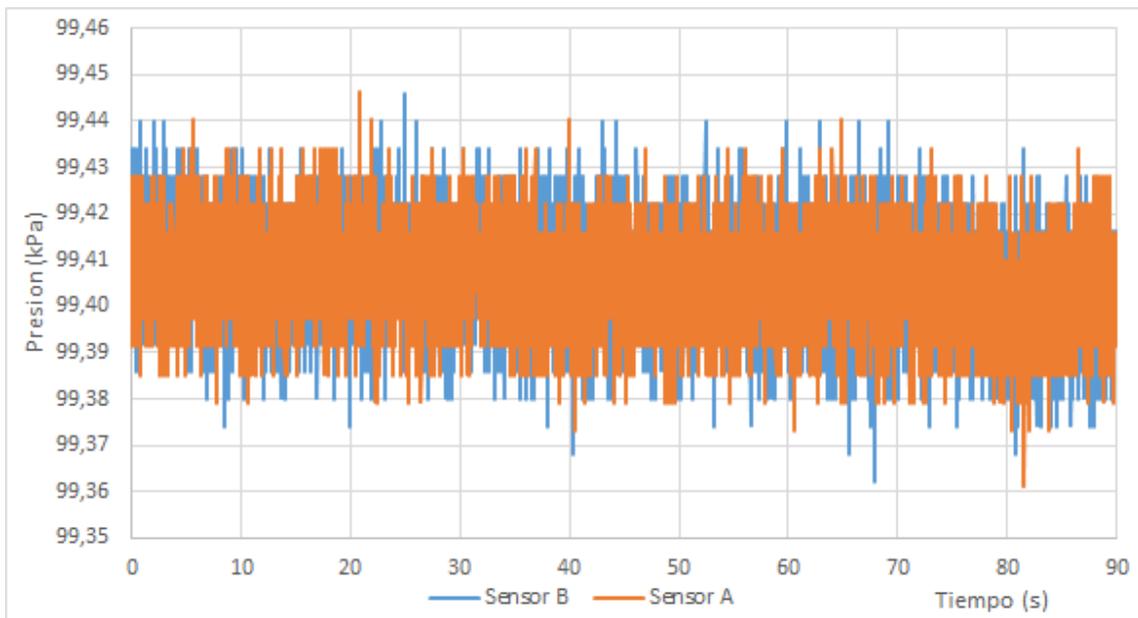


Figura 72. Presión Estática a 100 Hz.

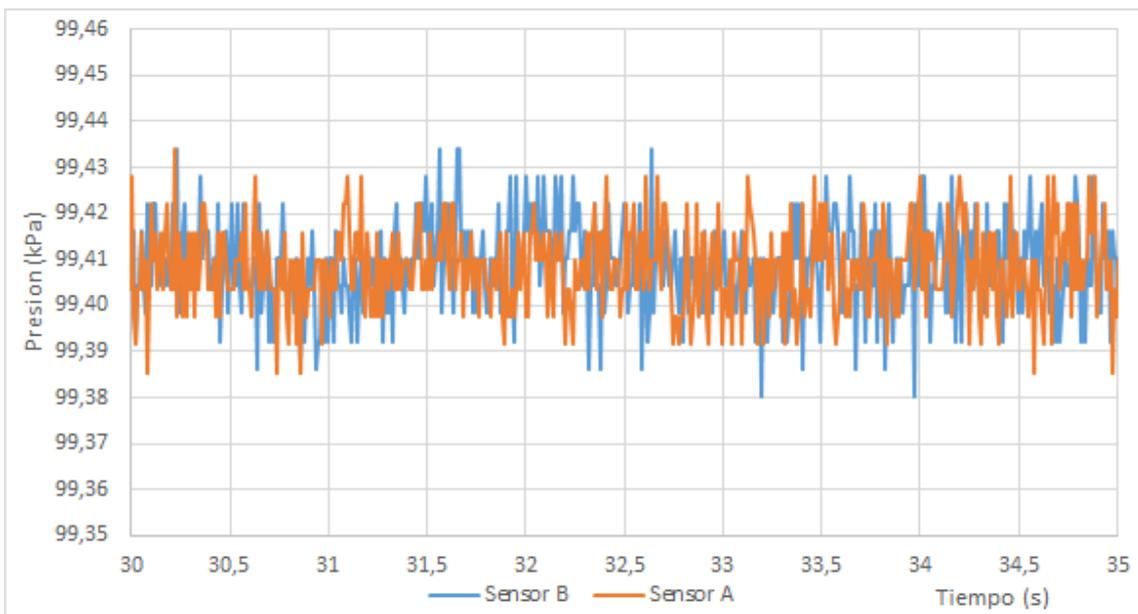


Figura 73. Estática a 100 Hz entre 30 y 35 s.

Los resultados a 1000 Hz se observan en la Figura 74 y la Figura 75.

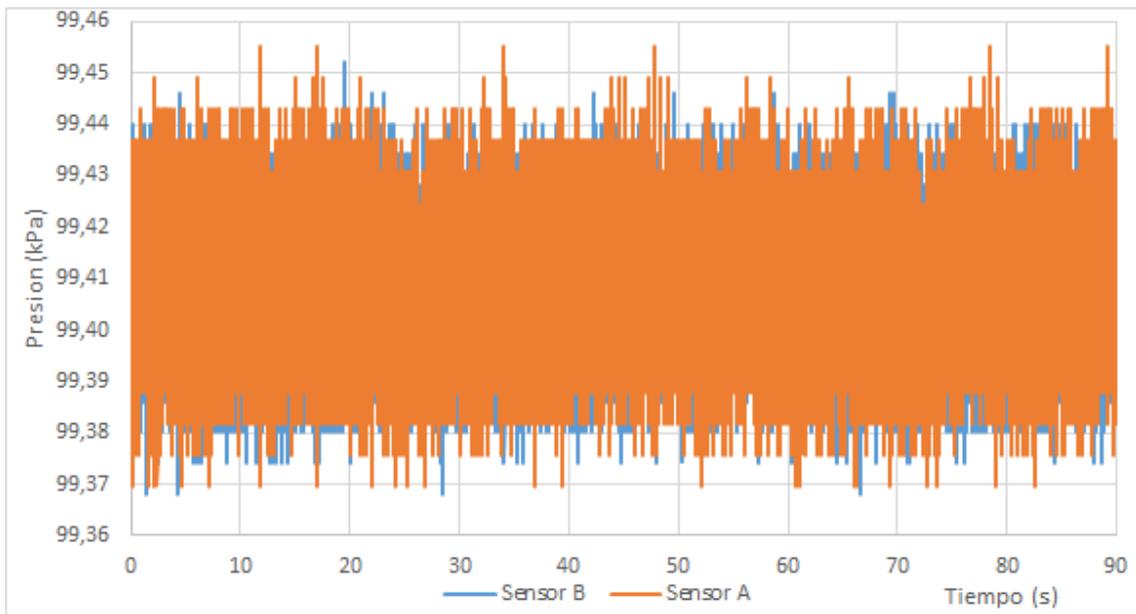


Figura 74. Presión Estática a 1000 Hz.

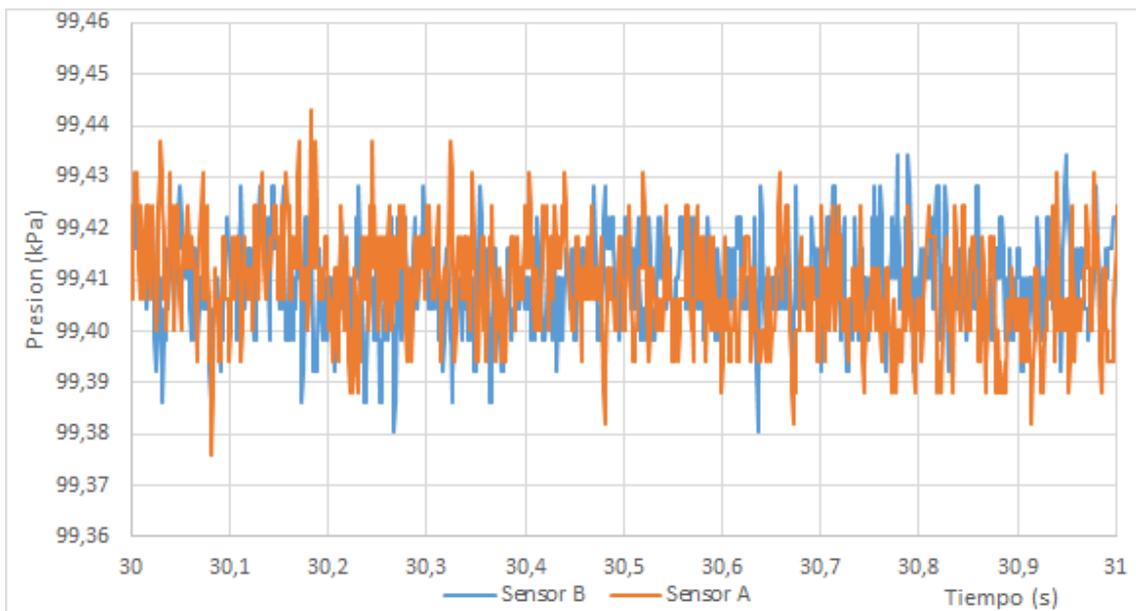


Figura 75. Estática a 1000 Hz entre 30 y 35 s.

Ahora se expresan todas las señales en un mismo gráfico, analizando cada sensor por separado para poder observar la tendencia y dispersión de cada señal. Se puede ver en la Figura 76, la Figura 77, la Figura 78 y la Figura 79 las lecturas en los sensores A y B respectivamente.

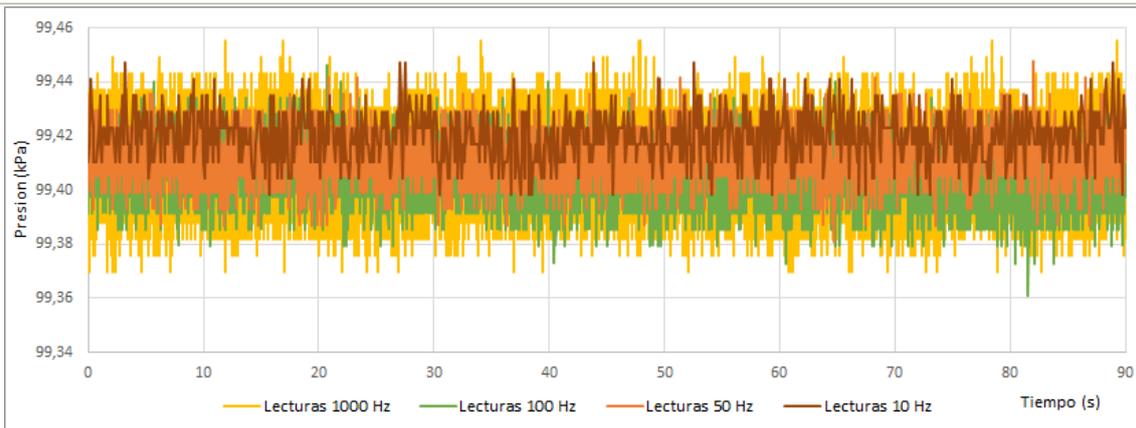


Figura 76. Lecturas Sensor A.

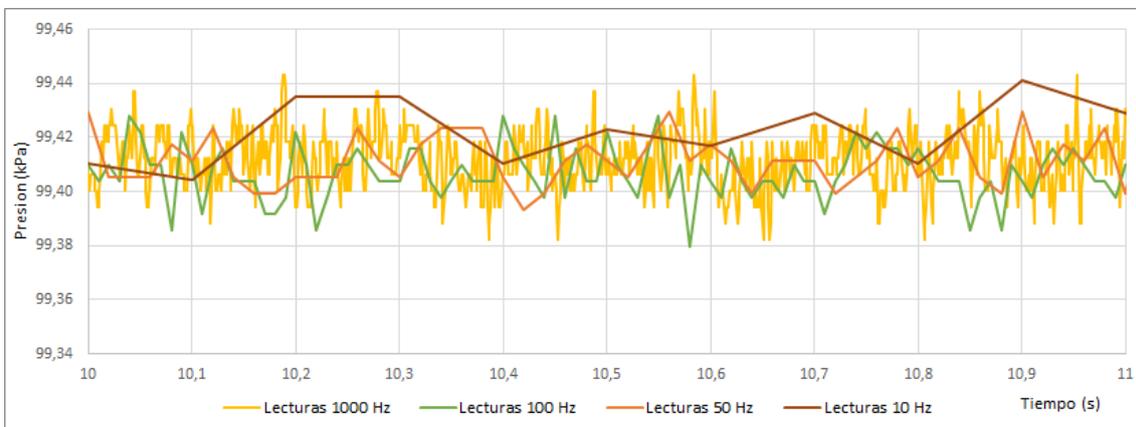


Figura 77. Lecturas Sensor A entre 10 y 11 s.

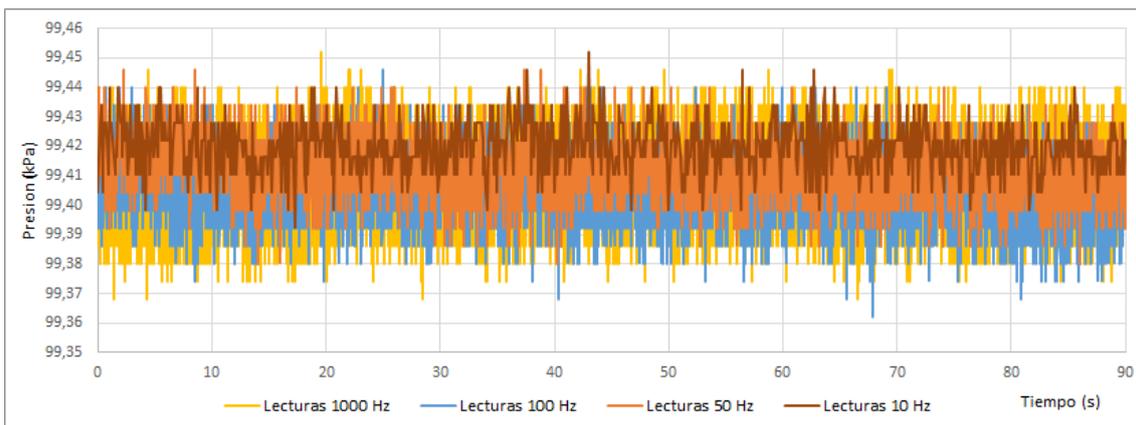


Figura 78. Lecturas Sensor B.

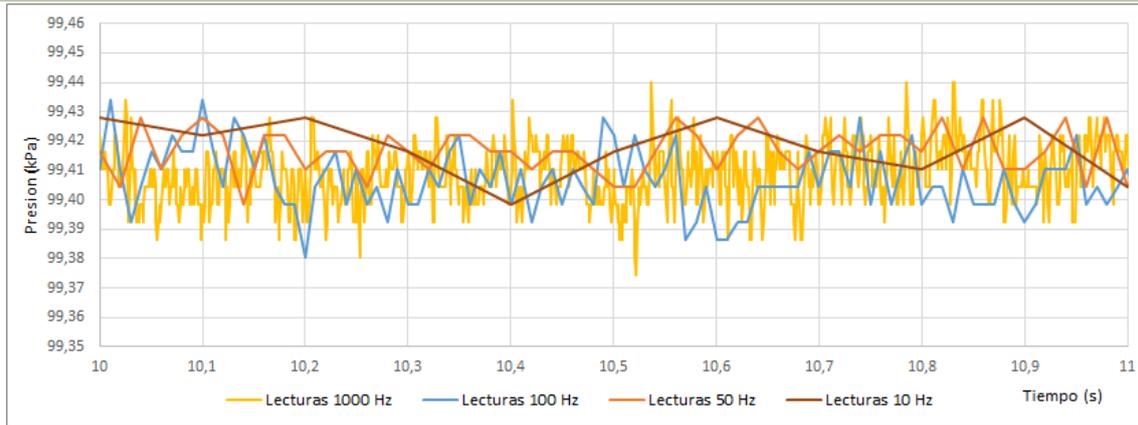


Figura 79. Lecturas Sensor B entre 10 y 11 s.

Con estas figuras se puede observar el aumento de la dispersión en datos con respecto al incremento de la frecuencia en las mediciones. En los tramos analizados se observa cómo se disminuyen los picos cuando bajamos la frecuencia en el ensayo.

Por último se expresa un resumen en la Tabla 53 con los resultados estadísticos en cada medición para las distintas frecuencias.

Tabla 53. Resultados estadísticos Ensayo 13.

Ensayo 13		Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
10 Hz	0-90	98,926	99,420	0,009	0,009	99,447	99,452	99,398	99,392
	20-30	98,927	99,418	0,009	0,008	99,447	99,440	99,404	99,398
50 Hz	0-90	98,918	99,413	0,009	0,010	99,448	99,446	99,381	99,380
	60-65	98,917	99,410	0,009	0,008	99,436	99,440	99,381	99,386
100 Hz	0-90	98,918	99,406	0,009	0,010	99,446	99,446	99,361	99,362
	5-10	98,921	99,409	0,009	0,010	99,434	99,434	99,385	99,380
1000 Hz	0-90	98,919	99,409	0,011	0,010	99,455	99,452	99,370	99,368
	30-31	98,919	99,409	0,010	0,009	99,443	99,434	99,376	99,380

De la tabla anterior se puede observar que los desvíos en cada medición se encuentran en un orden aceptable comparando con los valores estadísticos (0,10 cm), obteniendo en este ensayo mejores resultados a los anteriores debido a mejores consideraciones en la toma de datos en cuanto a movimientos en el lugar de medición y menor tiempo de duración. No se aprecian picos relevantes como sucedió en el ensayo anterior, por lo que todas las mediciones tienen una mejor uniformidad con pocas variaciones en la totalidad del tramo analizado y a su vez en los tramos cortos de 5 o 10 s, en estos últimos los desvíos en general disminuyen su valor. Las demás variables Media, Max y Min no sufren grandes variaciones comparando cada ensayo entre sí. Las medias se diferencian entre cada sensor en 0,5 kPa (5,1 cm) en todas las mediciones.

Los resultados de este ensayo son mejores con respecto al ensayo anterior relacionando todas las variables estadísticas debido a los recaudos durante la medición.

c. Ensayo 14: altura fija con los sensores a distintas frecuencias a la vez

Este ensayo consiste en utilizar una medida de altura de agua fija y tomar lecturas con los dos sensores a la vez. Se utilizarán las frecuencias de 50, 100 y 1000 Hz, todas las mediciones con una duración de 90 s.

A continuación se plantea medición con la frecuencia que toman lecturas cada sensor y un tramo de análisis para cada caso.

En el primer caso se tomaron lecturas a 100 Hz con el Sensor B y a 50 Hz con el Sensor A. En la Figura 80 y la Figura 81 se expresan los resultados en tramo completo y en 5 s.

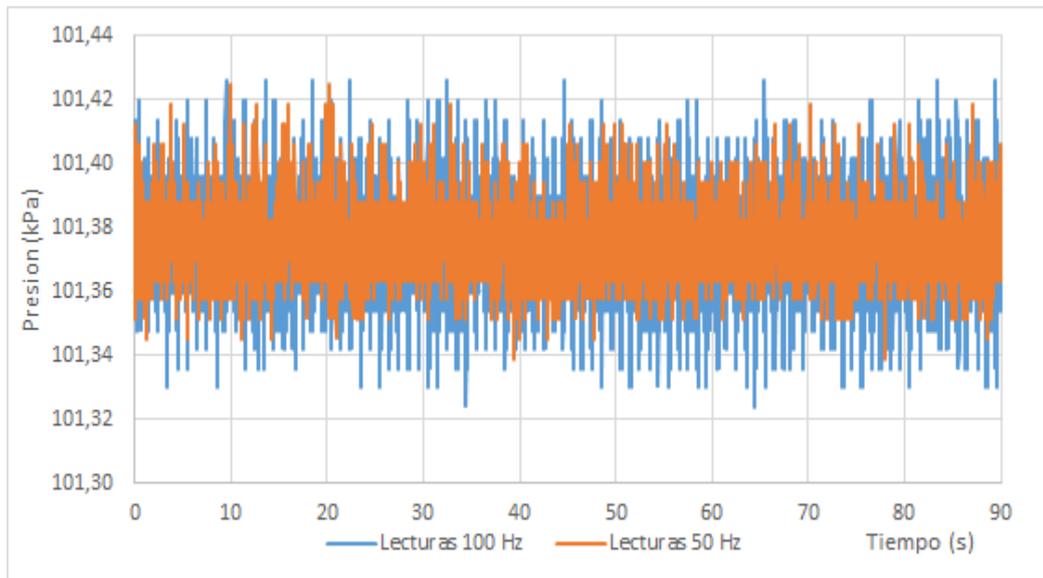


Figura 80. Sensor B - Sensor A.

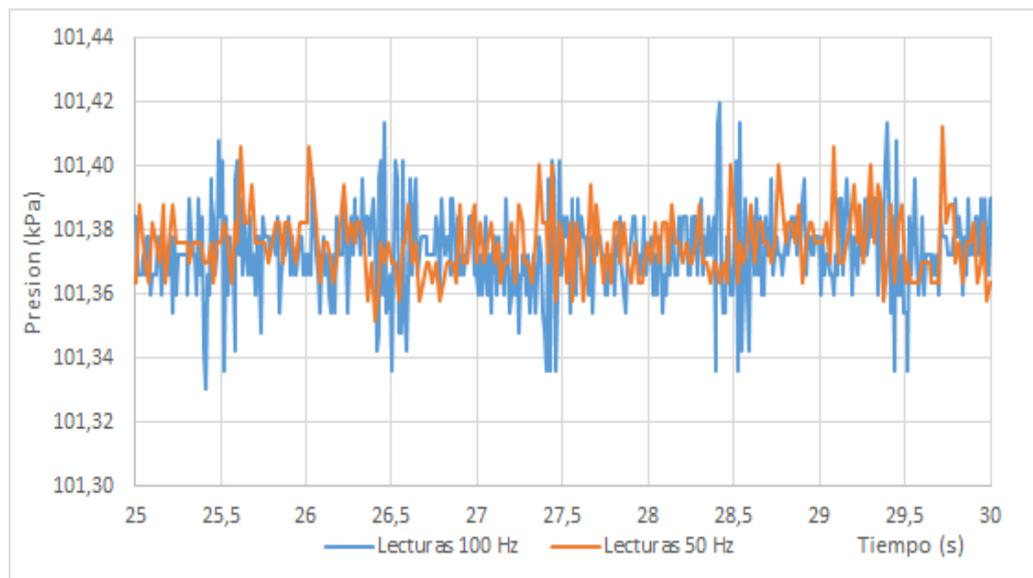


Figura 81. Sensor B - Sensor A entre 25 y 30 s.

En el siguiente caso se tomaron lecturas a 100 Hz con el Sensor A y a 50 Hz con el Sensor B. En la Figura 82 y la Figura 83 se observan los resultados en los 90 s y entre los 25 y 30 s.

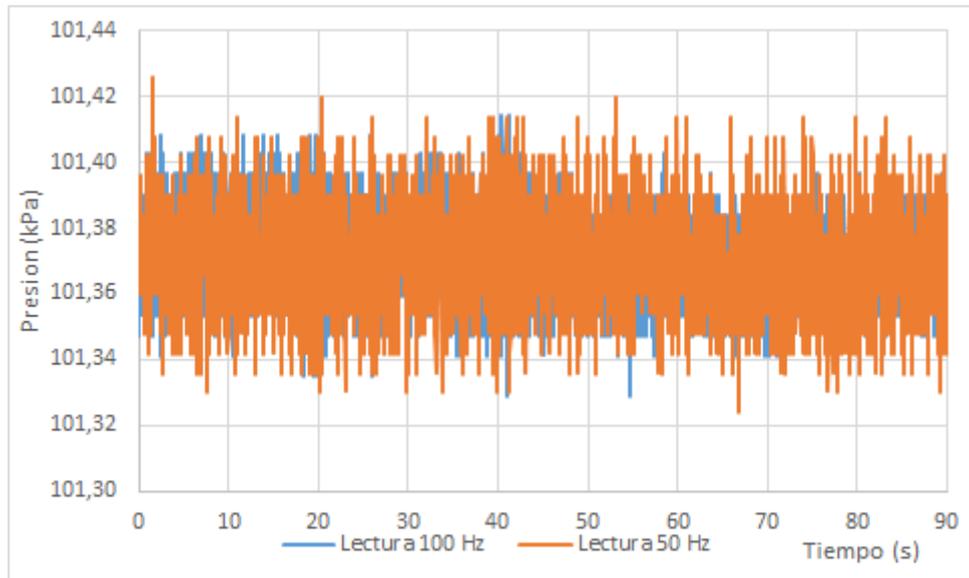


Figura 82. Sensor A-Sensor B.

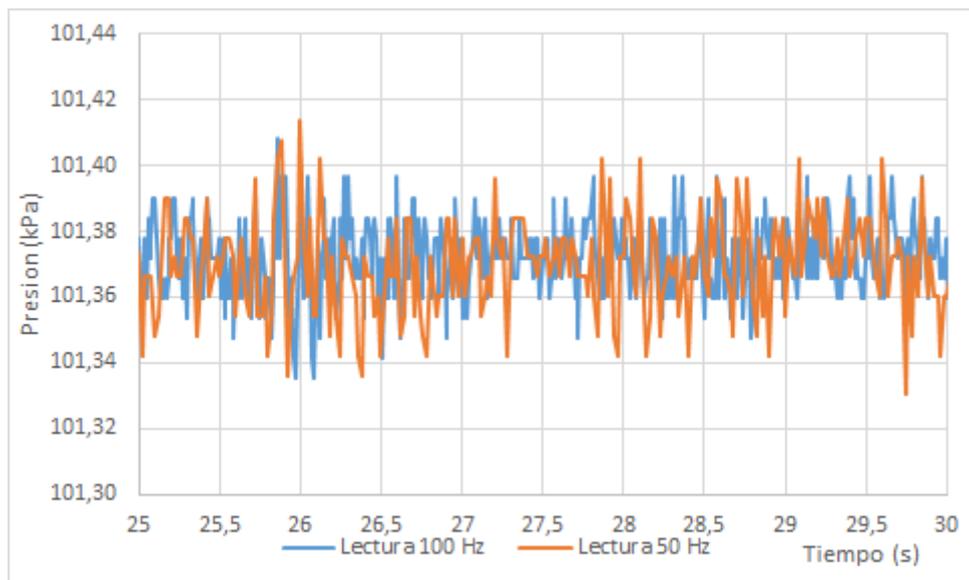


Figura 83. Sensor A-Sensor B entre 25 y 30 s.

Las últimas mediciones en este ensayo fueron con las frecuencias 50-1000 Hz y viceversa. Los resultados se pueden apreciar en la Figura 84 (Sensor A en 50 Hz y Sensor B en 1000 Hz) y la Figura 85 (Sensor B en 50 Hz y Sensor A en 1000 Hz).

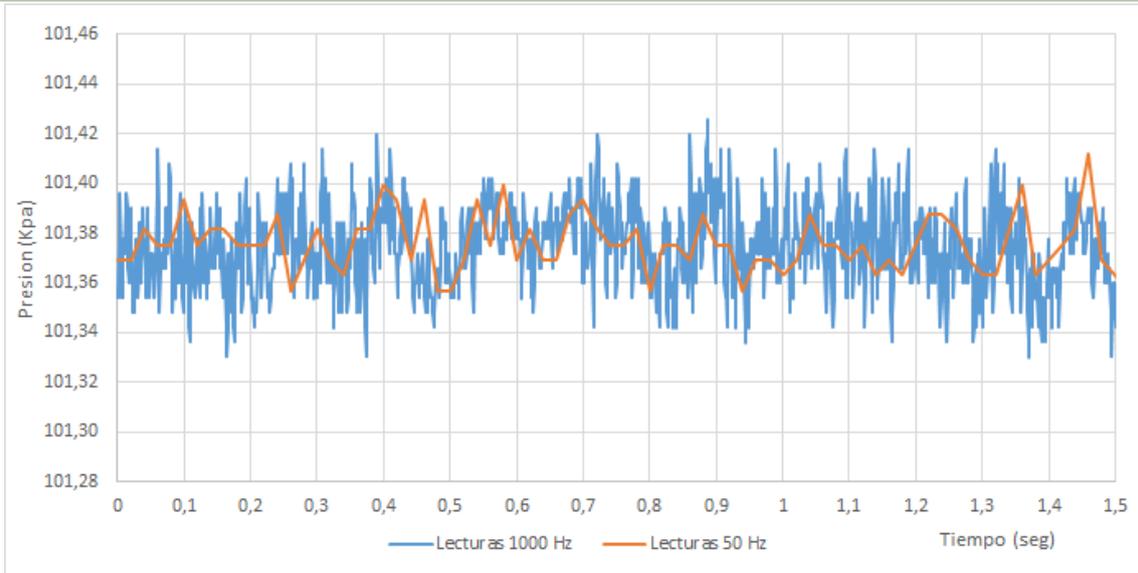


Figura 84. Sensor B-Sensor A.

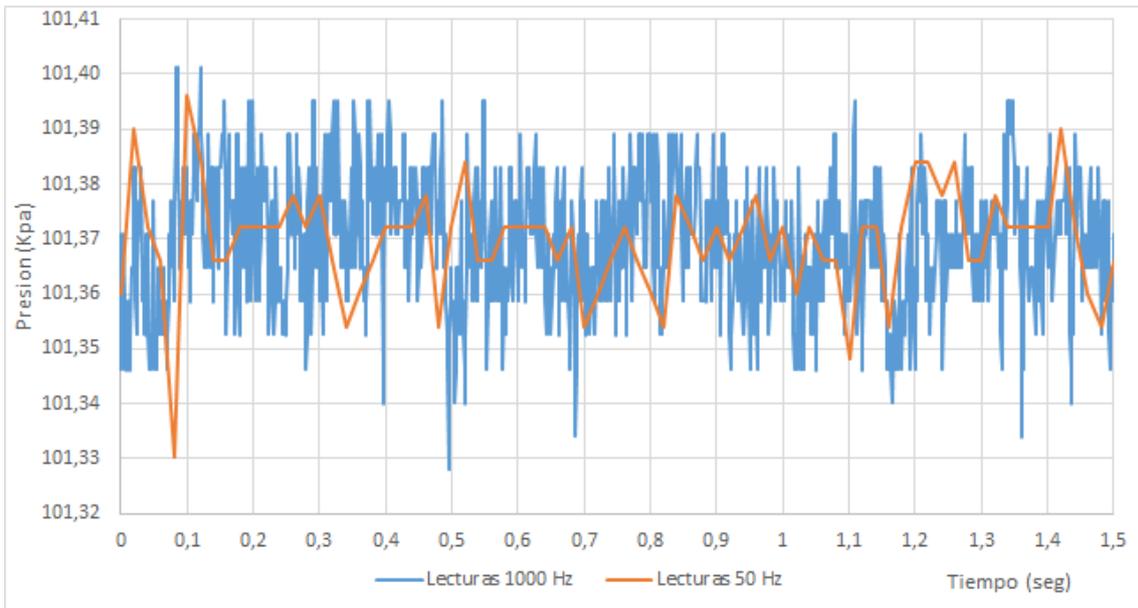


Figura 85. Sensor A-Sensor B.

Ahora en se plantean los resultados estadísticos (media, desvío, máximos y mínimos) de cada medición en la Tabla 54.

Tabla 54. Resultados estadísticos Ensayo 14.

Ensayo 14		Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
Frecuencias (Hz)	Tiempo (s)	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
50-100	0-90	101,279	101,375	0,011	0,014	101,425	101,426	101,339	101,324
	25-30	101,280	101,373	0,010	0,013	101,413	101,420	101,352	101,330
100-50	0-90	101,273	101,371	0,011	0,014	101,415	101,426	101,329	101,324
	25-30	101,275	101,370	0,011	0,015	101,409	101,414	101,335	101,330
50-1000	0-90	101,281	101,375	0,012	0,015	101,430	101,438	101,326	101,306
	0-1,5	101,281	101,375	0,011	0,016	101,412	101,426	101,357	101,330
1000-50	0-1,5	101,292	101,370	0,011	0,010	101,401	101,396	101,328	101,330

Los desvíos entre los distintos ensayos se diferencian en un orden bajo, siendo más bajos con el Sensor A. Las medias se diferencian entre los sensores en menor medida a los ensayos anteriores (en 0,1 kPa o 1 cm).

4.3.1. Discusión de resultados

No se observa correlación entre el aumento de la columna de agua con respecto al desvío calculado. Sin embargo las medidas con una misma frecuencia a diferentes alturas dieron resultados aceptables en cuanto a los desvíos comparados con las mediciones atmosféricas.

Para las mediciones con una misma altura a diferentes frecuencias (10, 50, 100 Y 1000 Hz) se observó como a medida que la frecuencia disminuye los picos en los gráficos se amortiguan y puede verse una medición más regular. Esta dispersión observada de manera gráfica no coincide con el cálculo estadístico del desvío ya que obtienen resultados irregulares, donde no se encuentra una correlación entre la variación de frecuencia con respecto al desvío obtenido para cada sensor. Este análisis se realizó teniendo en cuenta un orden de medida muy bajo, las diferencias entre los desvíos rondan entre los 0,1 mm y 0,3 mm lo cual son valores insignificantes por lo tanto los resultados se consideran aceptable, además de que los mismos se encuentran dentro del orden obtenido en las mediciones atmosféricas.

Para las mediciones con ambos sensores a diferentes frecuencias (50-100 Hz, 100-50 Hz, 50-1000 Hz y 1000-50 Hz) se obtuvo en los resultados gráficos una diferencia entre las dos primeras mediciones, en la segunda las lecturas con 100 y 50 Hz tienen una dispersión similar contrario a la primera donde se aprecia una gran diferencia entre ambas frecuencias siendo una menor dispersión para las lecturas a 50 Hz. En cuanto a las mediciones de 50 y 1000 Hz los picos de dispersión son similares en ambos casos. Refiriéndose a los resultados estadísticos se puede observar que los valores no tienen una gran variación al cambiar la frecuencia de cada sensor y al analizar un tramo determinado, solo se aprecia que la lectura del Sensor B a 1000 Hz disminuye notablemente el valor del desvío al pasar a tomar lecturas en 50 Hz. A su vez se puede apreciar que las medias son muy similares entre sí en todas las mediciones donde los valores máximos y mínimos se diferencian en 0,08 a 0,13 kPa. La totalidad de los desvíos obtenidos con el Sensor A se encuentran dentro del orden entre 0,10-0,12 cm estimado con las mediciones atmosféricas, contrario a los resultados con el Sensor B que solo una lectura a 50 Hz corresponde al orden nombrado.

4.4. Resultados en mediciones dinámicas

a. Ensayo 15: altura variable durante la medición y agitación

En este ensayo se realizaron 3 mediciones, las primeras 2 de manera similar agregando agua de a poco durante un tiempo determinado con una simple comparación en cada medición con ambos sensores y el ultimo tendrá un análisis más detallado ya que se busca analizar las fluctuaciones por los movimientos generados en el tubo.

a.1. Medición Dinámica a 30 s

La primera medición consistió en agregar agua lentamente con una jeringa para tratar de lograr un aumento constante de la altura de agua, se tomó los valores durante 30 seg a una frecuencia de 50 Hz con ambos sensores, se llegó hasta los 42 cm de columna de agua en el tubo de ensayo aproximadamente. Los resultados se muestran en la Figura 86.

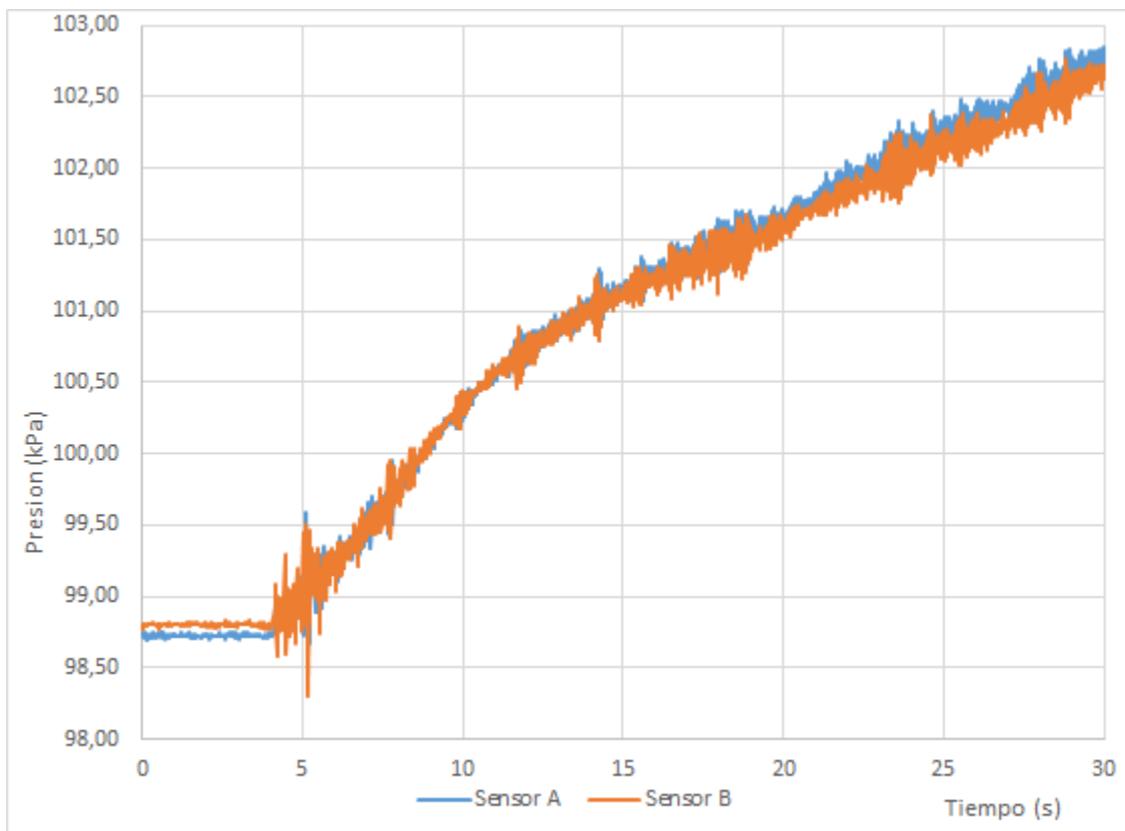


Figura 86. Medición a 30 s, Sensor A y B.

Podemos observar que el aumento de presión se da una manera progresiva para los 2 sensores, se ve un primer sector sin cambio debido a la espera para comenzar con el aumento de agua.

a.2. Medición Dinámica a 20 s

La siguiente medición se realizó de manera similar a la anterior. Solo que se tomaron los datos durante 20 seg a 50 Hz de frecuencia usando los 2 sensores simultáneamente, se llegó hasta los 33 cm de columna de agua en el tubo de ensayo. Los resultados se muestran en la Figura 87.

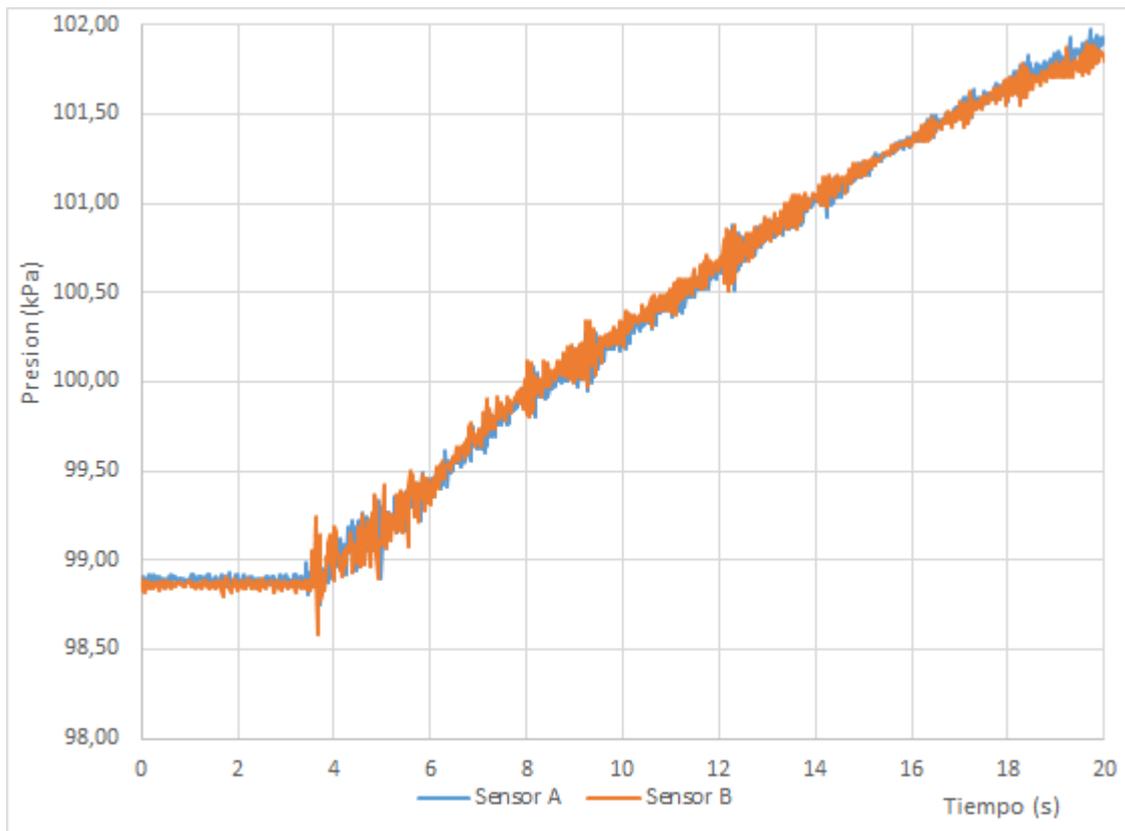


Figura 87. Medición 20 seg, Sensor A y B.

En el gráfico podemos observar que el aumento de presión se da de una manera progresiva para los dos sensores. Se ve un primer sector sin cambio debido a la espera para comenzar con el aumento de agua.

En estos ensayos se puede notar una misma tendencia de los sensores para tomar los datos y las variaciones a simple vista son similares.

a.3. Medición con Agitación

Este ensayo consistió en poner una altura de agua definida (33cm) y mediante una varilla realizar una agitación en el agua y tomar las lecturas de las variaciones generadas. Se hizo a 50 Hz midiendo con los dos sensores simultáneamente durante un minuto. Se planteó analizar los resultados durante el tiempo determinado. Empleando un tramo de 5 s para poder tener una comparación más detallada entre ambos sensores, se buscará un tramo con una considerable dispersión de datos. Los resultados se muestran en la Figura 88 y la Figura 89.

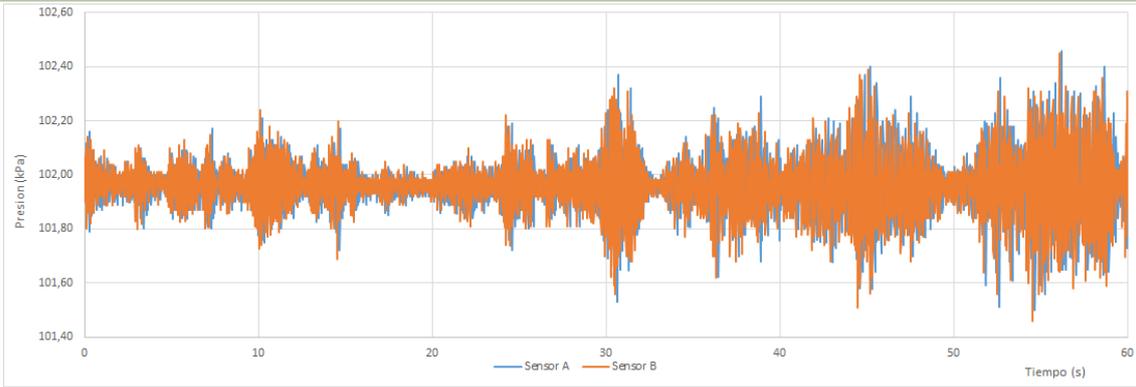


Figura 88. Presión dinámica en Agitación.

Tramo con mayor dispersión entre los 35 y 40 seg.

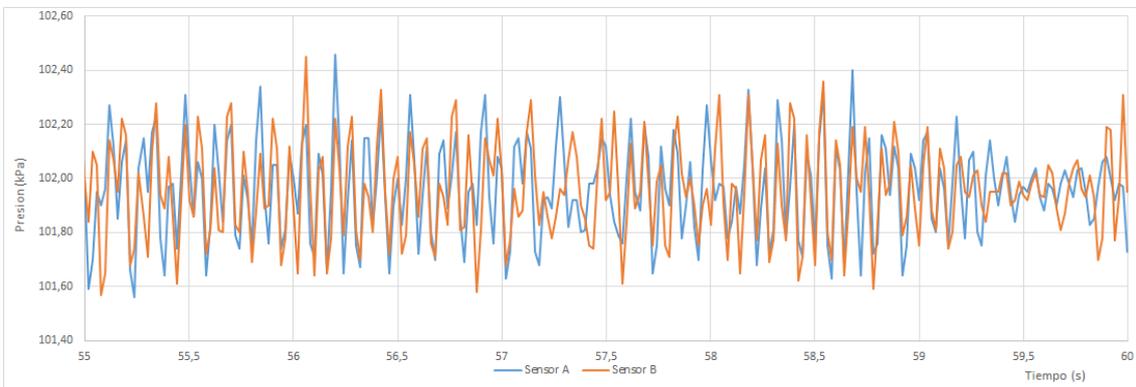


Figura 89. Presión dinámica en Agitación entre 55 y 60 s.

Una vez planteada las tres mediciones tomadas con ambos sensores se plantea un análisis estadístico de las presiones obtenidas. En la Tabla 55 se expresan la Media y Desvío de cada medición con ambos sensores.

Tabla 55. Resultados estadísticos Ensayo 15.

Ensayo 15	Media (kPa)			Desvío (kPa)		
	dinámico 30 s	dinámico 20 s	agitación	dinámico 30 s	dinámico 20 s	agitación
Sensor A	100,403	99,816	101,609	1,322	1,023	0,106
Sensor B	100,814	100,250	101,959	1,266	1,024	0,108

En la Tabla 56 se expresan los resultados estadísticos en el tramo antes mencionados, para cada sensor se calcula media y desvío.

Tabla 56. Resultados Estadísticos en agitación.

Ensayo 15	Media (kPa)		Desvío (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
0-300 s	101,609	101,959	0,106	0,108
55-60 s	101,613	101,956	0,174	0,177

Para poder analizar los picos de diferencia mostrados anteriormente en el gráfico de presiones, se plantea comparar la diferencia entre las dos lecturas que representen la discrepancia entre los picos observados en los gráficos de presión. Se plantea en la Figura 90 y la Figura 91 la diferencia entre ambos sensores durante la medición comparados con las mediciones del Sensor A como así también un tramo con el mismo criterio de los casos anteriores.

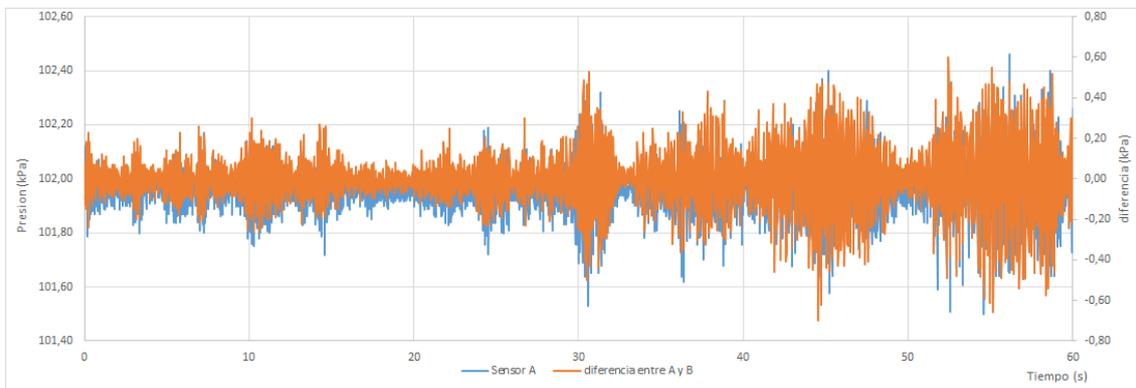


Figura 90. Presión Dinámica en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B.

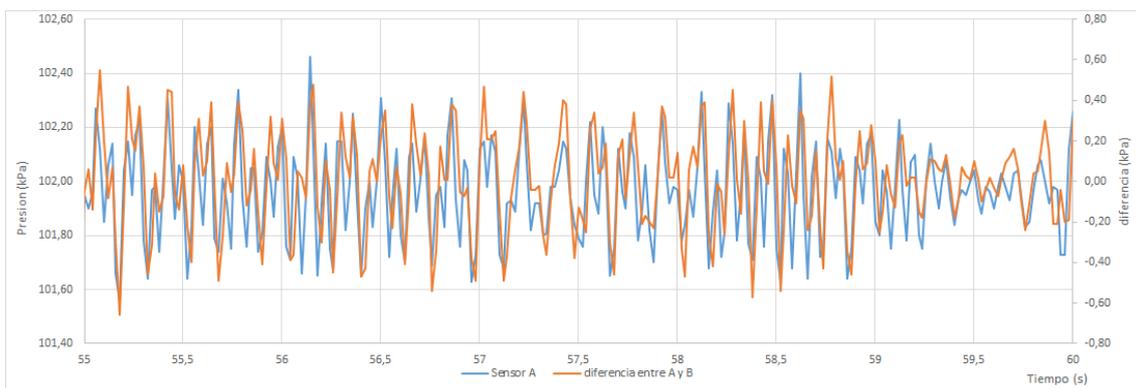


Figura 91. Presión Dinámica en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B entre los 55 y 60 s.

En la Figura 90 se aprecia una buena superposición entre las dos lecturas. Donde las diferencias tienen la misma tendencia vistas en las lecturas de un Sensor. Por lo que dichas diferencias son proporcionales a los cambios de presión. En el tramo descrito se obtiene

resultados similares a los correspondientes de presiones, con una notable dispersión y una diferencia entre picos relativamente menor al de presiones.

Para tratar de corregir las diferencias entre las lecturas de presión de cada sensor se utilizarán las rectas de calibración obtenida en los ensayos correspondientes. Las presiones leídas de los ensayos son corregidas por las ecuaciones para obtener la presión real. Los valores de pendiente y ordenada para cada sensor se expresan en la Tabla 57.

Tabla 57. Rectas finales.

Recta final	a Pendiente	b Ordenada (cm)
Sensor A	1,01910	-0,07375
Sensor B	1,02783	-0,50115

Estas ecuaciones serán utilizadas en todos los ensayos dinámicos a analizar.

Medición calibrada en agitación

Se realiza el mismo análisis anterior, teniendo en cuenta gráficos de presión de ambos sensores, la diferencia entre ambos y el análisis estadísticos, pero en este caso a las lecturas de cada sensor se le aplico su correspondiente ecuación de calibración. Los resultados gráficos se expresan en la Figura 92, la Figura 93, la Figura 94 y la Figura 95.

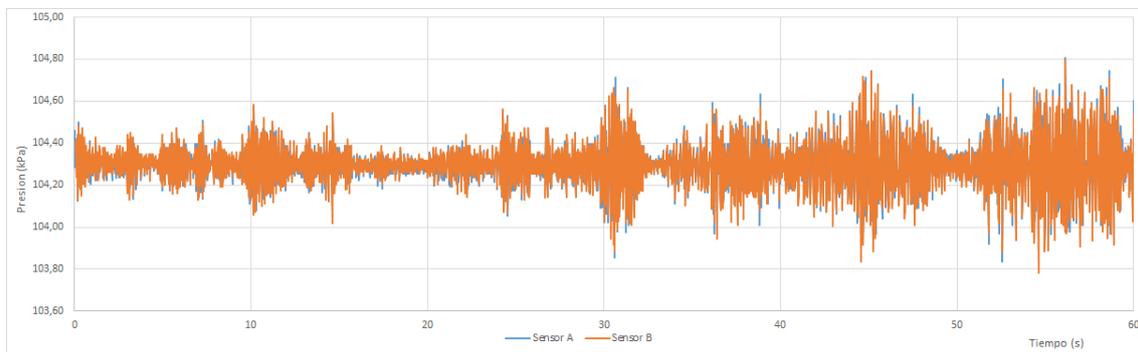


Figura 92. Presión Dinámica Calibrada en Agitación.

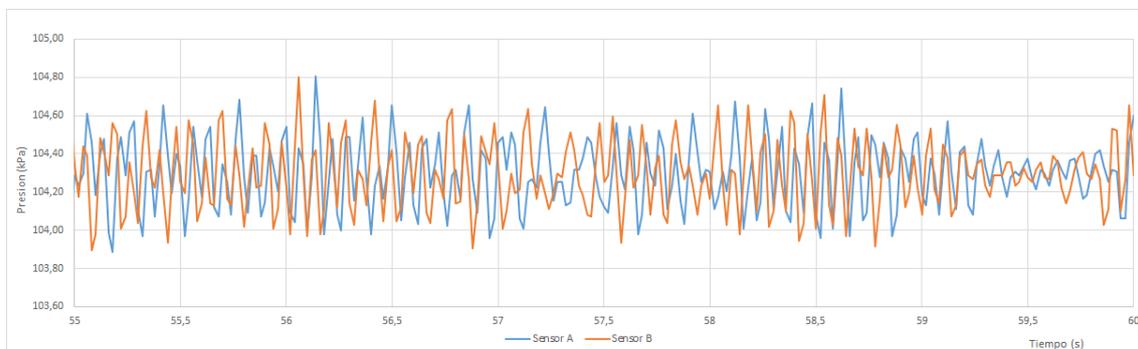


Figura 93. Presión Dinámica Calibrada en Agitación entre 55 y 60 s.

Se puede observar una buena tendencia entre las dos lecturas mejor que las anteriores sin calibración la diferencia entre picos disminuye, se encuentra un desfase de 0,08 s del Sensor B respecto del A.

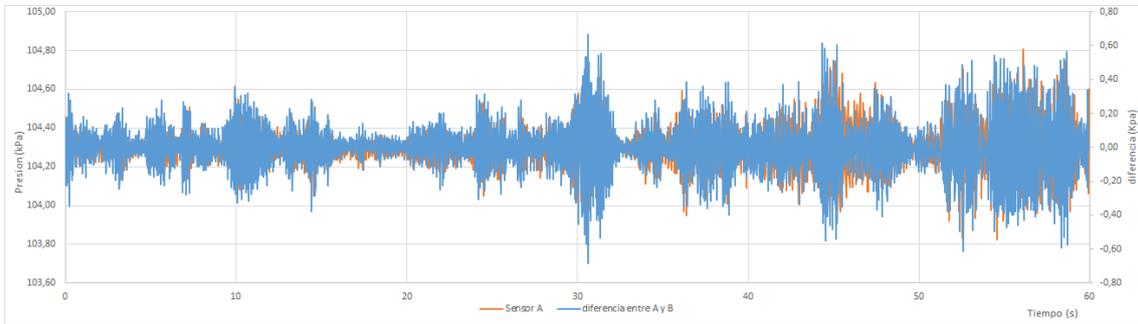


Figura 94. Presión Dinámica Calibrada en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B.

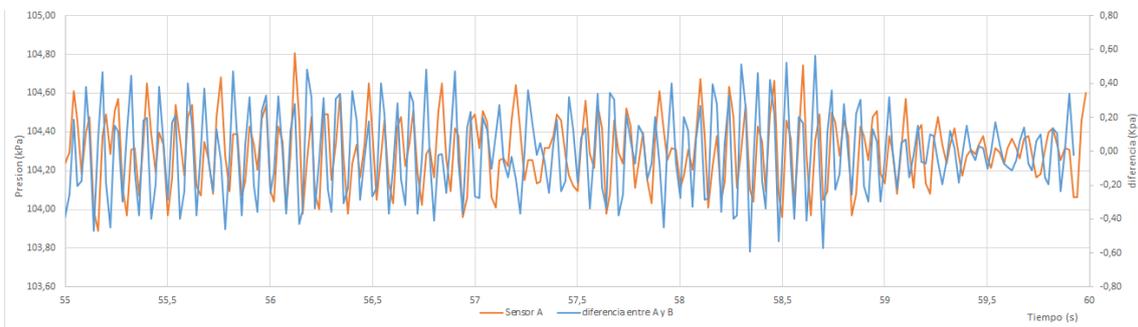


Figura 95. Presión Dinámica Calibrada en Agitación, Sensor A y diferencia entre A y B entre los 55 y 60 s.

Se procede a realizar una comparación entre las mayores diferencias obtenidas durante los 60 s con las lecturas sin calibrar y calibradas, se expresan en la Tabla 58.

Tabla 58. Máximas diferencias en Agitación.

	Max Dif. (kPa)	Max Dif. (cm)
Sin calibrar	-0,70	-7,14
	0,60	6,12
Calibrado	-0,69	-6,99
	0,66	6,78

Los resultados estadísticos en las lecturas calibrada de las mediciones con agitación se expresan en la Tabla 59.

Tabla 59. Resultados estadísticos en Agitación calibrados.

Agitación	Media (kPa)		Desvío (kPa)		Max (kPa)		Min (kPa)	
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
0-300 s	104,796	104,796	0,1080	0,1107	105,307	105,301	104,306	104,283
55-60 s	104,801	104,793	0,1778	0,1820	105,307	105,301	104,389	104,396

Discusión de resultados dinámicos en Ensayo 15

Se observó que los sensores tienen un comportamiento similar en los valores medidos a medida que se generan variaciones debido a los movimientos en el tubo. Al aumentar la cantidad de agua durante la medición la variación se va reflejada de manera similar para cada sensor en los gráficos y en la toma de datos. Para la medición con agitación en el ensayo 15.a.3. además de los descrito anteriormente se analizó un tramo de la misma (Figura 89), la cual presenta una misma tendencia donde las dos lecturas se superponen prácticamente de manera completa diferenciando unos picos entre los valores extremos superpuestos, donde en algunos casos son mayores las lecturas del Sensor A y en otras las del Sensor B. Cabe acotar que estos gráficos tienen un desfase de 0,04 s entre las lecturas debido a que la señal en cada sensor llega en tiempos diferentes generado por la distancia a la que se encuentra cada sensor (cada manguera de unión al sensor tiene distintas longitudes), por lo que el Sensor A fue desfasado en ese tiempo. Referido a los resultados estadísticos en este tipo de ensayos los desvíos son de un orden muy superior a los analizados anteriormente debido a los movimientos generados, observamos que en el tramo de mayor dispersión se diferencia en un valor considerable con respecto al tramo completo en 0,7 cm y al tramo de baja dispersión en 1,1 cm. La media no tiene grandes variaciones con respecto a los dos tramos analizados. Con respecto a las diferencias entre ambos sensores podemos observar como las mismas siguen la misma tendencia de los valores medidos por cada sensor por lo que a medida que varían las lecturas de presión, mayores son las diferencias tomadas por los sensores, a su vez al analizar un tramo de 5 s (Figura 91) se puede notar de mejor manera lo enunciado recientemente y vemos como se superponen de buena manera las diferencias con las lecturas de un sensor. Después de realizada la calibración en las lecturas de cada sensor se puede observar que las presiones en cada sensor mantienen una misma superposición en el tramo total, pero mejora considerablemente la aproximación en el tramo de 5 s analizado (Figura 93), en el mismo disminuye la diferencia entre los picos de las lecturas de cada sensor. Para el caso del gráfico de las diferencias la superposición se mantiene, donde los picos de cada lectura coinciden en su gran mayoría (Figura 95). En cuanto a los resultados estadísticos podemos observar que todos los valores del desvío en el tramo total disminuyen entre 0,25 y 0,31 mm en ambos sensores lo cual corresponde a un valor insignificante. La media disminuye considerablemente debido a la calibración en un orden de 2,84 kPa que corresponden a 28,97 cm por lo que las aproximaciones entre las lecturas son buenas debida a la calibración, pero generan un gran cambio en los valores reales.

b. Ensayo 16: altura fija y frecuencia variable

Este ensayo consiste en tomar lecturas de presiones dinámicas con ambos sensores cuando el tubo de ensayo está siendo sometido a un movimiento exterior, se colocó una altura de agua de 20 cm y se tomaron presiones durante 90 seg, de los cuales se mantuvo de manera estática los primeros 30 seg luego con 10 seg de movimiento y el tiempo restante estático, esto se realizó para las frecuencias de 10, 50, 100 y 1000 Hz. Para tratar de corregir los desfases entre las lecturas se utilizó una unión en T con un sensor en cada extremo. Las mediciones realizadas son las siguientes:

b.1. Mediciones a 10 Hz

b.2. Mediciones a 50 Hz

b.3. Mediciones a 100 Hz

b.4. Mediciones a 1000 Hz

Se analiza cada medición por orden de frecuencias con los gráficos correspondiente a los ensayos dinámicos con y sin calibración entre ellos lecturas de presión de los dos sensores y las diferencias entre ambas lecturas, cada gráfico con un tramo de análisis que será de 2, 5 o 10 seg de acuerdo a la frecuencia utilizada, después de realizada la calibración en las distintas mediciones se observó que los gráficos no sufren modificación después de aplicada la recta final para cada sensor, por lo que se optó en no introducir nuevamente los resultados de las figuras calibradas solo dos ejemplos uno para notar los máximos cambios posibles de manera gráfica (Medición a 10 Hz, diferencias entre sensores y Sensor A) y el otro donde no se parecían diferencias (Medición 1000 Hz, Presión en Sensor A y B) que ocurre casi en la totalidad de las medidas seguido de esto si dispondrán los análisis estadísticos con y sin la calibración correspondiente.

b.1. Mediciones a 10 Hz

En la Figura 96 y Figura 97 se pueden ver los resultados de las lecturas de cada sensor a 10 Hz con un tramo de 10 s por la menor cantidad de datos disponibles.

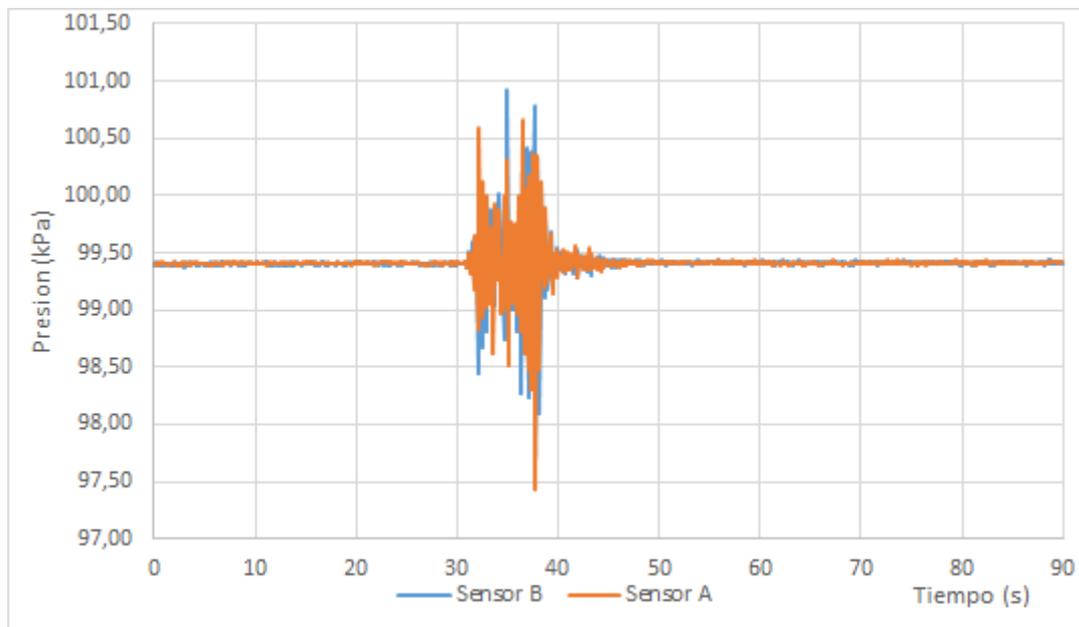


Figura 96. Presión Dinámica a 10 Hz.

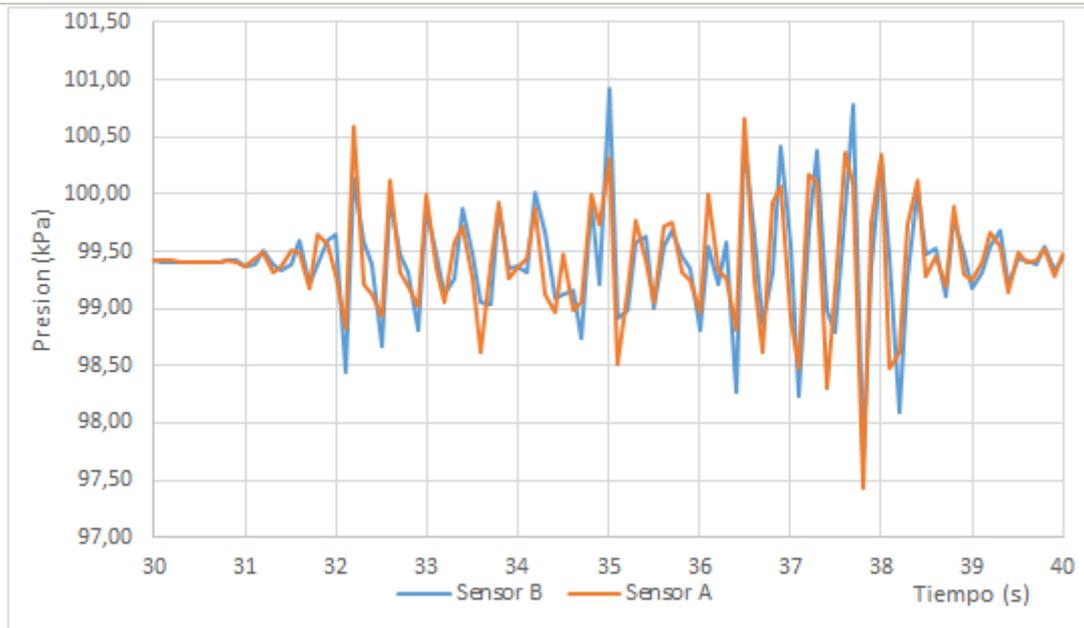


Figura 97. Presión Dinámica a 10 Hz entre 30 y 40 s.

Con respecto a los gráficos de las lecturas de presión de cada sensor se puede observar que tienen una buena superposición de los picos donde se pueden notar que en algunos puntos son sobrepasados una lectura respecto a la otra con gran diferencia como puede ser cerca de los 35 segundos para el Sensor B y cerca de los 38 segundos para el Sensor A, estos serán analizados con los gráficos de diferencias. En los gráficos descriptos no hubo un desfase relevante.

En la Figura 98 y la Figura 99 se observan los gráficos de diferencias entre las lecturas de los sensores comparadas con las lecturas del Sensor B para los 90 s y un tramo de análisis de 10 s.

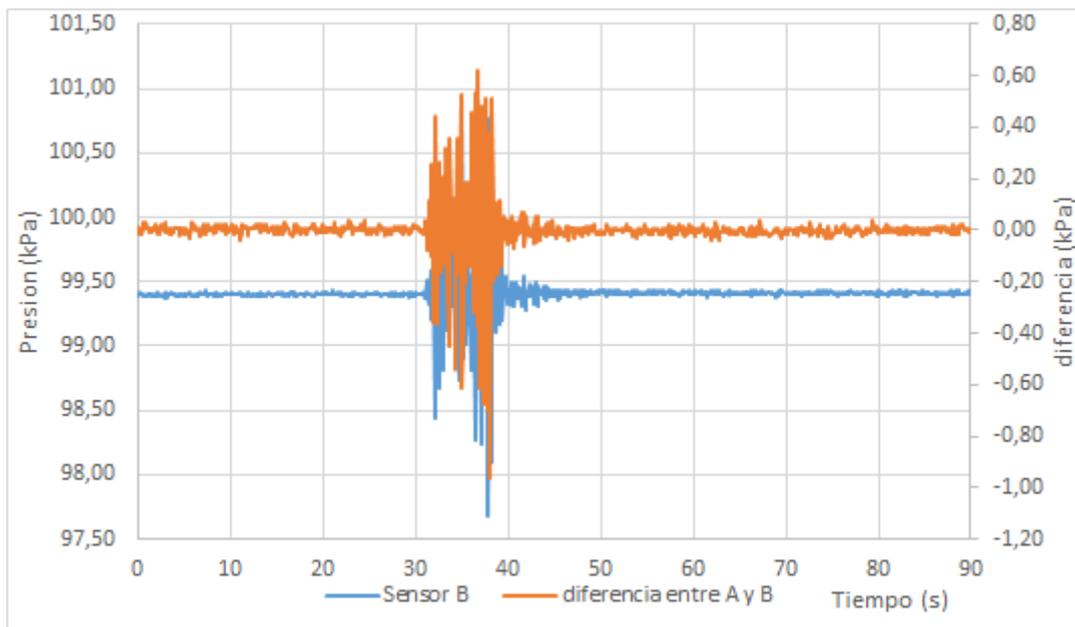


Figura 98. Presión Dinámica a 10 Hz, Sensor A y diferencia entre Sensor A y Sensor.

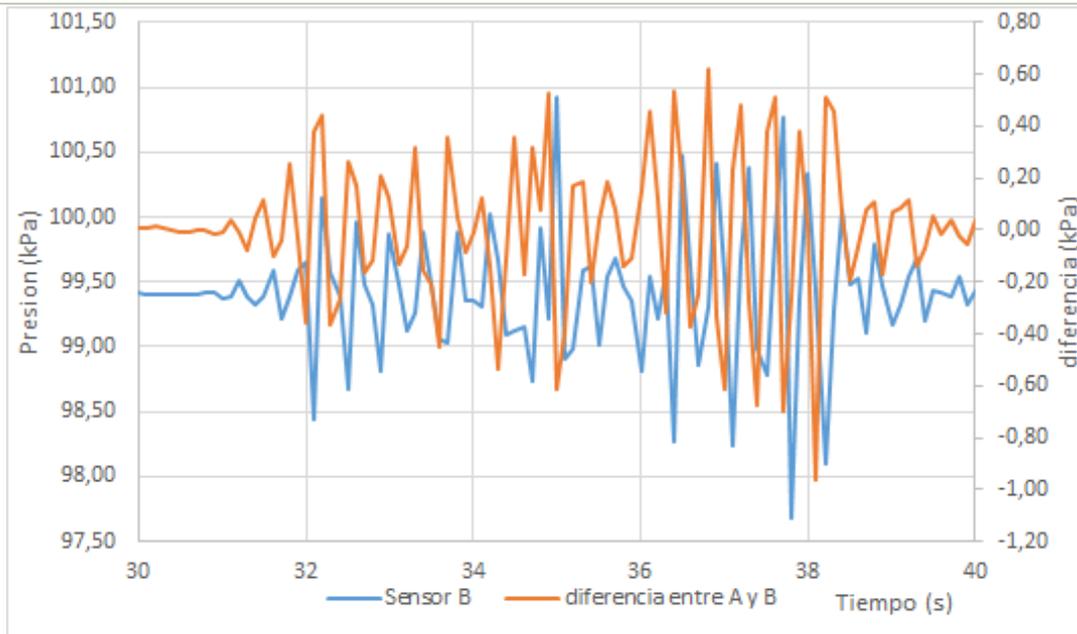


Figura 99. Presión Dinámica a 10 Hz, Sensor B y diferencia entre Sensor A y Sensor B entre 30 y 40 s.

En el gráfico de diferencias se observa una misma tendencia entre las dos lecturas analizadas: las diferencias son prácticamente proporcionales a los aumentos de presión del Sensor B (a mayores lecturas de presión mayores son las diferencias entre las mediciones de los sensores). La mayor diferencia obtenida es de 0,97 kPa (9,9 cm).

Ahora se plantea en la Figura 108 el gráfico de diferencia entre sensores calibrados comparadas con las lecturas del Sensor B después de haber aplicado la correspondiente calibración. Se observa que no se han generado grandes modificaciones debido a la calibración, no hay desfase entre las lecturas y los picos se aprecian en los mismos que nombrados anteriormente.

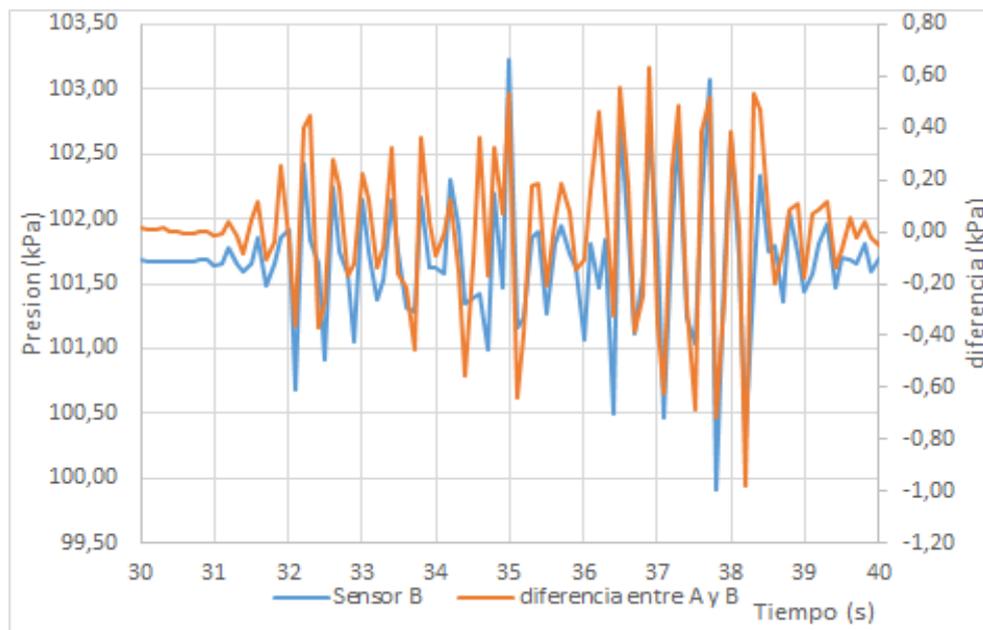


Figura 100. Presión Dinámica Calibrada a 10 Hz, Sensor B y diferencia entre Sensor A y Sensor B entre 30 y 40 s.

Con respecto a las diferencias de presión entre los sensores se generó una modificación debido a la calibración donde las lecturas tienen una mejor aproximación y superposición entre sí.

b.2. Mediciones a 50 Hz

Se procede a realizar el mismo análisis para las lecturas con frecuencias a 50 Hz. Se observan en la Figura 101 y la Figura 102 los resultados de las mediciones con cada sensor y en un tramo de 5 s.

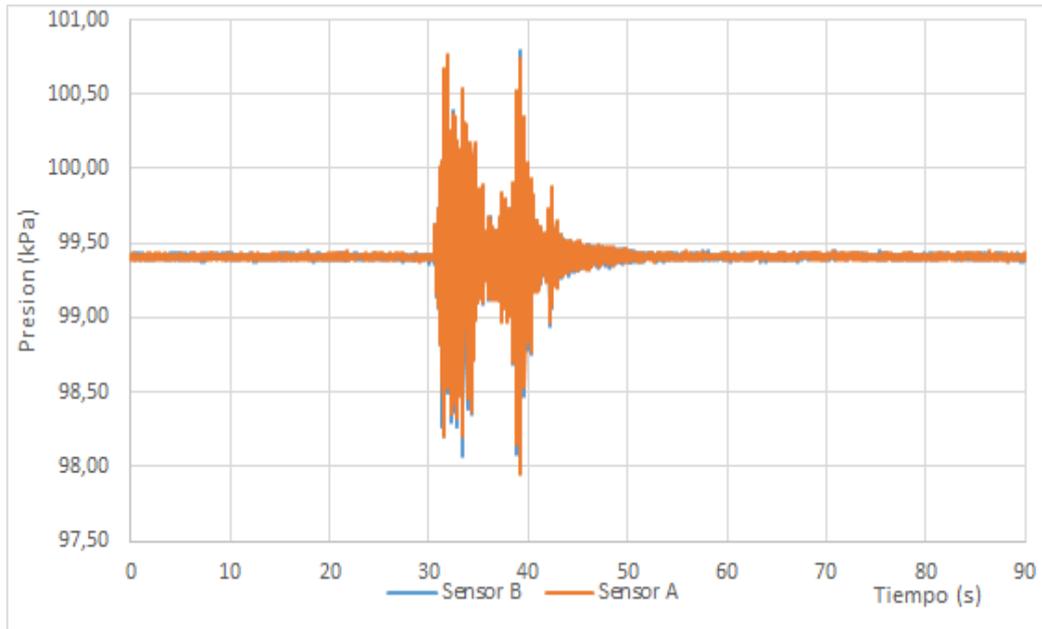


Figura 101. Presión Dinámica a 50 Hz.

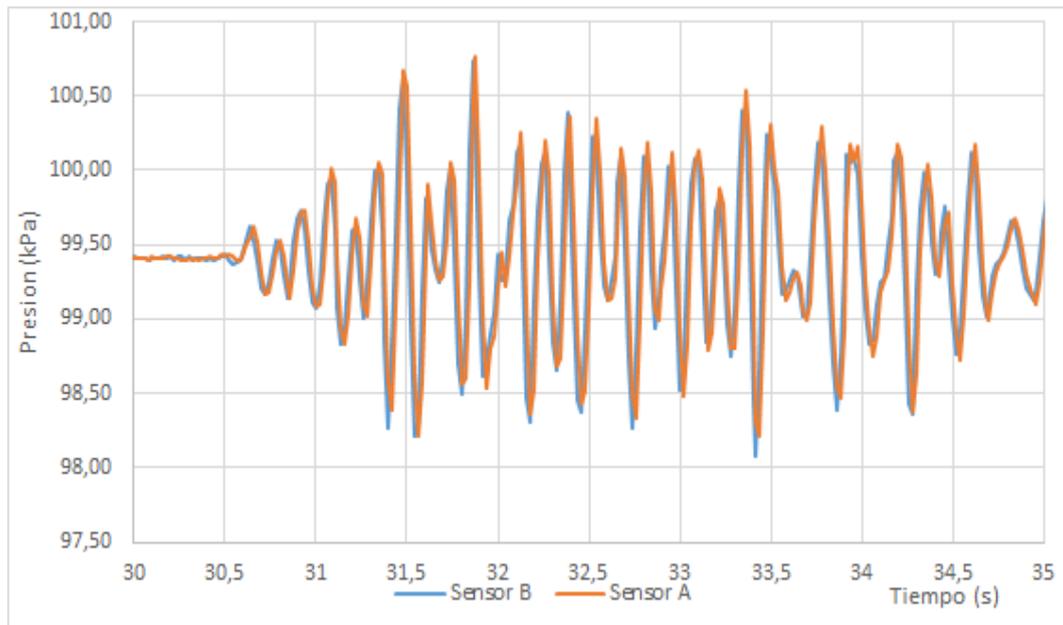


Figura 102. Presión Dinámica a 50 Hz entre 30 y 35 s.

En este caso se puede apreciar una buena superposición entre ambas lecturas en la totalidad del tramo y donde la diferencia de picos de las señales entre sí gráficamente parece de un valor más bajo comparado con la medición anterior. No se aprecia un desfase entre ambas lecturas.

En la Figura 103 y Figura 104 se observan los gráficos de diferencias entre las lecturas de los sensores y un tramo de análisis de 5 s.

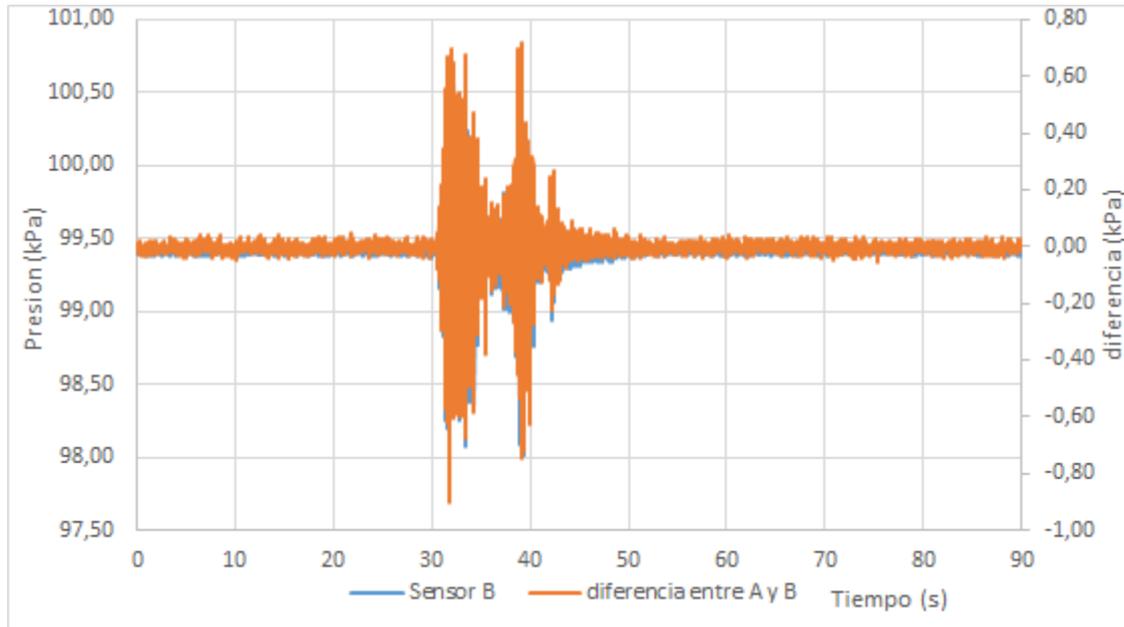


Figura 103. Presión Dinámica a 50 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B.

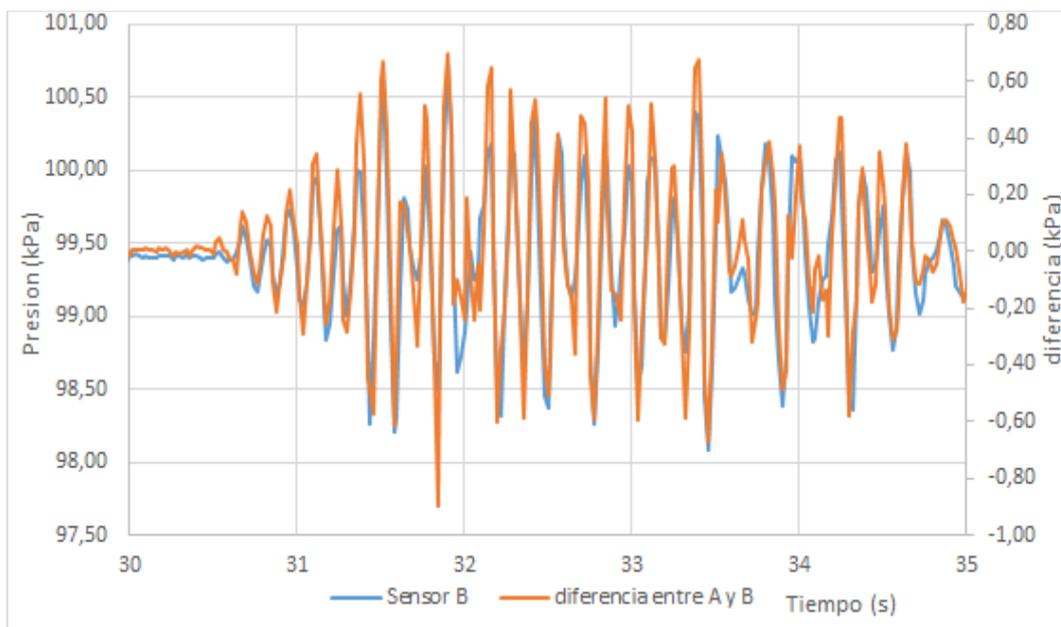


Figura 104. Presión Dinámica a 50 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B entre 30 y 35 s.

En el gráfico de las diferencias entre ambos sensores observamos una buena superposición de las lecturas donde dichas diferencias tienen la misma tendencia obtenida de la señal en el Sensor B y se modifican proporcional a ésta. En el tramo de 5 s, la mayor diferencia observada es de 0,9 kPa (9,18 cm).

b.3. Mediciones a 100 Hz

Se procede a realizar el mismo análisis para las lecturas con frecuencias a 100 Hz. Se observan en Figura 105 y Figura 106 los resultados de las mediciones con cada sensor y en un tramo de 5 s.

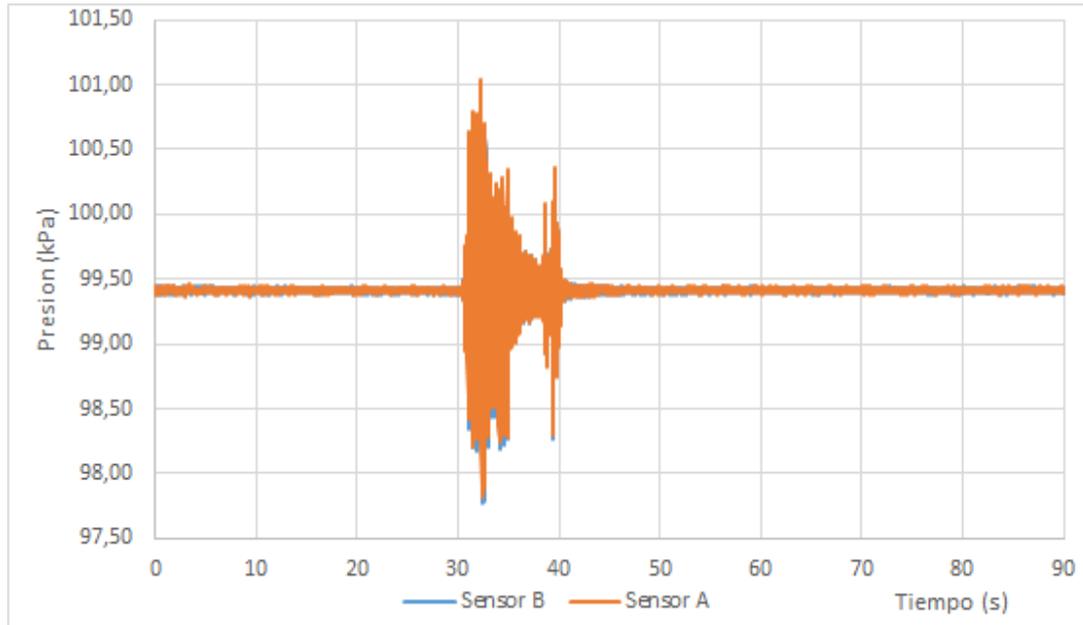


Figura 105. Presión Dinámica a 100 Hz.

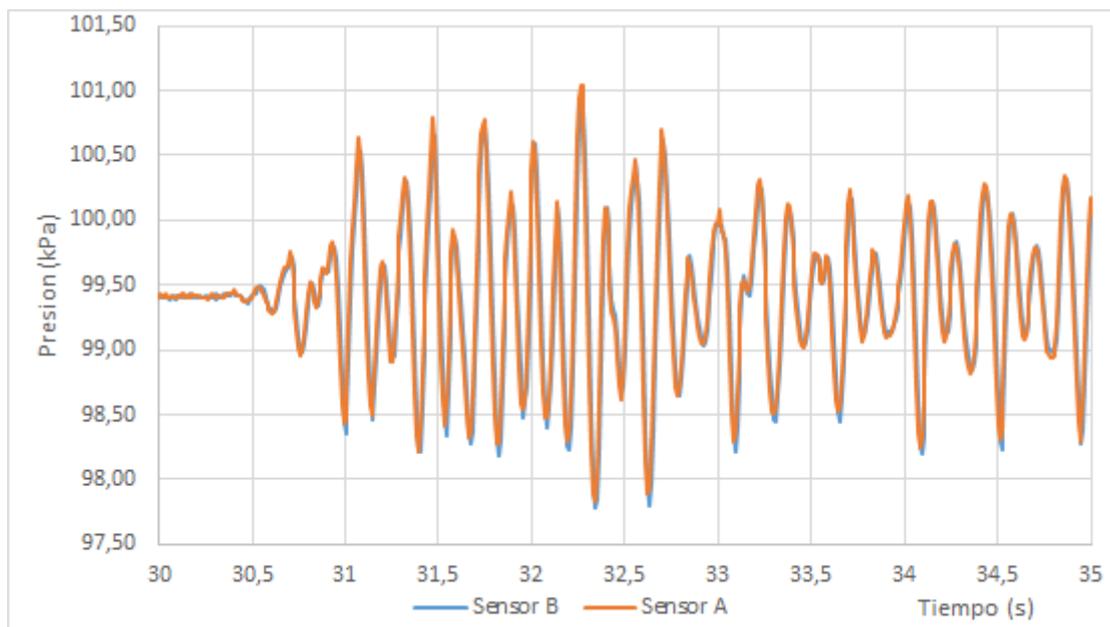


Figura 106. Presión Dinámica a 100 Hz entre 30 y 35 s.

Para este caso en las mediciones de presión de ambos sensores obtenemos resultados similares a las de 50 Hz donde la superposición es muy buena en toda en el tramo completo y en el de análisis de 5 s. Se generó un desfase de 0,02 s entre ambas lecturas, demorando más en la toma de datos el Sensor B debido a que los datos eran tomados con anterioridad en el Sensor A por las longitudes de las tomas (mangueras), donde la de mayor tamaño se usó en el Sensor B.

En la Figura 107 y la Figura 108 se observan los gráficos de diferencias entre las lecturas de los sensores y un tramo de análisis de 5 s.

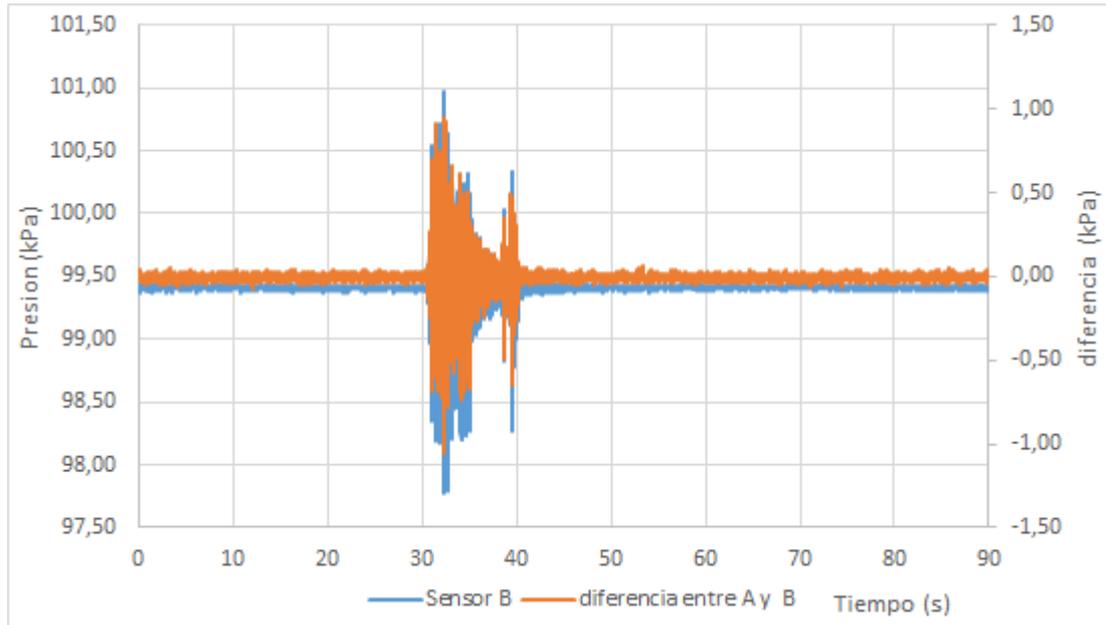


Figura 107. Presión Dinámica a 100 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B.

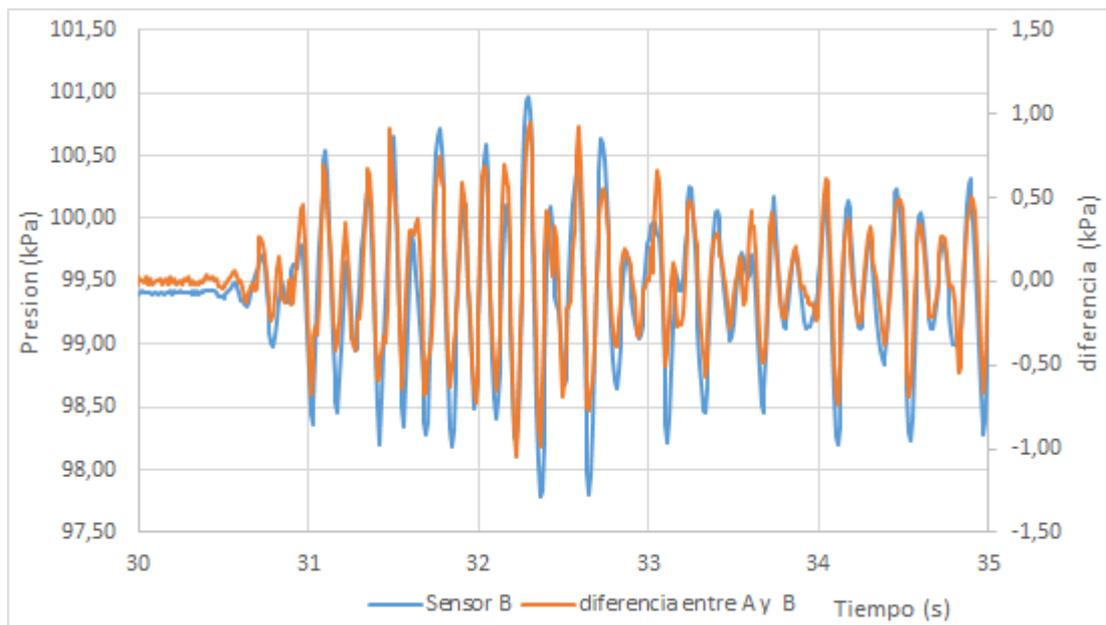


Figura 108. Presión Dinámica a 100 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B entre 30 y 35 s.

En los gráficos de diferencias entre ambas lecturas obtenemos una buena superposición que nos da un resultado similar al de 50 Hz con diferencias proporcionales a los aumentos de las presiones tomadas por cada sensor. La mayor diferencia observada es de 1,05 kPa (10,71 cm).

b.4. Mediciones a 1000 Hz

Esta será la última medición realizada en este ensayo y se procede de manera similar a las anteriores. Se toman lecturas con ambos sensores a 1000 Hz y se analiza un tramo de 5 s. Los resultados se muestran en la Figura 109 y la Figura 110.

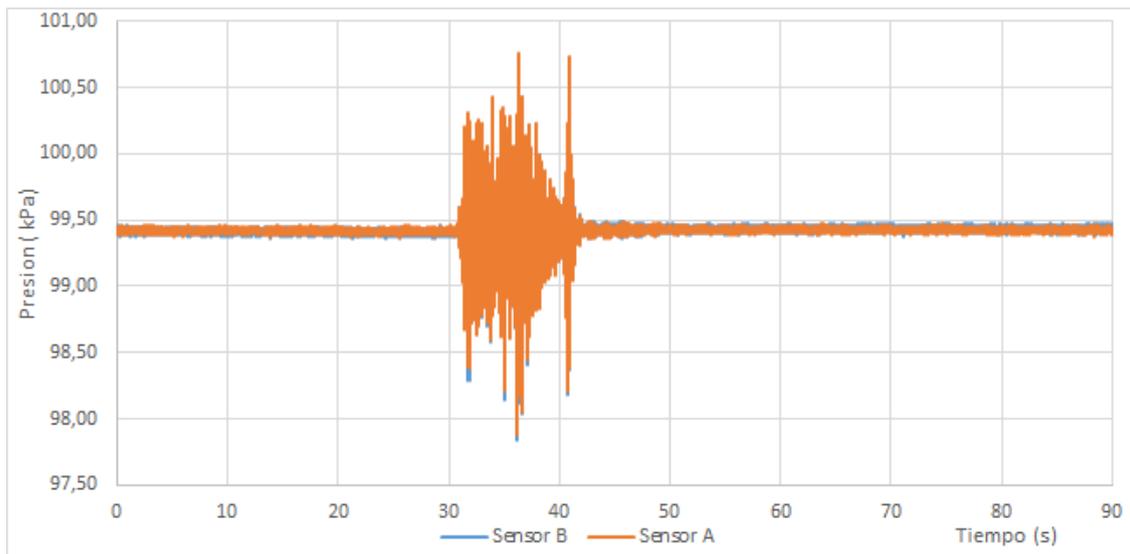


Figura 109. Presión Dinámica a 1000 Hz.

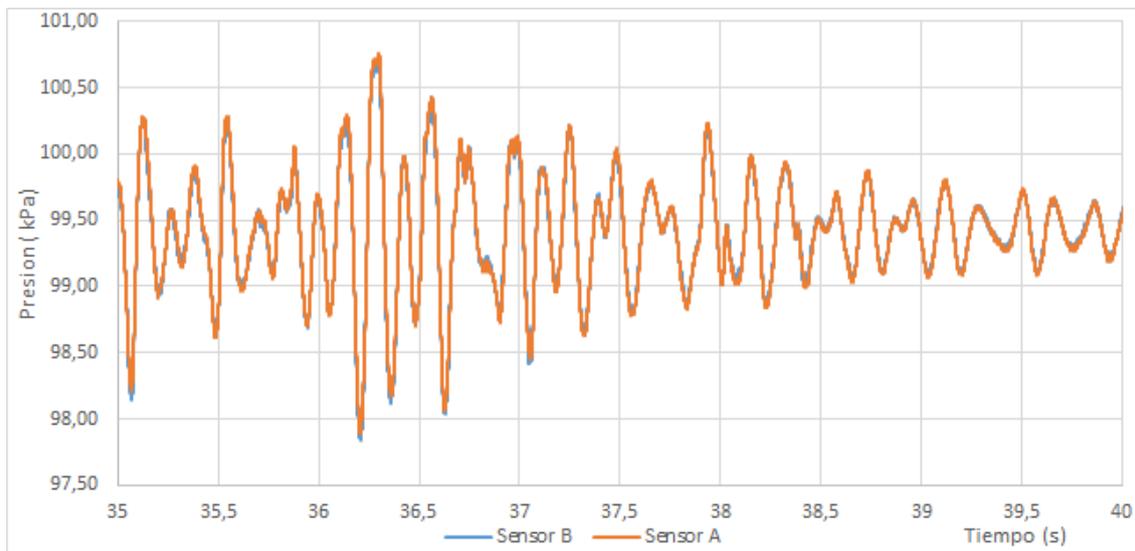


Figura 110. Presión Dinámica a 1000 Hz entre 35 y 40 s.

Se puede observar que las lecturas de ambos sensores tienen una muy buena superposición. En este caso se observa muy poca diferencia en un mismo punto entre las dos lecturas ya que la superposición es prácticamente completa en todos los sectores.

También se dispondrán de los gráficos referidos a las diferencias entre sensores comparados con uno de los mismos. Se muestran en la Figura 111 y la Figura 112.

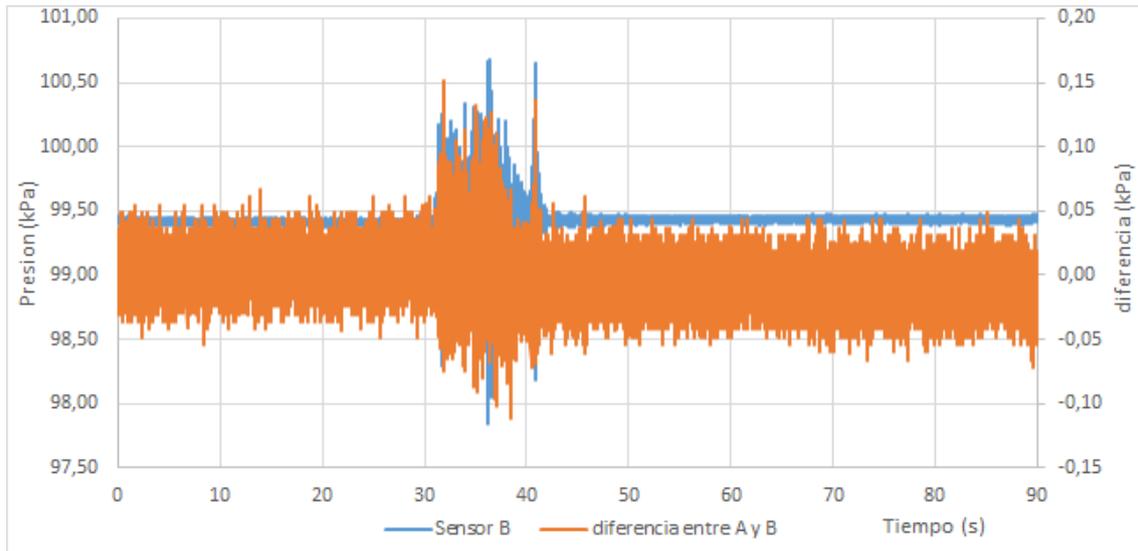


Figura 111. Presión Dinámica a 1000 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B.

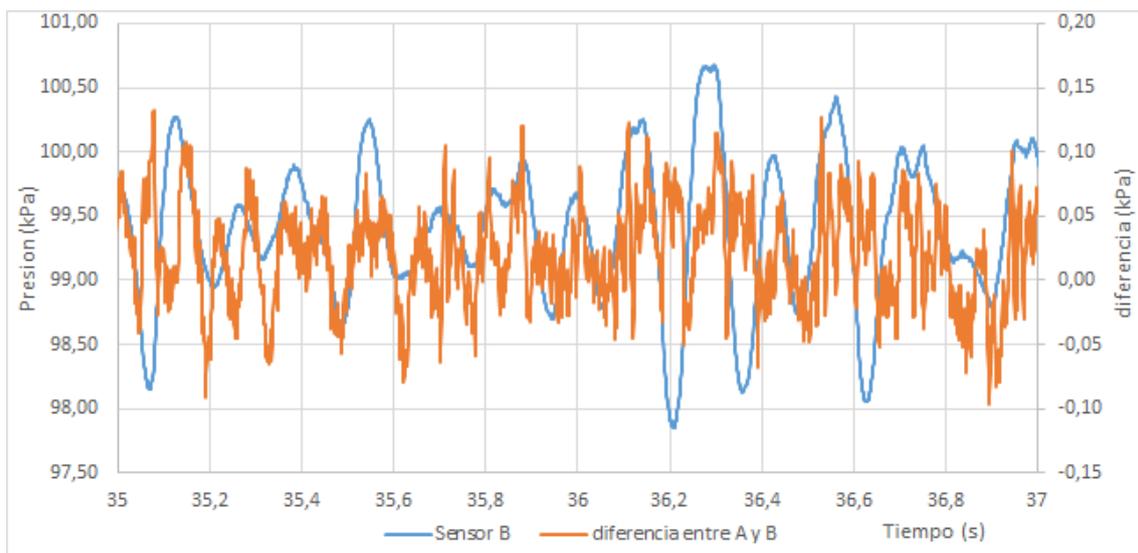


Figura 112. Presión Dinámica a 1000 Hz, Sensor B y diferencia entre A y B entre 35 y 37 s.

Las diferencias obtenidas entre sensores nos muestran una considerable dispersión por la gran cantidad de datos analizados: no existe una misma tendencia entre el aumento de las lecturas de un Sensor y las diferencias entre ambos. La máxima diferencia obtenida es de 0,11 kPa (1,12 cm), el cual corresponde a un valor de un orden mucho menor a los obtenidos en las mediciones anteriores.

Como se hizo en los casos anteriores, utilizamos la calibración correspondiente para cada sensor. En la Figura 113 se observa las lecturas de cada sensor calibradas en el tramo, los demás gráficos realizados no se ven modificados después de la calibración.

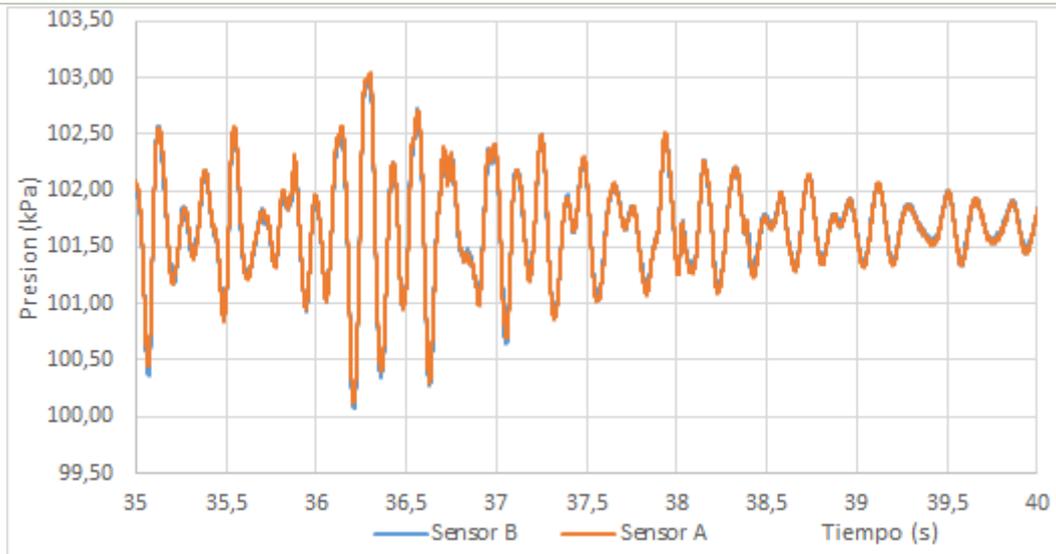


Figura 113. Presión Dinámica Calibrada a 1000 Hz entre 35 y 40 s.

En este caso la superposición de las lecturas es similar a las obtenidas en el gráfico sin calibración, la su vez se observa que han disminuido notablemente los valores finales después de la calibración, esto será más analizado en los resultados estadísticos.

A continuación se resumen los resultados de cada medición, donde mostraremos los desvíos y las máximas diferencias para cada frecuencia sin la calibración (Tabla 60) y luego con la calibración (Tabla 61).

Tabla 60. Desvíos y valores máximos en diferencias entre A y B.

Medición	Desvío (kPa)	Desvío (cm)	Max diferencia (kPa)
10 Hz	0,097	0,989	0,964
50 Hz	0,086	0,874	0,898
100 Hz	0,090	0,917	1,047
1000 Hz	0,019	0,190	0,110

Tabla 61. Desvíos y valores máximos en diferencias entre A y B calibradas.

Medición	Desvío (kPa)	Desvío (cm)	Max diferencia (kPa)
10 Hz	0,099	1,013	0,982
50 Hz	0,262	0,894	0,736
100 Hz	0,129	1,319	1,074
1000 Hz	0,014	0,145	0,054

Podemos observar en la primera tabla que el mayor desvío se obtiene a 10 Hz y el menor a los 1000 Hz los cuales se diferencian entre sí en 0,08 kPa (0,82 cm). La máxima diferencia se obtiene a los 100 Hz mientras que la menor en los 1000 Hz. Luego de la calibración los desvíos aumentan salvo en la medición a 1000 Hz. Para las máximas diferencias se puede observar que a 10 Hz y a 100 Hz aumentaron 0,2-0,28 cm en cambio las demás frecuencias disminuyeron en 0,58-1,65 cm.

A continuación se dispondrán en la Tabla 62 y la Tabla 63 los resultados estadísticos de las mediciones realizadas sin previa calibración y con la misma, respectivamente.

Tabla 62. Resultados Estadísticos Ensayo 16.

Ensayo 16		Media (kPa)		Desvío (kPa)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
10 Hz	0-90	99,409	99,409	0,165	0,164
	32-38	99,396	99,399	0,584	0,584
50 Hz	0-90	99,412	99,412	0,148	0,144
	30-35	99,407	99,399	0,491	0,479
100 Hz	0-90	99,415	99,415	0,150	0,146
	30-35	99,407	99,401	0,577	0,568
1000 Hz	0-90	99,425	99,425	0,143	0,139
	35-40	99,415	99,411	0,433	0,424

El desvío disminuye a medida que se aumenta la frecuencia o sea al aumentarse la cantidad de datos por medición. Los desvíos más bajos fueron obtenidos en las mediciones a 1000 Hz, los cuales se diferencian de la medición a 10 Hz en 0,22 cm y 0,26 cm para cada sensor. En cuanto a los sensores los resultados de menor valor fueron obtenidos por el Sensor B que se diferencia del Sensor A en 0,003 kPa (0,31 mm) y 0,004 kPa (0,41 mm). Los valores de las medias están en el orden de los 99,4 kPa.

Tabla 63. Resultados Estadísticos Calibrados Ensayo 16.

Ensayo 16		Media (kPa)		Desvío (kPa)	
Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
10 Hz	0-90 seg	101,674	101,674	0,168	0,169
	32-38 seg	101,661	101,663	0,595	0,600
50 Hz	0-90 seg	101,677	101,677	0,151	0,148
	30-35 seg	101,672	101,664	0,500	0,492
100 Hz	0-90 seg	101,679	101,679	0,152	0,151
	30-35 seg	101,671	101,665	0,588	0,584
1000 Hz	0-90 seg	101,685	101,684	0,145	0,143
	35-40 seg	101,675	101,676	0,442	0,436

Se puede observar cómo los resultados cambian notablemente después de realizar la calibración. Las medias prácticamente cambian en una misma medida de 2,26 kPa (22,5 cm).

Con respecto a los desvíos en la Tabla 64 se puede apreciar la variación lograda luego de la calibración para cada sensor.

Tabla 64. Variación de desvíos después de calibrar, Ensayo 16.

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Δ desvío (cm)	
		Sensor A	Sensor B
10 Hz	0-90 s	0,032	0,047
	32-38 s	0,114	0,166
50 Hz	0-90 s	0,029	0,041
	30-35 s	0,096	0,136
100 Hz	0-90 s	0,029	0,042
	30-35 s	0,112	0,161
1000 Hz	0-90 s	0,028	0,039
	35-40 s	0,084	0,120

Para ambos sensores el desvío aumento, las variaciones del Sensor A son menores a las del Sensor B.

Discusión de resultados dinámicos en Ensayo 16

Se puede concluir que los mejores resultados fueron obtenidos a 1000 Hz debido a que se tiene la mejor superposición en las lecturas de ambos sensores y los desvíos son los menores al igual que las diferencias entre los picos de ambas lecturas. El menor desvío se diferencia en 0,22 cm y 0,26 cm para sensor con respecto al mayor desvío obtenido en las lecturas a 10 Hz y a su vez la mayor diferencia entre las lecturas de ambos sensores se da para la medición a 100 Hz. Una vez realizada la calibración las medias aumentan prácticamente en la misma medida de 22,5 cm. Con respecto a cada sensor, ambos no se vieron modificados en gran medida los valores del desvío donde se vio un aumento en todos los casos siendo relativamente menor la variación del Sensor A, pero en un orden despreciable (0,3 mm Sensor A y 0,4 mm Sensor B). Para las diferencias entre los picos todos los desvíos aumentan su valor manteniéndose como el menor el obtenido a 1000 Hz, las máximas diferencias entre los picos aumentaron para los casos con mayor desvío en las diferencias (10 y 100 Hz) y disminuyeron para los casos con menor desvío en las diferencias (50 y 1000 Hz). Otro dato relevante fue la introducción de una unión en T en el ensayo, la cual genero una disminución notable en los desfases, en ensayos anteriores se obtuvieron desfases en casi todas las mediciones de hasta 0,04 s y en este caso una sola medición a 50 Hz en 0,02 s.

c. Ensayo 17: altura fija con ambos sensores a diferentes frecuencias a la vez

El siguiente ensayo consiste en realizar mediciones con ambos sensores a la vez mientras el tubo está sometido a un movimiento exterior. La particularidad de este ensayo es que cada sensor toma las lecturas a diferente frecuencia. Se utilizaron a 50, 100 y 1000 Hz. Se realizaron las siguientes mediciones para poder compararlas en cada sensor a diferentes frecuencias.

- c.1. 50 Hz (Sensor A) – 100 Hz (Sensor B)
- c.2. 50 Hz (Sensor B) – 100 Hz (Sensor A)
- c.3. 50 Hz (Sensor A) – 1000 Hz (Sensor B)
- c.4. 50 Hz (Sensor B) – 1000 Hz (Sensor A)

Se tomaron lecturas durante 10 minutos de los cuales los primeros 5 minutos se mantuvo de manera estática y los 5 minutos restantes con movimientos en el tubo. Luego de cada medición se expresan los resultados con la calibración correspondiente para cada sensor.

c.1. Mediciones a 50 y 100 Hz

Los resultados se expresan en la Figura 114, la Figura 115, la Figura 116, la Figura 117 y la Figura 118.

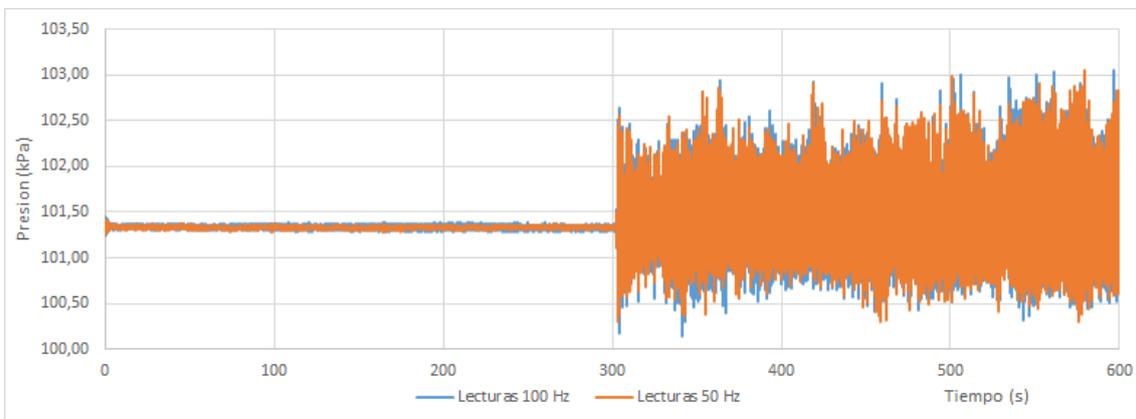


Figura 114. Lecturas a 100 Hz (Sensor B) y Lecturas a 50 Hz (Sensor A).

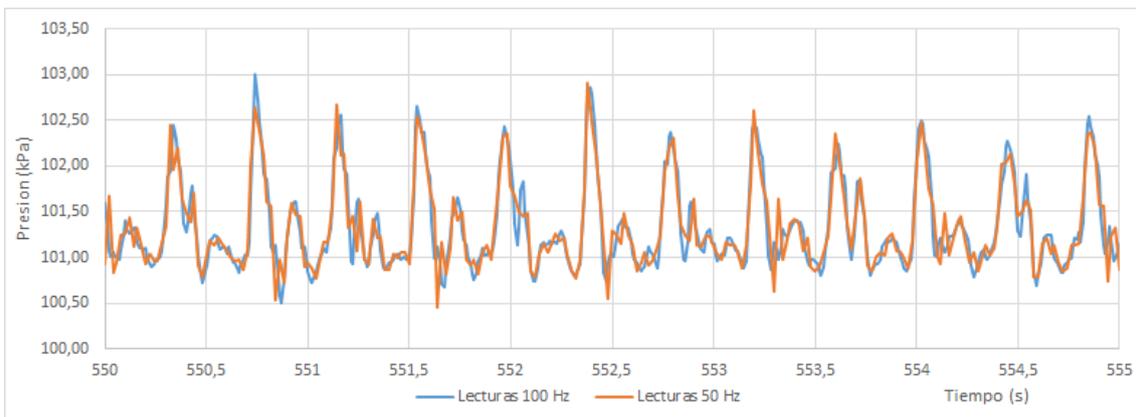


Figura 115. Lecturas a 100 Hz (Sensor B) y Lecturas a 50 Hz (Sensor A) entre 550 y 555 s.

Con respecto a las mediciones de ambos sensores se observa algo similar a las anteriores en 50-1000 Hz donde la superposición es muy buena. Se observa un desfase del Sensor B en 0,02 s.

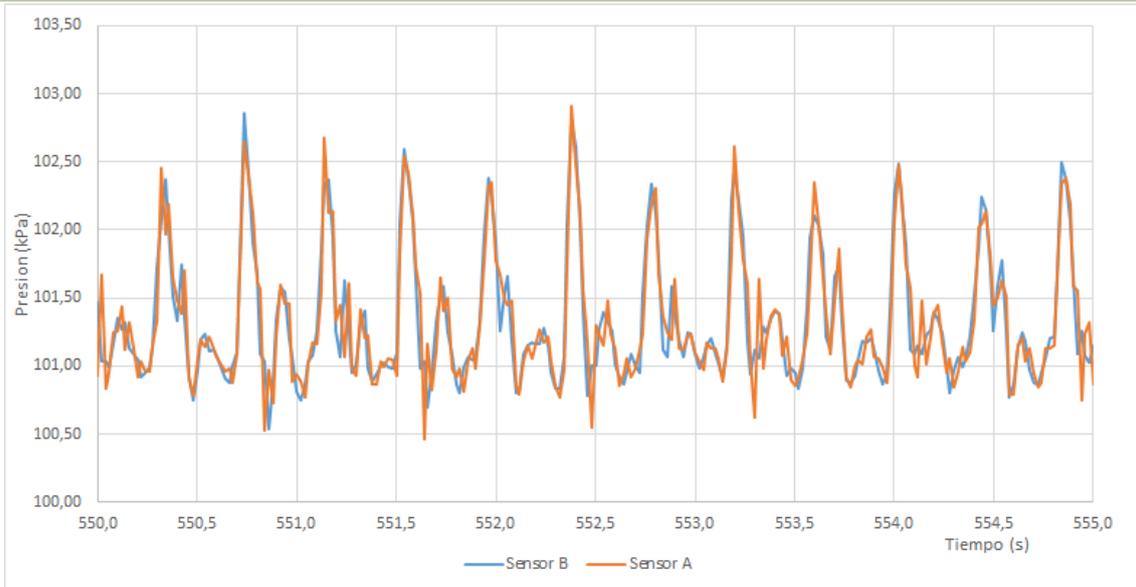


Figura 116. Lecturas a 50 Hz con ambos sensores.

La comparación entre ambas lecturas a 50 Hz nos da una buena aproximación entre las mismas. Se observa un desfase de 0,02 s del Sensor B (toma de datos con más demora) con respecto al Sensor A.

Se puede observar en las ultimas graficas que los picos de cada lectura coinciden en todos los puntos y los mayores se dan de manera variada en algunos casos en las lecturas a 100 Hz y en otros casos en las lecturas a 50 Hz

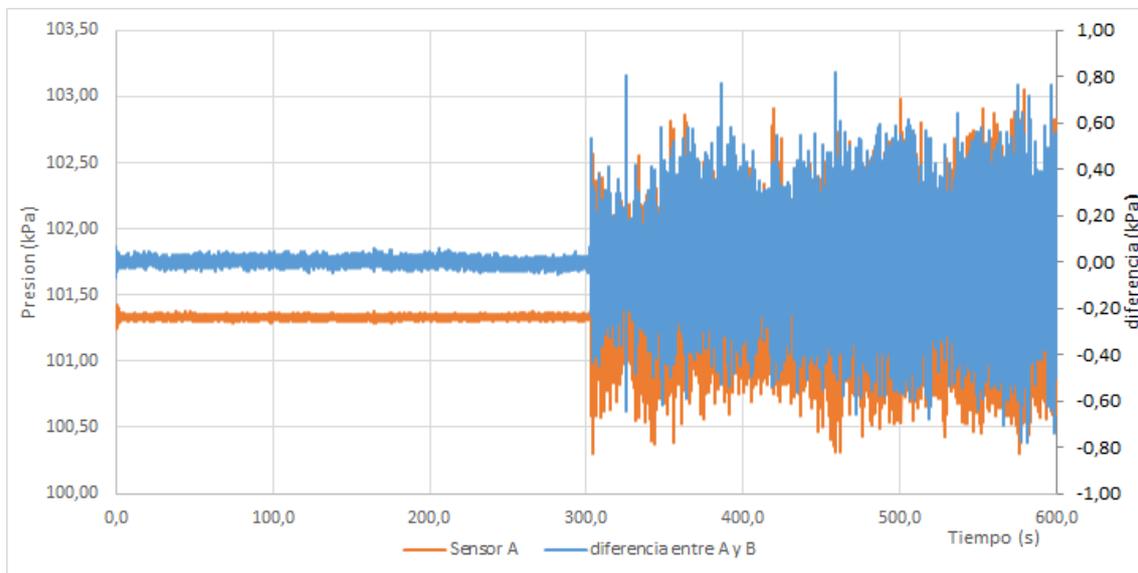


Figura 117. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz.

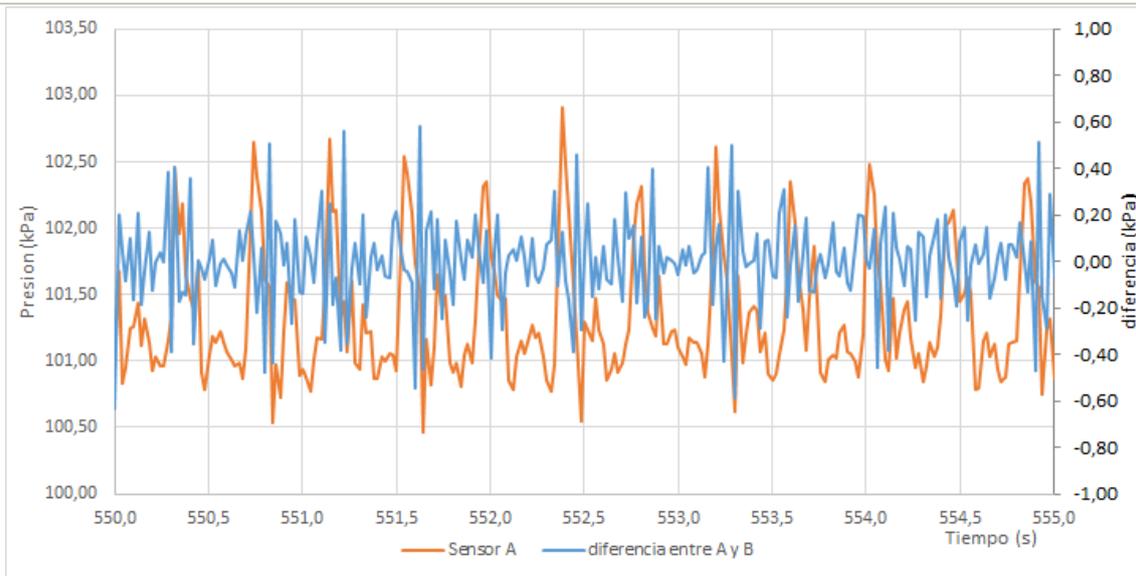


Figura 118. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz entre 550 y 555 s.

Se observa en este caso una mayor dispersión de los datos con respecto al caso anterior, y donde si tenemos una tendencia entre las lecturas ya que se aprecia como los picos de las diferencias tienden a seguir los aumentos de presión de las lecturas del Sensor A. En la Figura 119 y la Figura 120 se muestran los gráficos de lecturas en cada sensor a 50 Hz y las diferencias entre sensores comparadas con el Sensor A pero con las calibraciones correspondiente en cada lectura respectivamente. Con respecto a las lecturas de presión de cada sensor no se observan modificaciones después de la calibración donde los picos mantienen la superposición y varían en cuanto a cuál de las lecturas tiene el mayor valor. Se mantiene el desfase de 0,02 s del Sensor B con respecto al Sensor A.

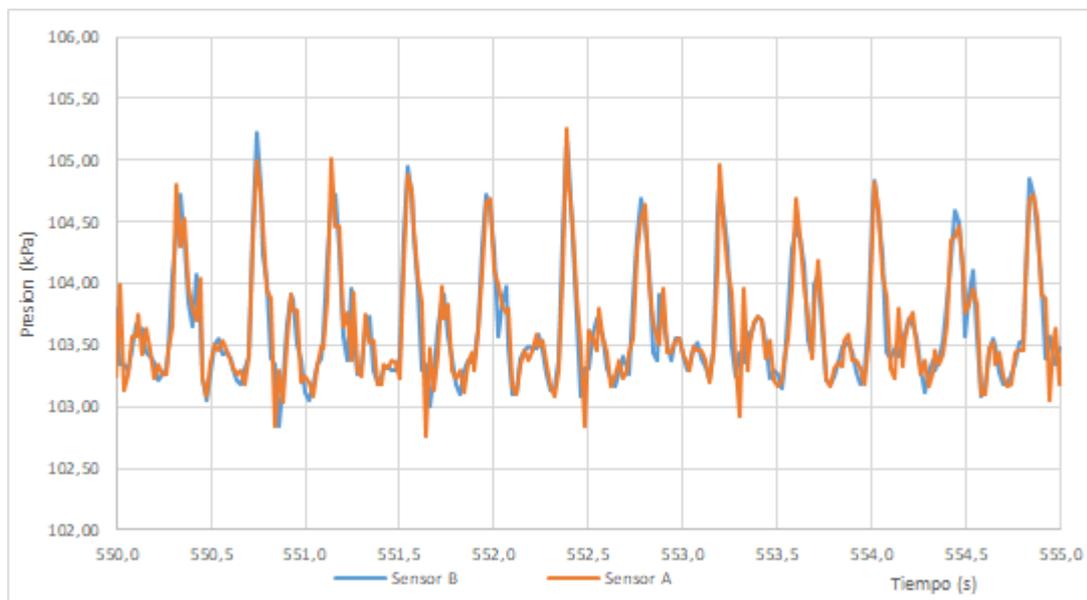


Figura 119. Lecturas Calibradas en ambos sensores a 50 Hz entre 550 y 555 s.

En las lecturas a 50 Hz no obtenemos modificaciones. La superposición de las lecturas y picos se mantiene al igual que el desfase de 0,02 s entre las lecturas.

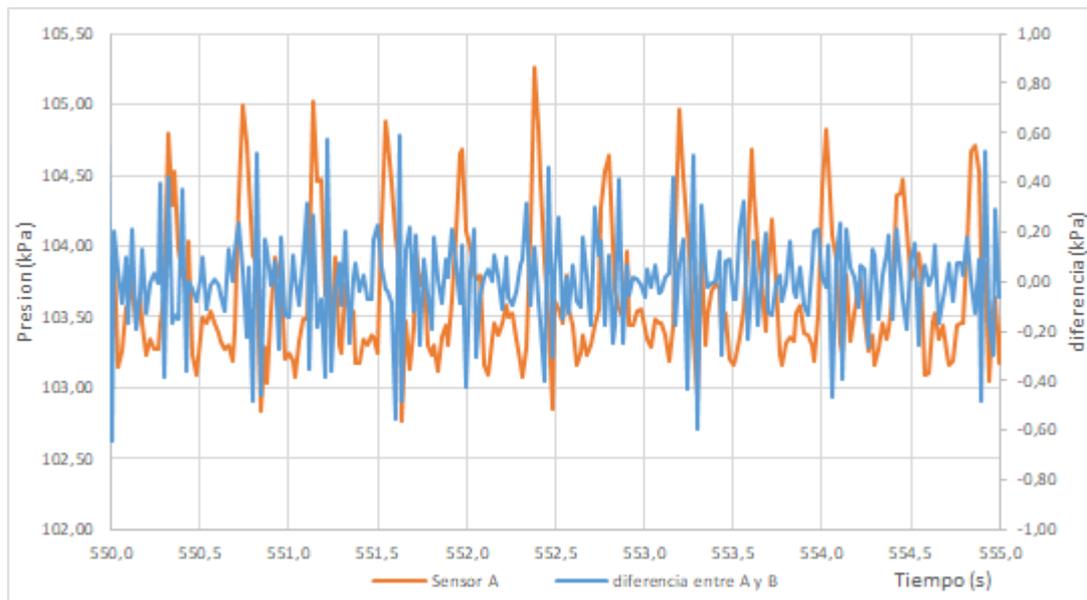


Figura 120. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz Calibradas entre 550 y 555 s.

En cuanto a las diferencias no obtenemos variaciones después de la calibración, se mantienen la dispersión de los resultados desde el punto de vista gráfico y los intervalos donde se generan las mayores diferencias (que van entre $\pm 0,6$ kPa).

c.2. Mediciones a 100 y 50 Hz

Se disponen los resultados desde la Figura 121 hasta la Figura 125.

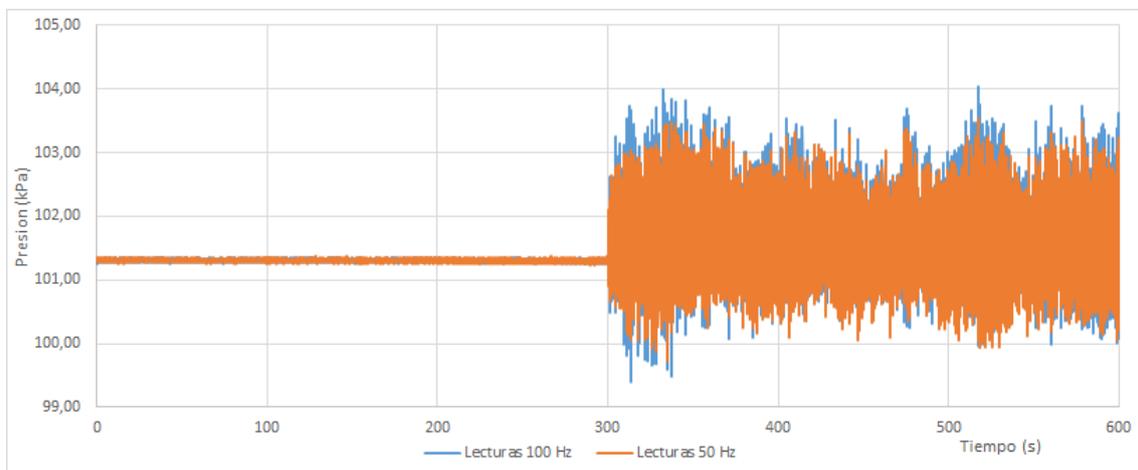


Figura 121. Lecturas a 100 Hz (Sensor A) y Lecturas a 50 Hz (Sensor B).

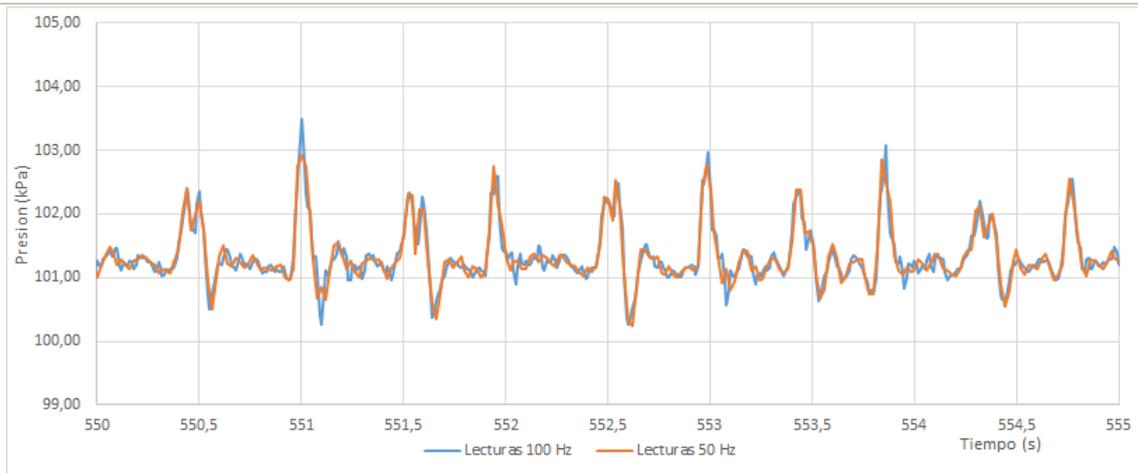


Figura 122. Lecturas a 100 Hz (Sensor A) y Lecturas a 50 Hz (Sensor B) entre 550 y 555 s.

Con respecto a las lecturas con ambos sensores se puede observar una buena superposición entre las mismas en toda la medición. Los mayores picos se aprecian para las lecturas de 100 Hz. Se genera un desfase de 0,02 s del Sensor B con respecto al Sensor A.

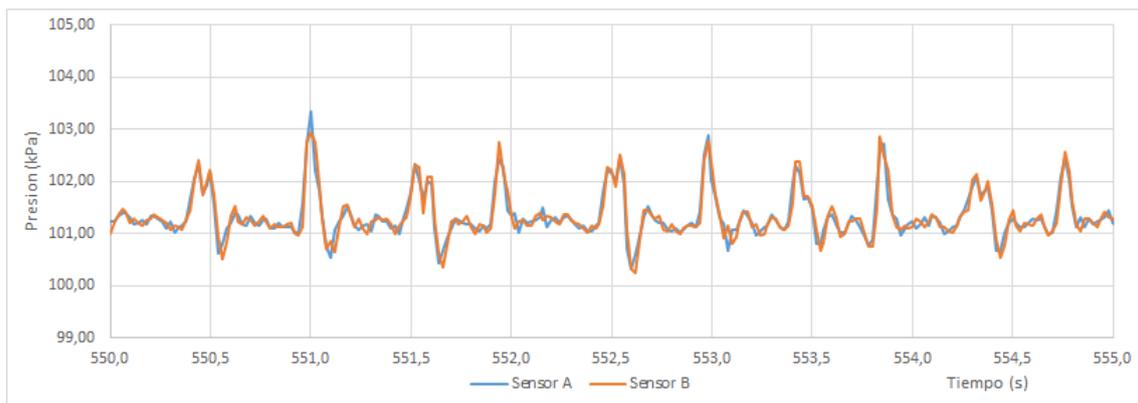


Figura 123. Lecturas a 50 Hz para ambos sensores.

En las lecturas a 50 Hz para ambos sensores se aprecia una buena superposición, donde los picos de mayor valor son de las lecturas a 100 Hz. El desfase es de 0,02 s del Sensor B con respecto al Sensor A.

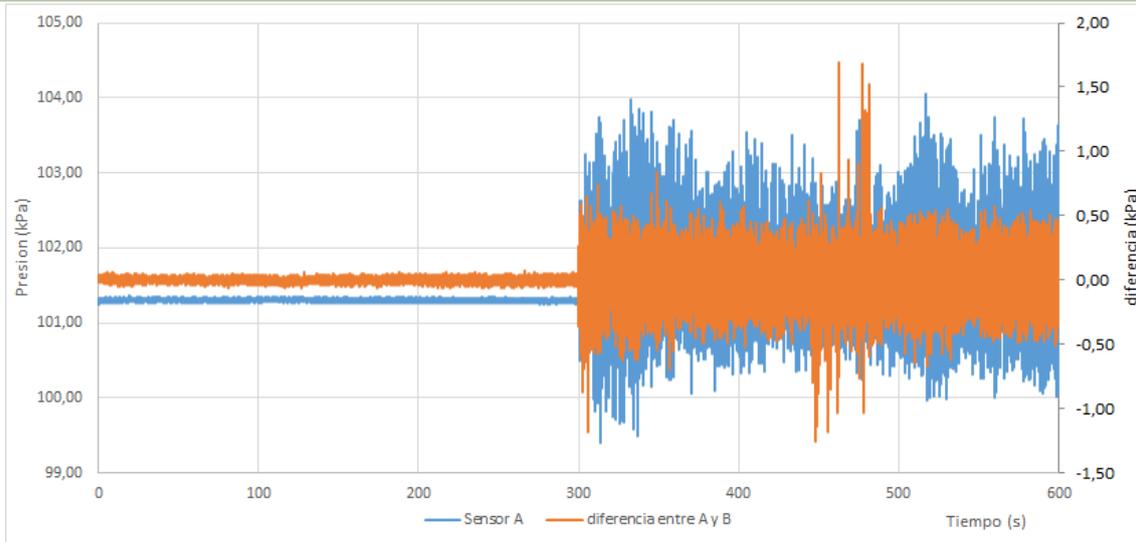


Figura 124. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz.

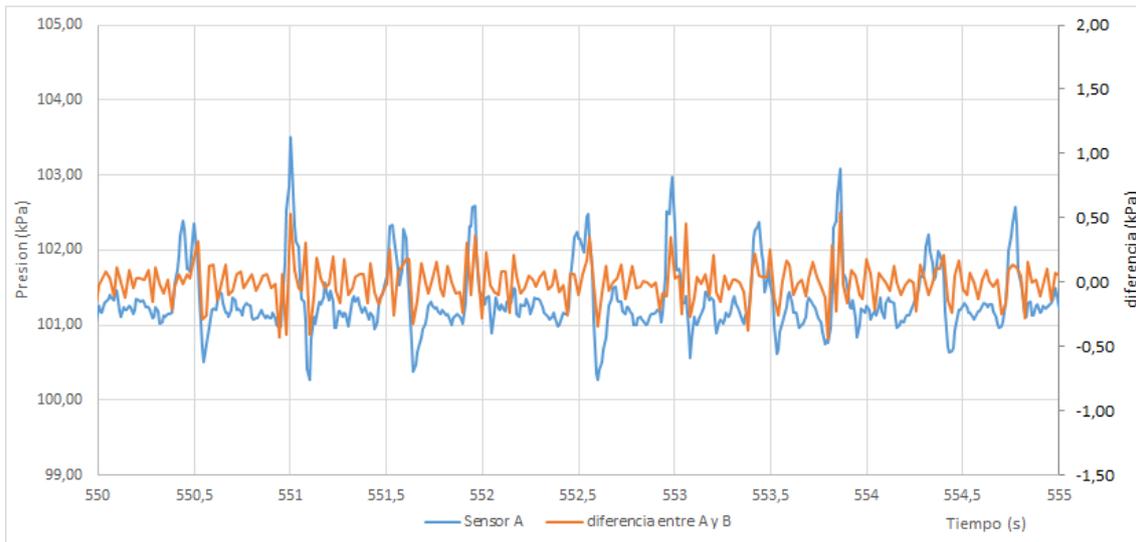


Figura 125. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz entre 550 y 555 s.

En el caso de las diferencias tienen una menor dispersión con respecto a las mediciones anteriores (los valores están comprendidos entre $\pm 0,5$ kPa), observándose unos picos aislados entre los 360 y 370 s. No hay una tendencia relevante entre las lecturas del Sensor A y las diferencias entre ambos sensores.

En la Figura 126 y Figura 127 se muestra algunos de los resultados calibrados de la medición anterior (lecturas a 50 Hz para cada sensor y diferencias entre ambos).

Las lecturas de presión en cada sensor no han sufrido modificaciones después de la calibración, se mantiene la superposición y los picos de mayor valor se observan para las lecturas de 100 Hz. El desfase es el mismo después de la calibración (0,02 s del Sensor B respecto del Sensor A).

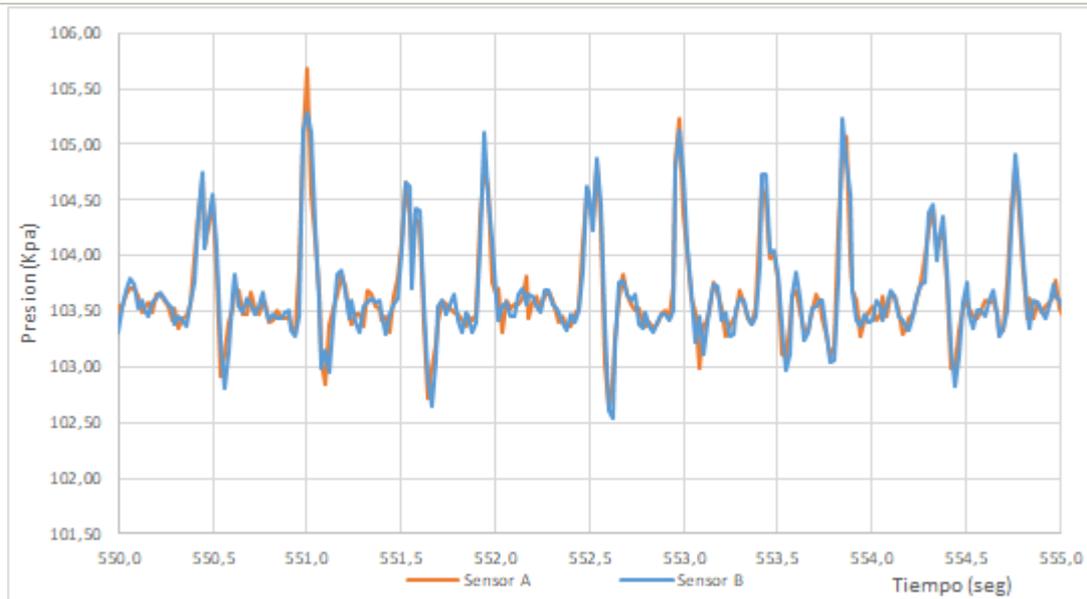


Figura 126. Lecturas a 50 Hz Calibradas para ambos sensores.

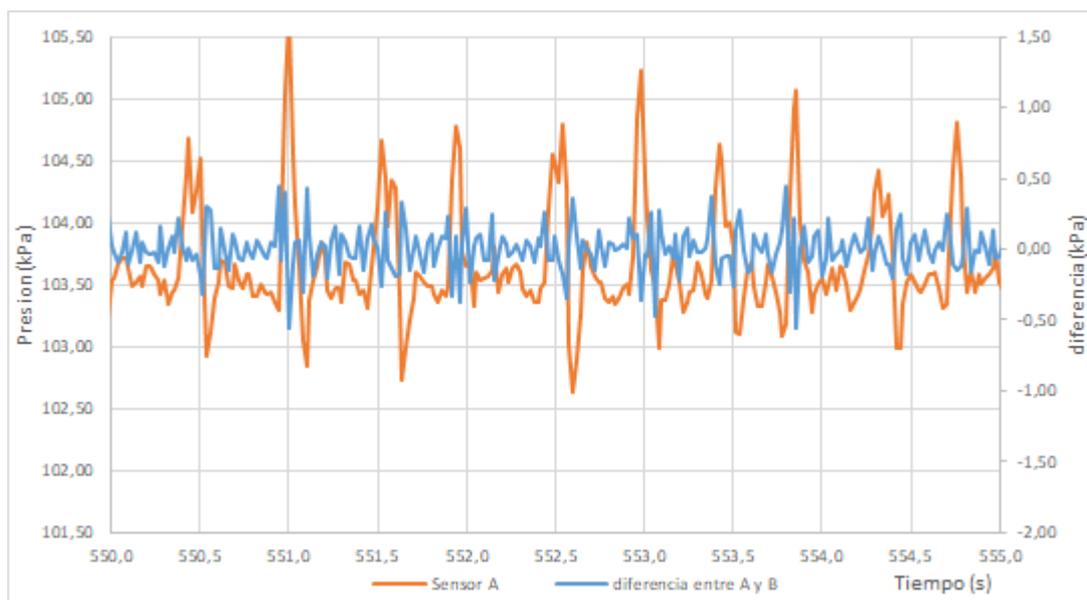


Figura 127. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz Calibradas entre 550 y 555 s.

Con respecto a las diferencias entre ambas lecturas a 50 Hz podemos observar que la dispersión aumento después de la calibración, donde las variaciones están en ± 1 kPa. No tienen una misma tendencia los resultados como en casos anteriores vistos.

c.3. Mediciones a 50 y 1000 Hz

Se muestran en la Figura 128 y Figura 129 las lecturas de cada sensor a diferentes frecuencias para el tramo de 600 s y para 5 s, las lecturas a 50 Hz para ambos sensores se observa en Figura 130 para el mismo tramo de 5 s usado. Por último, las diferencias entre ambas lecturas

a 50 Hz en el tramo total y en los 5 s se observan en la Figura 131 y la Figura 132, respectivamente.

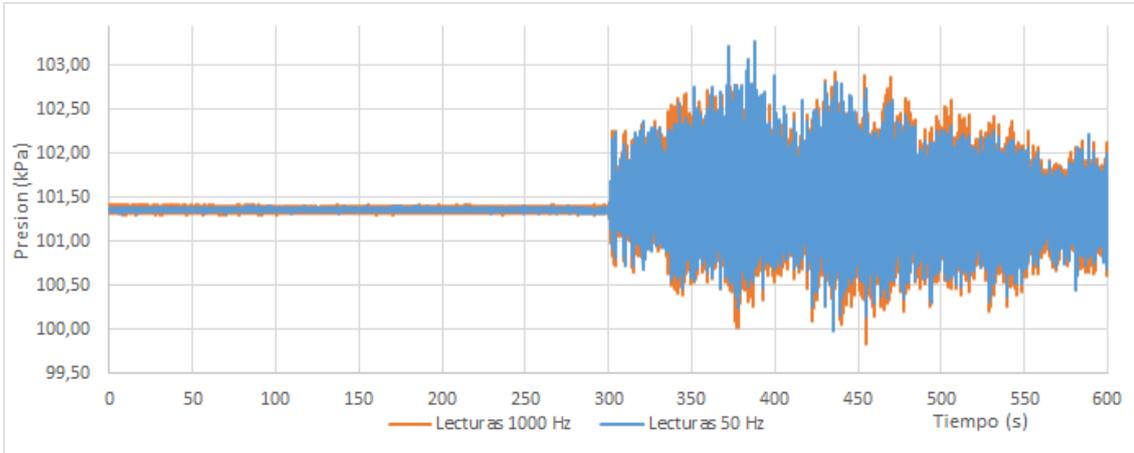


Figura 128. Lecturas a 50 Hz (Sensor A) y Lecturas a 1000 Hz (Sensor B).

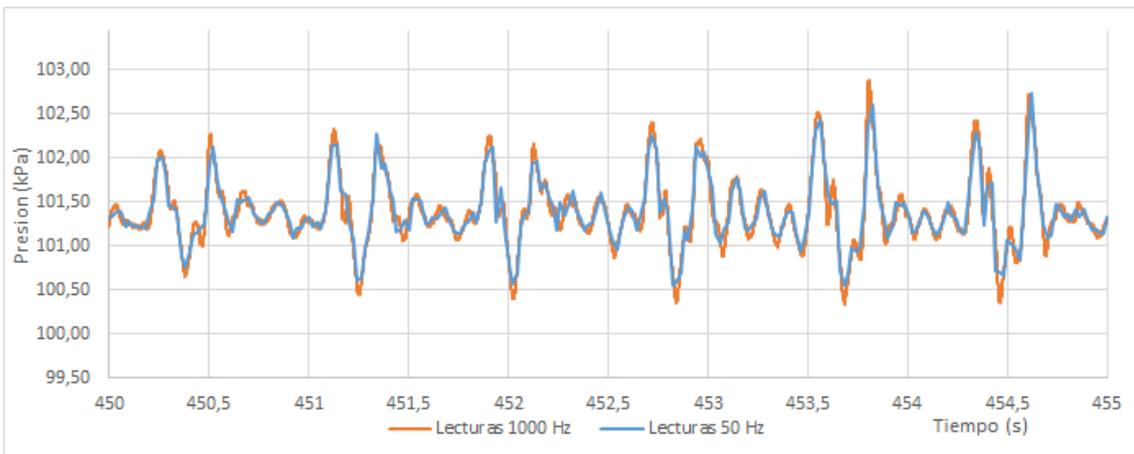


Figura 129. Lecturas a 50 Hz (Sensor A) y lecturas a 1000 Hz (Sensor B) entre 450 y 455 s.

Se puede observar que las lecturas tienen una muy buena superposición entre sí en todo el tramo de análisis, donde se aprecia que los mayores picos son en las lecturas a 1000 Hz ya que gráficamente tienen un valor levemente mayor a las lecturas a 50 Hz. Se observó un desfase de 0,02 s en el Sensor B con respecto a las lecturas del Sensor A.

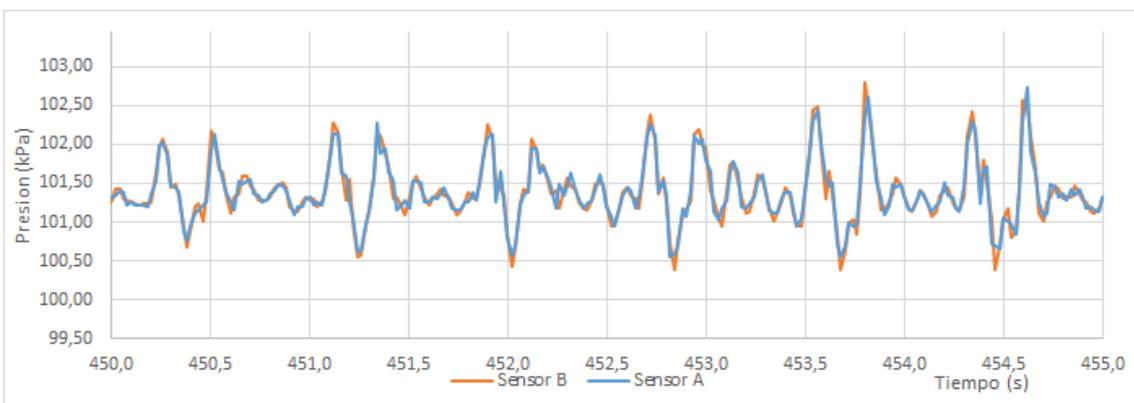


Figura 130. Lecturas a 50 Hz para ambos sensores entre 450 y 455 s.

En la comparación entre ambas lecturas a 50 Hz se observa una buena tendencia entre ambas lecturas donde en la mayoría de los puntos sobresalen los valores de las lecturas tomadas con el Sensor B a 1000 Hz (que luego fueron promediadas para obtener una señal a 50 Hz). El desfase se mantuvo a 0,02 s entre las lecturas.

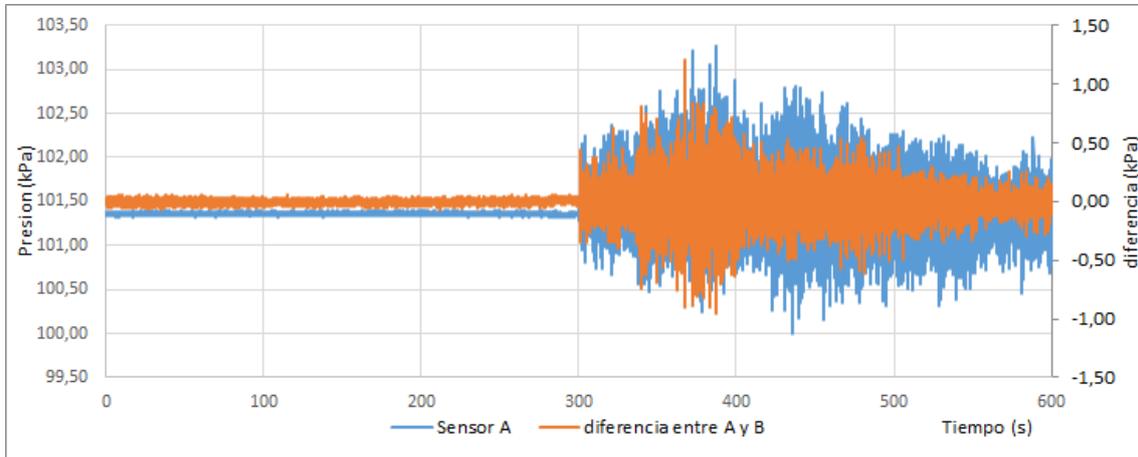


Figura 131. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz.

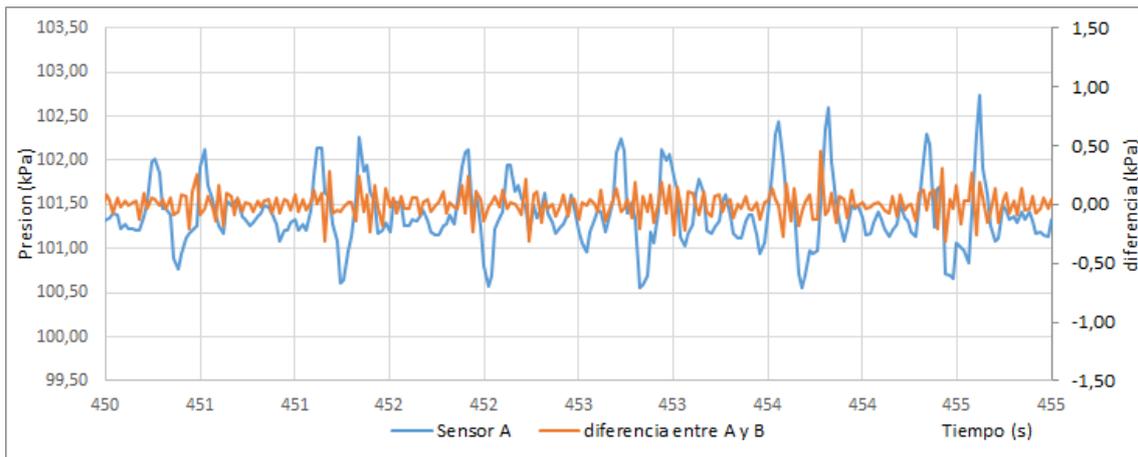


Figura 132. Sensor A y diferencia entre A y B a 50 Hz entre 450 y 455 s.

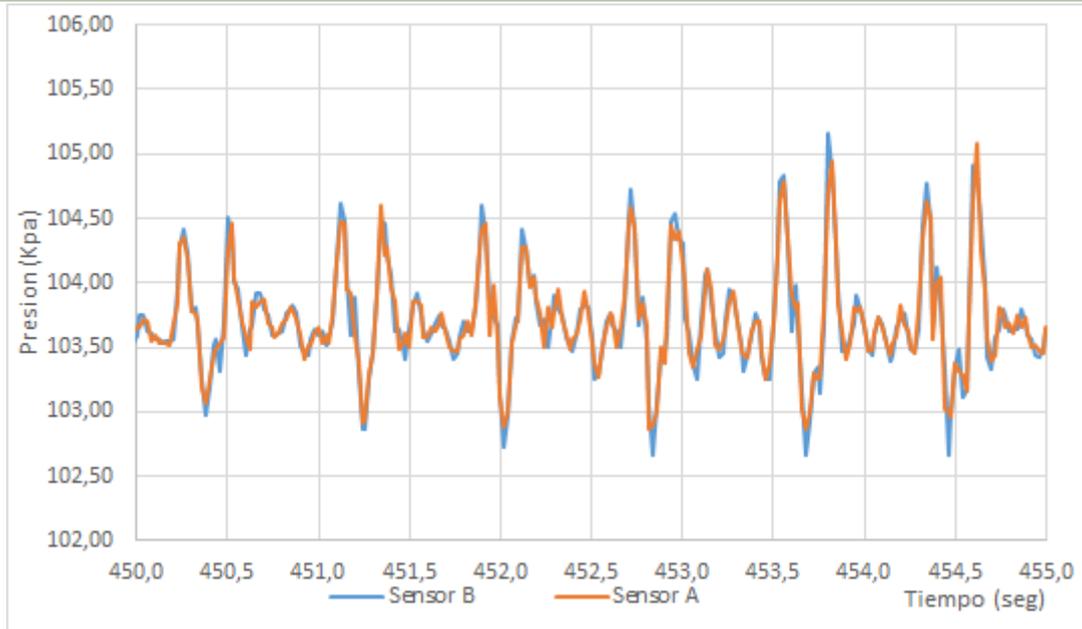


Figura 133. Lecturas a 50 Hz Calibradas para ambos sensores entre 450 y 455 s.

Las comparaciones entre las lecturas a 50 Hz permanecen prácticamente igual donde las lecturas en el Sensor B a 1000 Hz son las mayores en casi la totalidad de los puntos. En cuanto a la diferencias entre ambos sensores no hay modificaciones muy relevantes después de la calibración.

La calibración no generó grandes modificaciones en cuanto a la superposición de los valores o las tendencias entre una lectura y otra, pero si modifico en gran medida los valores finales de cada medición, los mismos se verán mejor en los resultados estadísticos al final de la descripción del ensayo.

c.4. Mediciones a 1000 y 50 Hz

en las siguientes mediciones se consiguió tomar datos hasta 1,46 segundos con el Sensor B por algún inconveniente en el software, por lo que todos los resultados se expresaran en ese tiempo para ser comparables entre ambas lecturas. Se muestran en la Figura 134, la Figura 135 y la Figura 136.

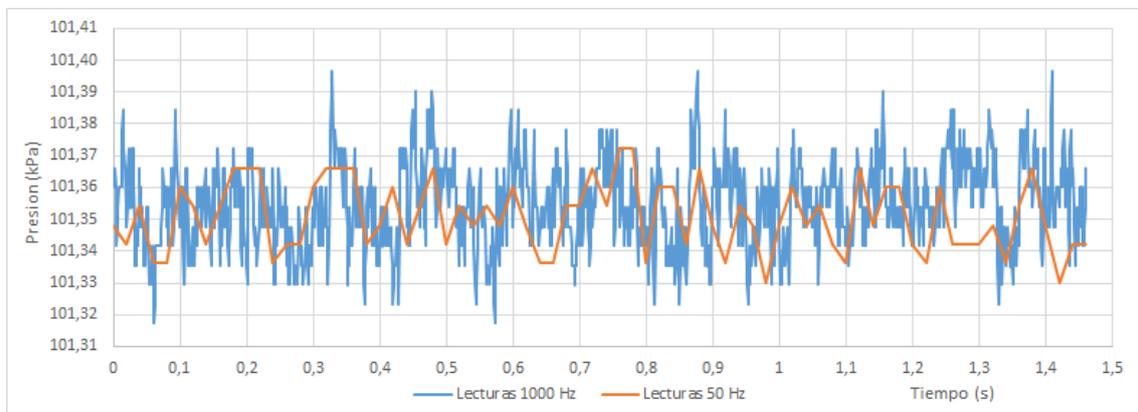


Figura 134. Lecturas a 1000 Hz (Sensor A) y Lecturas a 50 Hz (Sensor B).

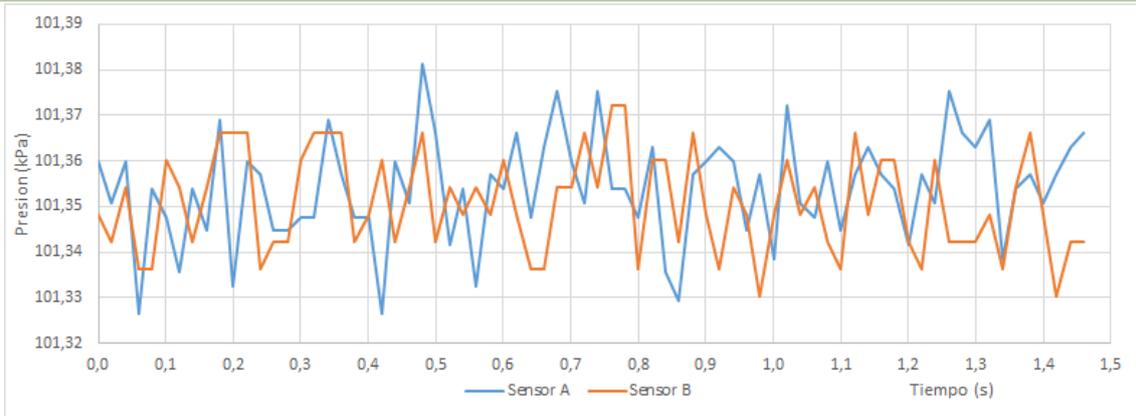


Figura 135. Lecturas a 50 Hz para ambos sensores.

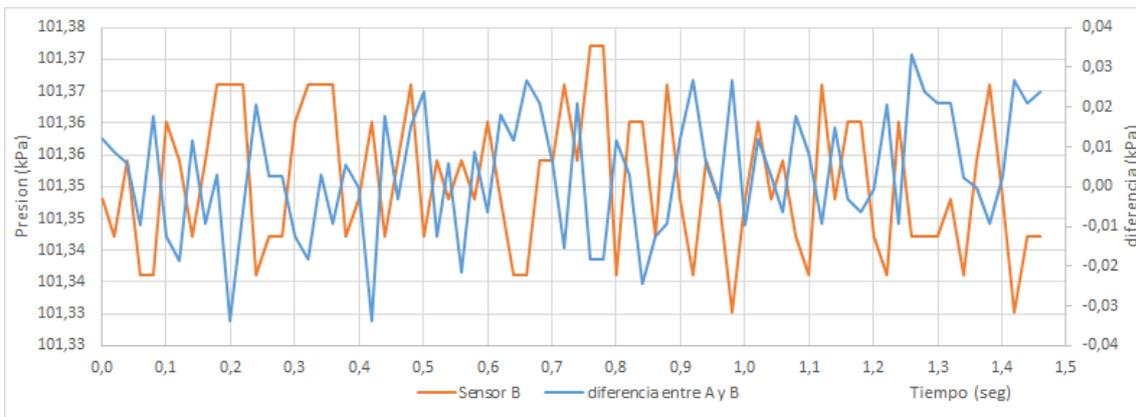


Figura 136. Sensor A y diferencia entre A y B.

Después de realizada la calibración en ambas lecturas no se observan variaciones con respecto a los resultados gráficos por lo que no se expresan nuevamente las lecturas calibradas. Se analizará en los resultados estadísticos.

Resultados estadísticos

Se procede a realizar una comparación en las lecturas de las diferencias con y sin la calibración correspondiente, se calculan los desvíos y las máximas diferencias entre las lecturas a 50 Hz para cada medición en el tramo total y en el tramo de 5 s. En la Tabla 65 se exponen los resultados de cada medición y en la Tabla 66 los obtenidos luego de la calibración correspondiente.

Tabla 65. Desvíos y Máxima diferencia en cada medición.

	50-100 Hz		100-50 Hz		50-1000 Hz	
	0-600 s	550-555 s	0-600 s	550-555 s	0-600 s	450-455 s
Desvío (cm)	0,116	0,197	0,114	0,151	0,083	0,111
Max diferencia (kPa)	0,818	0,631	1,696	0,538	1,202	0,453

Tabla 66. Desvíos y Máxima diferencia en cada medición Calibrada

	50-100 Hz		100-50 Hz		50-1000 Hz	
	0-600 s	550-555 s	0-600 s	550-555 s	0-600 s	450-455 s
Desvío (cm)	0,118	0,202	0,117	0,155	0,086	0,114
Max diferencia (kPa)	0,833	0,587	1,286	0,442	1,232	0,474

Se puede observar que los resultados disminuyen después de la calibración, los desvíos en 0,003 kPa (0,306 mm) para todas las mediciones. Con respecto a las máximas diferencias se mantienen en las mediciones a 100-50 Hz y disminuye en 0,4 kPa (4,2 cm).

Ahora se realiza una comparación entre las lecturas a 50 Hz obtenidas en cada medición por un sensor y las promediadas para obtener una a 50 Hz, de 1000 a 50 y 100 a 50. Los resultados se expresan en la Tabla 67 y en la

Tabla 68 con la calibración correspondiente para cada lectura se realizó en los siguientes sensores el promedio de datos Sensor B en 50-100Hz, Sensor A en 100-50 Hz y Sensor B en 50-1000 Hz.

Tabla 67. Resultados estadísticos de ambos en sensores a 50 Hz.

	100 a 50 Hz		100 a 50 Hz		1000 a 50 Hz	
	50-100 Hz		100-50 Hz		50-1000 Hz	
	0-600 s	550-555 s	0-600 s	550-555 s	0-600 s	450-455 s
	Sensor B	Sensor B	Sensor A	Sensor A	Sensor B	Sensor B
Media (kPa)	101,338	101,324	101,332	101,340	101,379	101,394
Desvío (kPa)	0,263	0,439	0,310	0,487	0,244	0,399

Tabla 68. Resultados estadísticos de ambos sensores a 50 Hz calibrados.

	100 a 50 Hz		100 a 50 Hz		1000 a 50 Hz	
	50-100 Hz		100-50 Hz		50-1000 Hz	
	0-600 s	550-555 s	0-600 s	550-555 s	0-600 s	450-455 s
	Sensor B	Sensor B	Sensor A	Sensor A	Sensor B	Sensor B
Media (kPa)	103,657	103,648	103,650	103,657	103,698	103,714
Desvío (kPa)	0,271	0,478	0,316	0,439	0,251	0,410

Se puede observar que los mayores desvíos son de las mediciones 100-50 Hz y después de la calibración aumentan en 0,06 cm, el menor desvío se aprecia en las mediciones a 50-1000 Hz ya que se promedian mayor cantidad de datos y se amortiguan los picos, luego de la calibración aumenta su valor en 0,07 cm. La media tiene un valor similar en cada medición, pero luego de la calibración aumentan su valor en 2,3-2,32 kPa (23-23,5 cm).

Para finalizar con el desarrollo del ensayo se realiza el análisis estadístico de todas las mediciones tomadas con cada sensor a las diferentes frecuencias. En la Tabla 69 se expresan los resultados medidos y en la Tabla 70 con la calibración correspondiente a cada sensor, notar que

en estas tablas no tienen realizados los correspondientes promedios como en las tablas anteriores. En la primera columna se designa como 50-100 Hz que se refiere a las mediciones a 50 Hz con Sensor A y 100 Hz con Sensor B y así sucesivamente.

Tabla 69. Resultados estadísticos ensayo 17.

Ensayo 17		Media (kPa)		Desvío (kPa)	
Frecuencias (Hz)	Tiempo (s)	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
50-100 Hz	0-600	101,338	101,338	0,261	0,270
	550-555	101,331	101,330	0,466	0,476
100-50 Hz	0-600	101,332	101,332	0,319	0,328
	550-555	101,341	101,340	0,444	0,454
50-1000 Hz	0-600	101,379	101,379	0,232	0,244
	450-455	101,394	101,396	0,375	0,398
	0-1,46	101,378	101,367	0,009	0,015
1000-50 Hz	0-1,46	101,27	101,351	0,0132	0,011

Tabla 70. Resultados estadísticos calibrados ensayo 17.

Ensayo 17		Media (kPa)		Desvío (kPa)	
Frecuencias (Hz)	Tiempo (s)	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
50-100 Hz	0-600	103,657	103,657	0,266	0,277
	550-555	103,649	103,649	0,475	0,489
100-50 Hz	0-600	103,650	103,650	0,325	0,337
	550-555	103,659	103,658	0,452	0,467
50-1000 Hz	0-600	103,698	103,698	0,236	0,251
	450-455	103,714	103,716	0,382	0,409
	0-1,46	103,698	103,686	0,009	0,015
1000-50 Hz	0-1,46	103,217	103,67	0,0134	0,011

En la Tabla 71 se observan las variaciones obtenidas en los desvíos después de realizada la calibración.

Tabla 71. Diferencia de los desvíos entre mediciones calibradas y sin calibrar.

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Δ desvío (cm)	
		Sensor A	Sensor B
50-100	0-600	0,051	0,077
	550-555	0,091	0,135
100-50	0-600	0,062	0,093
	550-555	0,086	0,129
50-1000	0-600	0,045	0,069
	450-455	0,073	0,113

Por último se realiza una comparación de los desvíos entre: los obtenidos anteriormente donde se bajó la frecuencia de las lecturas a 50 Hz mediante el promedio de los valores y con las lecturas conseguidas con la función buscar en Excel. Se analizó el tramo total de 600 seg y luego

un tramo de los primeros 130 s donde la columna de agua se mantenía sin movimientos. Los resultados se muestran en Tabla 72 y Tabla 73.

Tabla 72. Desvíos en kPa para 50 Hz en cada medición con el tramo total.

Frecuencia (Hz)	Promedio		Buscar		Sin filtrar
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	
50-100	0,261	0,277	0,261	0,270	0,270
100-50	0,325	0,328	0,319	0,328	0,319
50-1000	0,232	0,251	0,232	0,244	0,244

Tabla 73. Desvíos en kPa para 50 Hz en 130 s

Frecuencia (Hz)	Promedio		Buscar		Sin filtrar
	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	
50-100	0,0097	0,0103	0,0097	0,0132	0,0132
100-50	0,0086	0,0136	0,0111	0,0136	0,0112
50-1000	0,0090	0,0057	0,0090	0,0129	0,0128

Se puede observar que con las distintas alternativas los desvíos obtenidos son similares con una diferencia muy baja entre 0,004 kPa a 0,01 kPa para el tramo total. Las mayores variaciones se observan realizando los promedios de las lecturas, para el tramo de 130 s los desvíos disminuyen en mayor orden para la última medición en 0,007 kPa para las demás mediciones la variación es de 0,003 kPa. Con la función buscar los valores se mantienen constantes.

Discusión de resultados dinámicos en Ensayo 17

En las mediciones realizadas con distintas frecuencias (c.3.) se empezó con a 50-1000 Hz (Figura 128 a Figura 132) y puede observar que las lecturas tienen una muy buena superposición entre sí en todo el tramo de análisis, donde se aprecia que los mayores picos son en las lecturas a 1000 Hz ya que gráficamente tienen un valor levemente mayor a las lecturas a 50 Hz, en la comparación entre ambas lecturas a 50 Hz se observa una buena tendencia entre ambas lecturas donde en la mayoría de los puntos sobresalen los valores de las lecturas tomadas con el Sensor B a 1000 Hz que luego fueron promediadas para obtener una señal a 50 Hz, con respecto a las diferencias se aprecia una buena aproximación entre las lecturas y se puede observar como las diferencias vistas gráficamente tienen una baja dispersión de los datos dejando en mayor evidencia los picos de la lectura a 50 Hz con el Sensor A, no se aprecia una misma tendencia entre ambas lecturas como ocurría en el ensayo anterior que los aumentos de las diferencias entre ambos sensores eran proporcionales a el aumento de las presiones tomadas por un sensor. En las demás mediciones se obtienen los mismos resultados desde el análisis gráfico, con alguna modificación notable en la medición 50-100 Hz (Figura 114 a Figura 118) donde las diferencias entre las lecturas tienen una mayor dispersión y se genera una tendencia entre las mismas y las lecturas del Sensor A, después de realizada la calibración no se aprecian variaciones relevantes en los distintos gráficos nombrados recientemente.

Con respecto a los resultados estadísticos (Tabla 69) comenzando por las diferencias entre ambas lecturas se puede observar que los desvíos son menores en las mediciones de 50-1000 Hz, ya que en este caso se promedian más cantidad de datos (20 a 1) con respecto a las demás y se disminuyen las desviaciones, esto ocurre para el tramo de 600 y 5 s, en cuanto a las máximas diferencias entre las lecturas las mayores se dan en las mediciones de 100-50 Hz, con la calibración se disminuyen los desvíos en todas las mediciones en un valor irrelevante y la máxima diferencia se mantiene en la misma medición disminuyendo 4,2 cm el punto máximo y 1 cm en la mayoría del tramo, en las demás mediciones disminuyen aproximadamente en 0,05 kPa (0,5 cm). En tanto para las lecturas de presión con ambos sensores se aprecia que los mayores desvíos son de la medición 100-50 Hz y los menores en las mediciones 50-1000 Hz. Entre ambos sensores los desvíos varían entre 0,1-0,2 cm, las medias son muy similares en cada medición entre ambos sensores y con respecto a las demás mediciones varían en 0,31-0,62 cm, donde los valores más relevantes se encuentran en la última medición. Después de realizada la calibración se observa como todos los valores disminuyen (Tabla 70), los desvíos en mayor proporción para el caso del Sensor A los cuales varían entre 0,045-0,062 cm, para el caso del Sensor B disminuyen en 0,07-0,093 cm lo que representa valores muy bajos para ambos casos y las medias aumentan en 23,5-23,6 cm comparada con respecto a las mediciones sin calibración. La diferencia en cada medición entre sensores se mantiene. A su vez se puede comparar las variables de cada medición en las lecturas que se promediaron a 50 Hz con los resultados sin dichos promedios para el mismo sensor utilizado (Tabla 67), se observa como los desvíos aumentan en la primera y tercera medición debido al promedio de datos, en la primera medición en 0,049 cm, la tercera en 0,151 cm a su vez la segunda medición disminuye su valor en 0,097 cm, la media se mantiene prácticamente igual luego del promedio de datos. Después de la calibración se observa que los desvíos aumentan en los tres casos después de realizado los promedios, aunque en la última medición de manera insignificante (0,001 cm), en la primera medición aumenta en 0,063 cm y en la segunda en 0,21 cm, la media no se modificó luego de los promedios. También se incluyó en los resultados estadísticos la comparación entre la medición en 1000-50 Hz que solo pudo tomar datos hasta 1,46 s, donde se observa que en Sensor A tiene mayor diferencia en la media donde los datos tomados a 50 Hz son mayores a los tomados en 1000 Hz en 10,2cm, para el Sensor B son muy similares para cada frecuencia, los desvíos son similares en ambos casos con una diferencia de 0,04 cm; después de realizada la calibración los desvíos no sufren modificaciones y las medias se incrementan en 25,5 cm.

Los desvíos son similares con las dos metodologías utilizadas para reducir las frecuencias a 50 Hz en cada caso.

Otro dato a tener en cuenta es que se observó un desfasaje de 0,02 seg en el Sensor B que tomo las lecturas a 1000 Hz, en estas mediciones también se midió con una T como en el ensayo anterior.

4.5. Resultados en el Modelo Físico “Dique los Alazanes”

Se expresan los resultados gráficos y estadísticos de las mediciones realizadas en todas las tomas con ambos sensores.

En la Tabla 74 podemos observar las lecturas de presiones atmosféricas tomadas al inicio y final con ambos sensores, con estas obtenemos las ordenadas y pendientes para cada uno.

Tabla 74. Presiones atmosféricas iniciales y finales tomadas en el modelo.

RECTA ATMOSFÉRICA	Sensor A	Sensor B
Atmosférica Inicial (10:00hs)	96,78896	97,20084
Atmosférica Final (18:00 hs)	96,30561	96,71749
Milisegundos de diferencia	28800000	28800000
Ordenada	96,78896	97,20084
Pendiente	-1,68E-08	-1,6783E-08

A continuación en Tabla 75 se muestra un resumen de las seis mediciones realizadas, donde se observa con que sensores se midió en cada toma y con los resultados estadísticos de cada lectura. Los tiempos iniciales de cada medición representan el tiempo entre la medición inicial de presión atmosférica y la respectiva medición en cada toma.

Tabla 75. Resumen de mediciones realizadas en el modelo.

TOMA	26'	20'	26	23'	20	23
RUN	Run #39	Run #39	Run #40	Run #40	Run #41	Run #41
SENSOR	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
Tiempo inicial(ms)	22200000	22200000	22800000	22800000	23220000	23220000
Promedio (kPa)	99,08070	99,73765	99,06110	99,66843	99,39153	99,66761
Desvío (kPa)	0,06939	0,12028	0,06842	0,09753	0,11921	0,09762
Varianza (kPa)	0,00481	0,01447	0,00468	0,00951	0,01421	0,00953
TOMA	21	19	24	22	27	25
RUN	Run #42	Run #42	Run #43	Run #43	Run #44	Run #44
SENSOR	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B	Sensor A	Sensor B
Tiempo inicial(ms)	23640000	23640000	24000000	24000000	24480000	24480000
Promedio (kPa)	99,27222	99,48733	99,19072	97,70809	99,04203	99,36200
Desvío (kPa)	0,05579	0,06996	0,08464	0,08352	0,07216	0,07809
Varianza (kPa)	0,00311	0,00489	0,00716	0,00698	0,00521	0,00610

En Tabla 76 se muestran las lecturas de L_0 (altura desde la toma de presión dinámica hasta la conexión con el sensor) de cada toma obtenidas a partir de mediciones con ambos sensores sobre la Toma 23 que se utiliza como base de las demás. El procedimiento para obtener los valores de L_0 en cada toma es el siguiente: al final del ensayo con el modelo sin agua se tomaron lecturas en la toma 23 con ambos sensores y mediante las lecturas atmosféricas finales

se tiene la presión relativa en dicha toma, con nivel y mira se obtiene la diferencia de altura (en cm) que hay entre la toma de referencia y las demás (primera columna de la tabla) y con la presión relativa de la toma 23 más las diferencias de altura (en kPa) obtenemos los valores base en cada toma que se muestran en la última columna de la tabla.

Tabla 76. Lecturas L_0 de las Tomas.

	Sensor A	Sensor B			
L_{023} (tomado al final)	97,80697	98,21884			
TOMA	cm	kPa	L_0 A (kPa)	L_0 B (kPa)	L_0 (kPa)
T19	0,95	0,09316	97,90013	98,31201	1,59451
T20	2,1	0,20593	98,01290	98,42478	1,70729
T21	6,8	0,66684	98,47380	98,88568	2,16819
T22	5,2	0,50993	98,31690	98,72878	2,01129
T23	0	0,00000	97,80697	98,21884	1,50135
T24	3,7	0,36284	98,16980	98,58168	1,86419
T25	2,2	0,21574	98,02271	98,43459	1,71709
T26	-1,5	-0,14710	97,65987	98,07175	1,35426
T27	2,7	0,26477	98,07174	98,48362	1,76613

Con los datos mencionados anteriormente realizamos el cálculo de las lecturas dinámicas (h_D) mediante el procedimiento descrito en la Metodología de Medición. En la Figura 137, Figura 138 y Figura 139 se expresan las lecturas de todas las tomas después de realizada la calibración, se decidió no introducir las lecturas sin calibración ya que eran muy similares a las calibradas. En la Tabla 77 se expresan un resumen de los resultados estadísticos (Media y Desvío) de las mediciones realizadas en las tomas. Se aplican las cinco rectas de calibración obtenidas para cada sensor, con lo que se obtiene que el set 1 representa los mayores valores de Media y Desvío en la casi totalidad de las tomas como así sucede lo mismo en el set 3 que representa los menores valores. Se designó el número de toma con un símbolo (') para hacer referencia a las mediciones realizadas con el Sensor B. Es importante mencionar que la elección de una recta de calibración determinada influye apreciablemente en los valores medios, no así en los desvíos.

Tabla 77. Resultados estadísticos en el modelo.

TOMA	(cm)	h_p	set 1	set 2	set 3	set 4	Max Dif.	RECTA FINAL
								set 5
19'	Media	14,8332	16,0935	15,6463	13,4901	13,7491	2,6035	14,7447
	Desvío	0,6918	0,7222	0,7220	0,6984	0,7016	0,0204	0,7111
20	Media	11,8869	12,5596	12,4101	11,5366	11,6544	1,0230	12,0402
	Desvío	0,5689	0,5819	0,5824	0,5779	0,5770	0,0054	0,5798
20'	Media	13,4367	14,6356	14,1890	12,0802	12,3330	2,5554	13,3094
	Desvío	0,6918	0,7222	0,7220	0,6984	0,7016	0,0204	0,7111
21	Media	7,2587	7,8264	7,6723	6,8353	6,9605	0,9911	7,3236
	Desvío	0,5689	0,5819	0,5824	0,5779	0,5770	0,0054	0,5798
22'	Media	-11,2299	-11,1163	-11,5531	-12,8232	-12,6814	1,7069	-12,0435
	Desvío	0,8517	0,8892	0,8889	0,8599	0,8637	0,0251	0,8754
23'	Media	13,8187	15,0344	14,5876	12,4659	12,7203	2,5686	13,7021
	Desvío	0,9954	1,0392	1,0388	1,0050	1,0095	0,0294	1,0231
23' biss	Media	13,7551	14,9681	14,5213	12,4017	12,6559	2,5664	13,6367
	Desvío	0,9946	1,0383	1,03792	1,0041	1,0086	0,0293	1,0222
24	Media	9,5892	10,2098	10,058	9,2027	9,3241	1,0072	9,6987
	Desvío	0,8631	0,8827	0,8835	0,8767	0,8753	0,0082	0,8795
25'	Media	9,2254	10,239	9,7941	7,8285	8,0623	2,4106	8,981
	Desvío	1,4086	1,4705	1,47	1,4221	1,4284	0,0416	1,4478
26	Media	13,262	13,966	13,8178	12,9335	13,049	1,0325	13,4416
	Desvío	0,6977	0,7135	0,7142	0,7087	0,7076	0,0066	0,711
26 biss	Media	13,3593	14,0654	13,9174	13,0322	13,1477	1,0332	13,5407
	Desvío	0,7076	0,7236	0,7243	0,7187	0,7176	0,0067	0,7211
27	Media	9,1799	9,7912	9,639	8,7868	8,909	1,0043	9,2815
	Desvío	0,7394	0,7562	0,757	0,7511	0,7499	0,007	0,7535

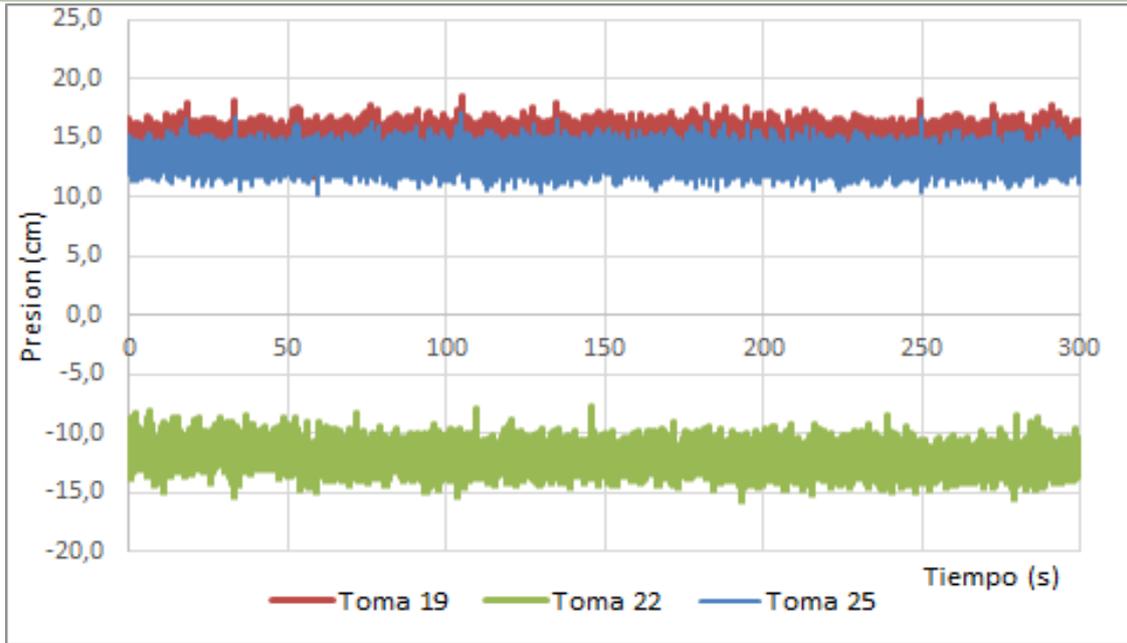


Figura 137. Lecturas en Tomas 19, 22 y 25 calibradas.

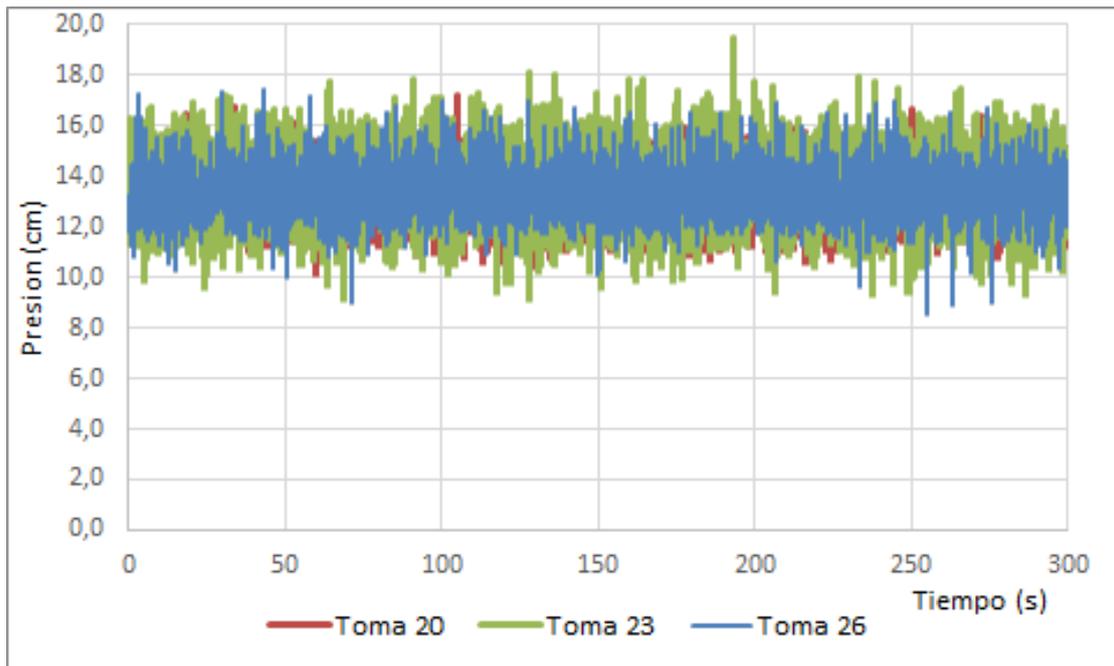


Figura 138. Lecturas en Tomas 20, 23 y 26 calibradas.

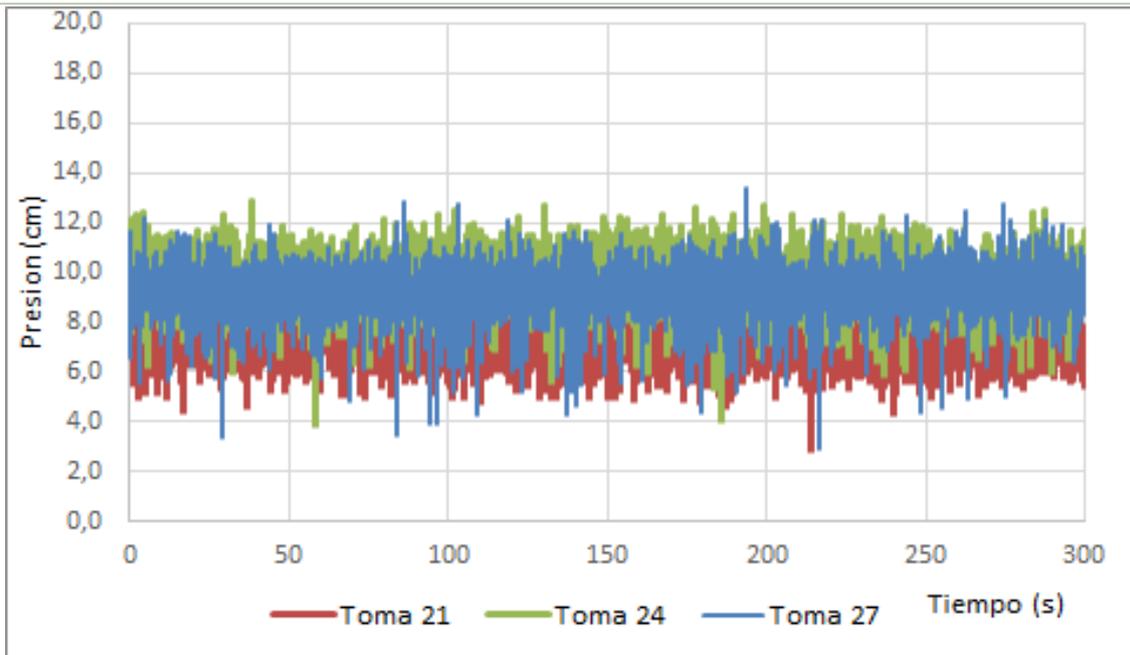


Figura 139. Lecturas en Tomas 21, 24 y 27 calibradas.

Se planteó realizar una comparación entre las tomas realizadas con un mismo sensor en distintos tiempos, para poder observar las diferencias al volver a tomar las lecturas, se utilizó la Toma 23 para el Sensor B y la Toma 26 para el Sensor A.

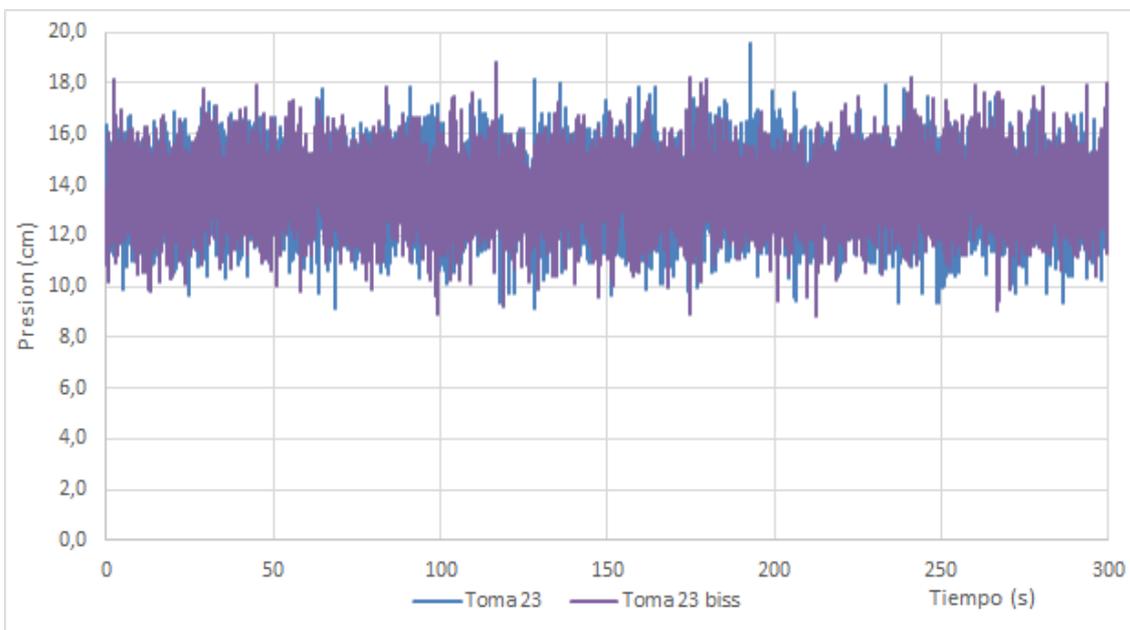


Figura 140. Lectura en Toma 23, Sensor B.

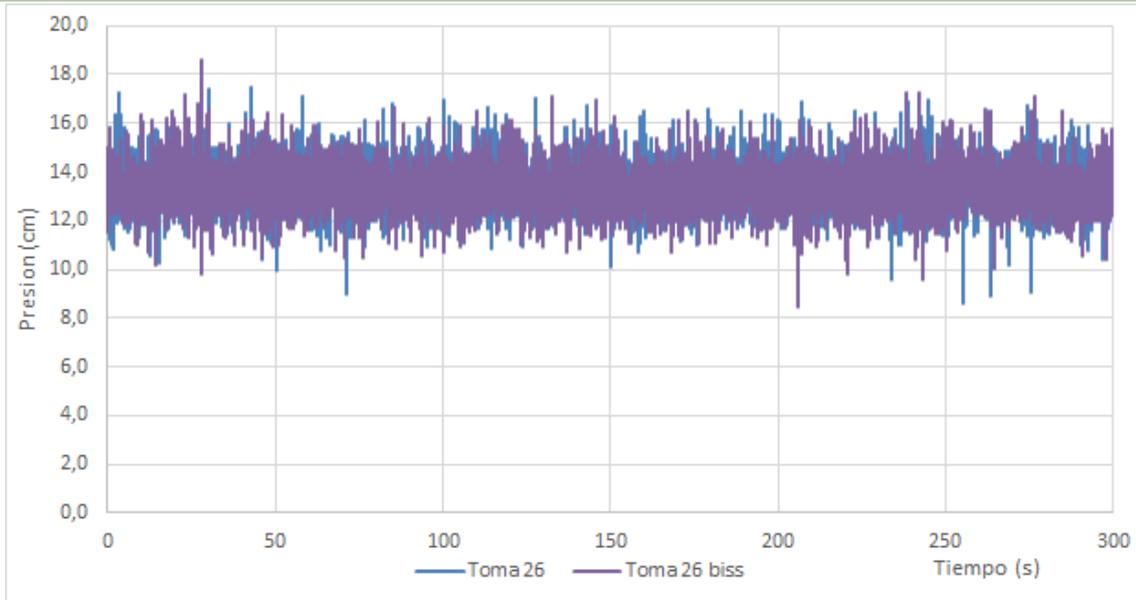


Figura 141. Lecturas en Toma 26, Sensor A.

Como se aprecia las variaciones no son significativas. Los picos se observan en un orden similar.

Se observa en Figura 142 la diferencia generada por ambos sensores donde las lecturas del Sensor A son menores a las del Sensor B después de calibradas cada una de ellas, en los resultados estadísticos descriptos anteriormente se observa esta diferencia.

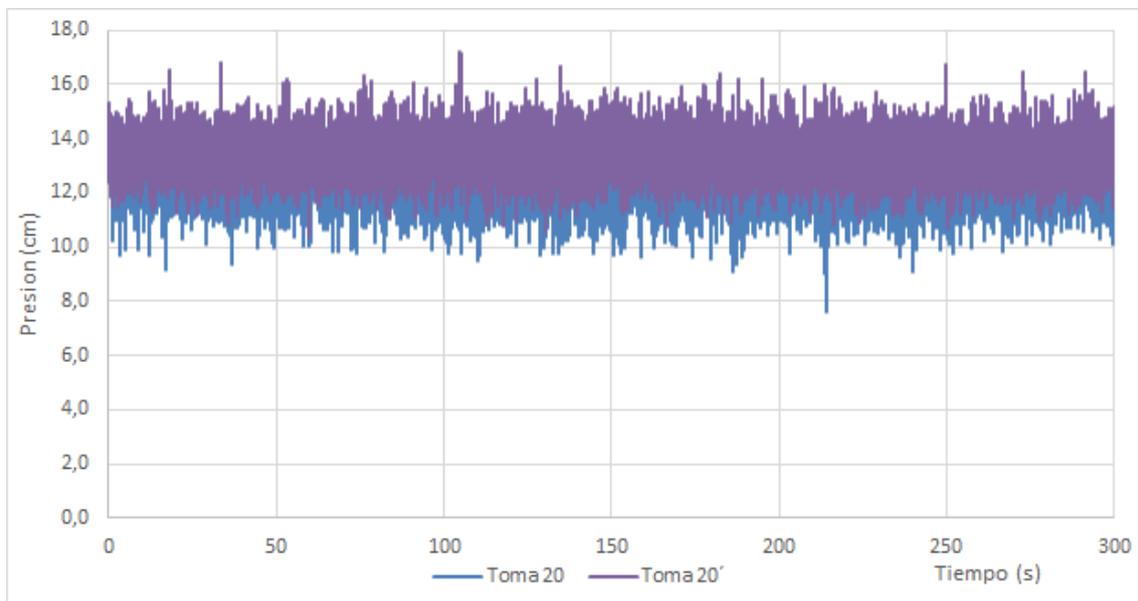


Figura 142. Lecturas en Toma 20, Sensor A y B.

4.5.1. Discusión de resultados en el Modelo Físico “Dique los Alazanes”

Después de expresado los resultados del ensayo en el modelo con los valores de las lecturas pasadas a la presión h_D y aplicadas las diferentes rectas de calibración se observó lo siguiente:

- Con la aplicación de la recta final elegida se pudo observar que las tomas medidas con el Sensor A muestran un aumento de los valores después de realizada la calibración en 0,2 cm de valor promedio (1,4% de variación) y para el Sensor B se generó una disminución de los resultados en 0,81 cm de valor promedio (7,2% de variación). Las tomas que más cambios tuvieron fueron la toma 26 medida con Sensor A y la toma 22 medida con el Sensor B.
- Con respecto a los desvíos se observó que todos aumentan su valor después de realizada la calibración con una variación de 0,1 a 0,4 mm, de lo cual corresponde a una variación de un 1,9% para las mediciones con el Sensor A y del 2,7% para el Sensor B.
- Comparando la recta final con las cuatro rectas aplicadas, el Set1 corresponde al máximo valor posible se observa que los valores medios varían entre 3,8 y 12,3%, las menores variaciones se observan para las mediciones realizadas con el Sensor A en tomas 20 y 26 como así también la mayor variación se observa en toma 21, a su vez las realizadas con el Sensor B las mayores variaciones se observan en toma 25. Para los desvíos en el caso del Sensor A las variaciones son del 0,4% menores a las del Sensor B las cuales son del 1,5%. Contrario al Set1 el mínimo valor posible de las rectas aplicadas corresponde al Set3 donde se observan modificaciones de los valores medios en 3,9 a 14,7% donde las mayores variaciones se observan en el Sensor B en las tomas enunciadas anteriormente como así también coinciden en las menores variaciones para el Sensor A. Con respecto al desvío en el Set3 se consiguen diferencias en 0,3% para el Sensor A y 1,8% para el Sensor B.
- Mediante un análisis con mediciones en la toma 20 con ambos sensores nos determina que la diferencia entre ambas es relevante, de 1,27 cm en el valor medio y 0,13 cm en el desvío que supera levemente el error máximo estimado en mediciones anteriores de 0,12 cm.
- Para las mediciones que se realizaron con el Sensor A en la Toma 26 en distintos tiempos podemos observar que no hay variaciones relevantes entre una y otra comparando los valores finales después de la calibración. Lo mismo sucedió para las mediciones con el Sensor B en la Toma 23. A su vez se pudo observar que las diferencias entre ambas mediciones con el mismo sensor mantienen la baja diferencia entre sí una vez aplicada la recta de calibración, de 0,1 cm en la media y 0,1 mm en el desvío, los cuales son valores irrelevantes.

5. CONCLUSIONES

5.1. Calibración

De acuerdo a las rectas obtenidas mediante la medición de presiones estáticas en un tubo y su comparación con lecturas de nivel de agua se recomienda:

- Medir una presión de referencia P_0 al inicio de la medición para obtener presiones relativas a ese valor y compararlas con la lectura de nivel de agua. Se recomienda medir también el valor de P_0 al finalizar la medición, dado a la variación de la presión atmosférica explicada anteriormente. Cada presión relativa debe ser calculada con la diferencia entre la presión absoluta y el valor de P_0 correspondiente obtenido con la variación lineal de los P_0 en el tiempo.
- Es importante medir el valor de P_0 inicial y final con la misma cantidad de agua dentro de la manguera.
- Al momento de tomar las lecturas de presión se debe tener consideración de no dejar una gota dentro del sensor cuando se tome atmosférica, no realizar movimientos al sensor o dejar un tiempo de 10 minutos antes de realizar la medición para que el sensor pueda estabilizarse y evitar la formación de burbujas en la unión entre el sensor y la toma donde se desea calcular las presiones.
- Los valores de las ordenadas al origen entre las rectas de calibración varía en los diferentes ensayos en - 1,5 cm a 0,6 cm para el sensor B y +0,5 cm para el sensor A, con lo cual debería considerarse calibrar los sensores previamente a cada ensayo si lo que se desean son medir presiones totales. Por otra parte, las pendientes son similares entre cada recta lo que indicaría que los desvíos de las presiones serían similares al utilizar las diferentes rectas.

5.2. Presiones Atmosféricas

Con las mediciones atmosféricas realizadas podemos concluir lo siguiente:

- Se observa que la variación de la presión atmosférica durante las mediciones fue de 0,02 kPa para 5 minutos y de 0,16 kPa para la medición de una hora. Con lo cual se debe considerar la tendencia de la presión atmosférica en mediciones de larga duración y corregir los valores medidos.
- Durante las mediciones cortas, de 300 segundos, se estimaron los desvíos siendo para frecuencias de 50 Hz de 0,012 kPa.
- Las pendientes de variación de presión atmosférica tienen una tendencia prácticamente lineal por lo que sería una buena aproximación tomar lecturas atmosféricas al inicio y final de los ensayos necesarios para no tener que tomar lecturas de presión atmosférica en cada medición durante el ensayo.

5.3. Presiones Estáticas

Después de observar los resultados en las distintas mediciones se pudo determinar lo siguiente:

- No se obtiene una correlación entre el aumento de la columna de agua en el tubo de ensayo y la variación de desvío.
- A medida que se modifica la cantidad de agua el Sensor B es más susceptible a variaciones que el Sensor A, esto de acuerdo a los valores de desvíos obtenidos.
- Al medir con una misma frecuencia e ir variando la altura de columna de agua, los desvíos obtenidos son aceptables comparados con los obtenidos en mediciones atmosféricas (Tabla 52) y son menores para las frecuencias más bajas (10 Hz y 50 Hz).
- Para una misma profundidad de agua medida a diferentes frecuencias, los desvíos obtenidos son muy similares entres si en cada medición. La diferencia es muy baja y se considera irrelevante. Cada desvío se encuentra en el orden aceptable comparado con los obtenidos en mediciones atmosféricas, los menores se dan para el Sensor A (Tabla 54) y son similares entre las distintas frecuencias.

5.4. Presiones Dinámicas

Una vez expresado los resultados de las mediciones dinámicas se pudo concluir lo siguiente:

- En las mediciones con 50 Hz se generan bajos desvíos, pero se obtienen mejores resultados en cuanto a los desvíos al promediar las señales para obtener frecuencias más bajas, en cambio no registran variaciones al modificar las señales usando la función buscar para los valores sin promediar en cada medición con mayores frecuencias para llevarlas a menores frecuencias. La mayor variación se observa promediando las lecturas a 1000 Hz para obtener lecturas a 50 Hz.
- Se puede observar que el Sensor A genera menores desvíos y variaciones, el Sensor B sufre mayores modificaciones luego de aplicada la calibración. A la vez que se encuentran errores al medir con el Sensor A con 1000 Hz mientras el Sensor B toma lecturas a otra frecuencia tal vez debido a un problema en el software.
- Las calibraciones generan una buena aproximación entre las lecturas de los sensores en una medición, pero modifican en gran medida los resultados finales debido a los valores de ordenada obtenida en la recta de calibración, los desvíos se mantienen en un orden similar con una variación máxima de 0,2-0,3 mm y no se modificarían con las distintas rectas de calibración ya que las pendientes son similares.
- Medir con una T en la conexión de los sensores a una de las mangueras del tubo nos sirve para disminuir los desfases entre las lecturas de los diferentes sensores que se obtuvieron al medir en simultaneo con cada sensor en una de las mangueras del tubo de ensayo.

5.5. Modelo Dique “Los Alzanes”

Con lo enunciado anteriormente podemos concluir en:

- Las tomas 22 (medida con el sensor B) y la toma 26 (medida con el sensor A) tienen la mayor variación de resultado en cuanto a las medias donde la variación del sensor B es de 5 veces mayor a la obtenida con el sensor A.
- Comparando los resultados entre cada sensor en una misma toma obtenemos resultados aleatorios debido a los mayores valores en ordenadas generadas para el sensor B y las pendientes para el sensor A están más cerca de la unidad.
- Para mediciones con el Sensor A los errores (diferencias entre los valores de altura de columna de agua en cada toma y los mismos valores después de realizada la calibración) en los valores medios están comprendidos en ± 4 a 7% aproximadamente y los desvíos se modifican en 0,3-0,4%; a su vez para el Sensor B los errores máximos en la media están entre ± 4 a 15% aproximadamente y con variaciones en los desvíos de 1,5-1,8%.
- Ambos sensores nos dan resultados similares al medir en distintos tiempos luego de realizada la calibración, por lo que las rectas de calibración para cada sensor dan buenos resultados y pueden ser aplicadas en diferentes momentos. Lo recomendable es tomar las lecturas con un mismo sensor.

5.6. Conclusión personal

La práctica supervisada constituyó una primera experiencia laboral en la cual se pudo aplicar los conocimientos vistos en la carrera de Ingeniería Civil, como así también incorporar nuevos conocimientos de Hidráulica referido a la medición presiones.

Pude adquirir el manejo de un nuevo programa y la aplicación de distintos ensayos.

Haber tenido la oportunidad de poder trabajar en un modelo físico.

Realizar la práctica supervisada en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la U.N.C. me sirvió como experiencia para conformar futuros grupos de trabajos y donde las tareas se vieron facilitadas por la disponibilidad de los distintos instrumentos y equipos disponibles, como así también la buena predisposición de los integrantes del establecimiento ante cualquier consulta.

6. BIBLIOGRAFÍA

Streeter, Victor L. (1988). *Mecánica de los Fluidos*. Mexico: LIBEMEX

Muchiut, Jonathan (2019). *Caracterización hidrodinámica del flujo en el vertedero lateral del modelo físico de la presa Los Alazanes*. Provincia de Córdoba – Argentina. Trabajo Final Integrador de la Especialización en Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Julio de 2019.

Dulhoste, J. F. (2014). *Instrumentos para la medición de presión*. Recuperado de:
<https://prezi.com/7urx0zmn822s/instrumentos-para-la-medicion-de-presion/>

Cabrera, R. (2007). *Hidrostática: Presión absoluta y relativa*. Recuperado de:
https://ricuti.com.ar/no_me_salen/hidrostatica/FT_baromet.html

Directindustry (2018). *Como elegir un sensor de presión*. Recuperado de:
<http://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-presion-elegir/>

Directindustry (2018). *Catálogos de productos, características de Transductores*. Recuperado de: <http://www.directindustry.es/>

Nolla, X. (2017). *Cómo funciona un transmisor de presión*. Recuperado de:
<https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>