



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis gráfico de la evolución de la presión en el cilindro, fases de distribución de gases y ajuste al encendido en motores de ciclo Otto atmosféricos con dispositivo externo compensador de altitud por transducción de presión.

Guachi Yánez Kevin Santiago

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniería Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

Latacunga, Marzo 2024



No hay secretos para el éxito. Es el resultado de la preparación, el trabajo duro y el aprendizaje de los fracasos.

Colin Powell



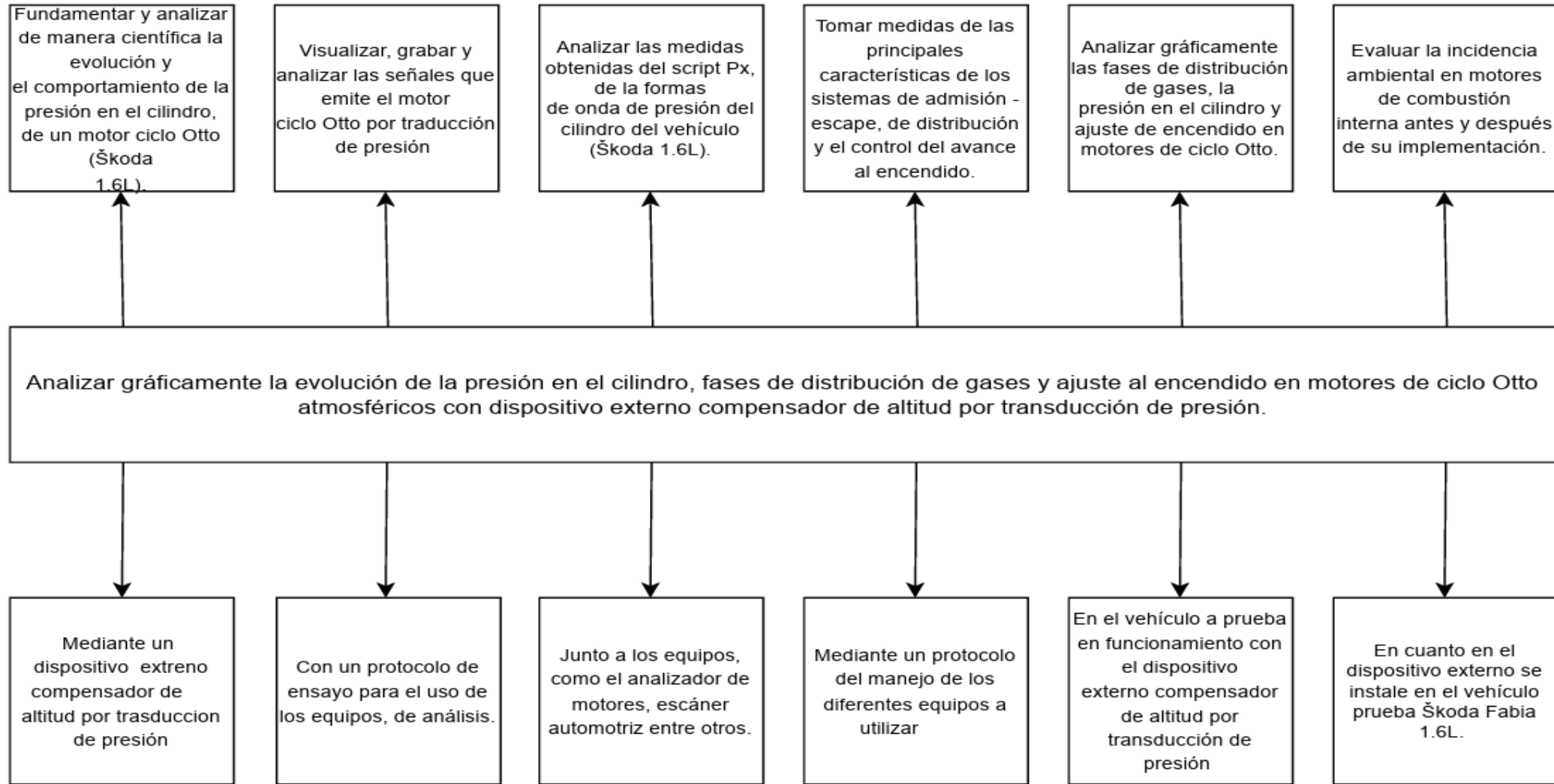
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Contenido

- ❖ Antecedentes
- ❖ Planteamiento del problema
- ❖ Descripción resumida del proyecto
- ❖ Justificación e importancia
- ❖ Objetivos de la investigación
 - ❖ General
 - ❖ Específico
- ❖ Meta de la investigación
- ❖ Marco teórico
- ❖ Estudio de la Visualización y Recolección datos
- ❖ Análisis de resultados
- ❖ Conclusiones y recomendaciones



Planteamiento del problema



Descripción del proyecto

En el desarrollo del proyecto de investigación, se estudia los tiempos reales del motor de combustión interna como son, la admisión, compresión, explosión y el escape, mostrados de manera gráfica mediante oscilogramas generados por un equipo analizador de motores, en función de las presiones que existen internamente en el cilindro, obtenidas mediante transductores de presión.

Las presiones que se emiten dentro del cilindro varían debido al movimiento del pistón con esto el motor cumple con los cuatro tiempos, requeridos para obtener los oscilogramas que serán interpretados con la ayuda del script Px y su software automatizado que determina el estado mecánico del motor arrojando datos cuantitativos y gráficos de relación de compresión, fases de distribución de gases, ángulos de apertura y cierre de válvulas, eficiencia volumétrica y pérdidas de potencia.



Justificación e importancia

El análisis de la incidencia de los sistemas compensadores de altitud en motores de ciclo Otto mediante la transducción de presión en tiempo real es un tema relevante y de gran alcance, con implicaciones significativas tanto en la mejora de la tecnología automotriz como en otras áreas donde se utilizan motores de este tipo.

El uso del analizador de motores como herramienta de digitalización de datos y su transmisión hacia la PC permite un análisis profundo de las señales de presión en el cilindro y otros parámetros relacionados con el rendimiento del motor, lo que es fundamental para comprender y optimizar su funcionamiento.



Objetivos

GENERAL

- Analizar gráficamente la evolución de la presión en el cilindro, fases de distribución de gases y ajuste al encendido en motores de ciclo Otto atmosféricos con dispositivo externo compensador de altitud por transducción de presión.

ESPECÍFICOS

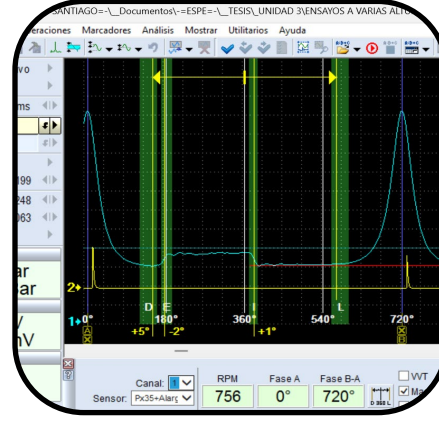
- Fundamentar científicamente la evolución de la presión en el cilindro, fases de distribución de gases y ajuste al encendido en motores de ciclo Otto atmosféricos con dispositivo externo compensador de altitud por transducción de presión.
- Desarrollar un protocolo de ensayo para el equipo analizador de motores, a fin de visualizar, grabar y analizar las señales por transducción de presión.
- Desarrollar la visualización y grabación para medición de las formas de onda de presión del cilindro de un vehículo del motor de combustión interna ciclo Otto.
- Medición de las principales características neumáticas de los sistemas de admisión – escape del sistema de distribución y sistema de control de avance al encendido a través de script en motores de ciclo Otto.



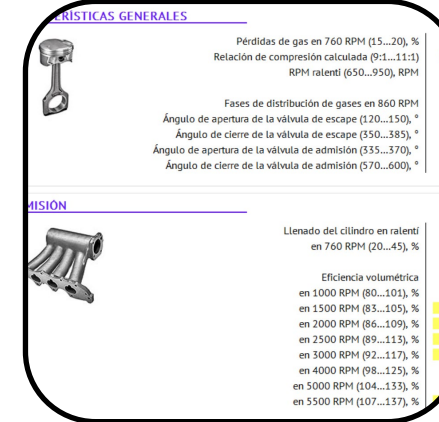
Metas de la Investigación



Fundamenta científico – técnico mediante bibliografía y capacitación con sustento académico en temáticas afines.



Visualización y grabación para medición de presión de gas por transducción de presión.



Analizar los datos obtenidos en el informe del script Px, estableciendo la relación de la variación de la altitud.



Hipótesis

La incidencia del dispositivo externo compensador en motores de combustión interna atmosféricos compensará en 20% valores típicos de pérdidas de presión y/o masa de gases en motores de la onda de presión del cilindro.



MARCO TEÓRICO



Dispositivos Compensadores De Altitud

Se trata de una válvula elaborada para contrarrestar los cambios de rendimiento de los motores debido a la altitud, también llamado compensador altimétrico o Válvula compensadora de altitud. Este compensador es construida con una combinación de materiales duraderos como aluminio endurecido, acero inoxidable y espuma de poliuretano, dependiendo de la instalación esta tiene la capacidad de adaptarse a cualquier vehículo, independientemente del cilindraje y el tipo de combustible que se use.(*MARCLAIS, Colombia, s. f.*)



Nota: Válvula ecológica compensadora de altitud para motores a gasolina (*MARCLAIS, Colombia, s. f.*)



Transductores de presión

Un transductor de presión es un dispositivo que convierte la presión en una señal eléctrica de salida. La señal eléctrica puede ser digital o analógica y es utilizada por otros dispositivos como el analizador de motores osciloscopio, hoy en día se usa ampliamente en diagnóstico automotriz y aplicaciones donde se requiere la medición de la presión. También se los conocen como sensores de presión o transmisores de presión.(Tameson & Kolstad, 2020)



Transductor designado para medición de presión de gas dentro del cilindro



Estudio de la Visualización y Recolección datos



Equipos Empleados



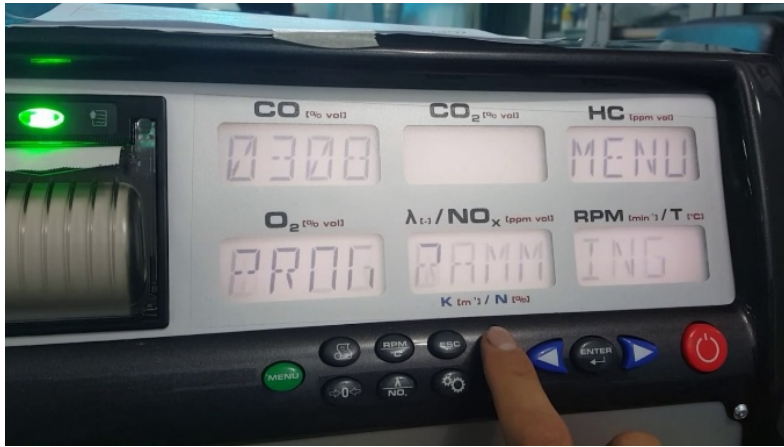
Osciloscopio automotriz analizador de motores



Escáner Automotriz con sus accesorios: interface (1), cable OBD2 (2), estuche (3), escáner (4).



Este altímetro tiene diferentes opciones de medir la altitud de diferentes lugares.



Analizador de gases que fue usado en la prueba, en funcionamiento



Lector de RPM y temperatura

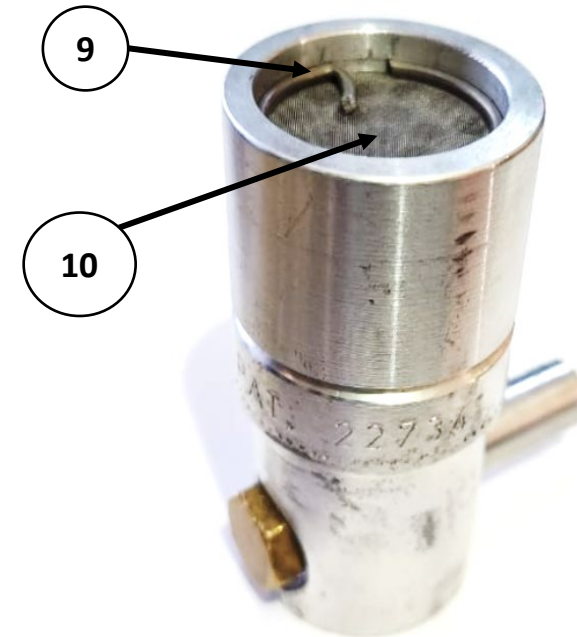
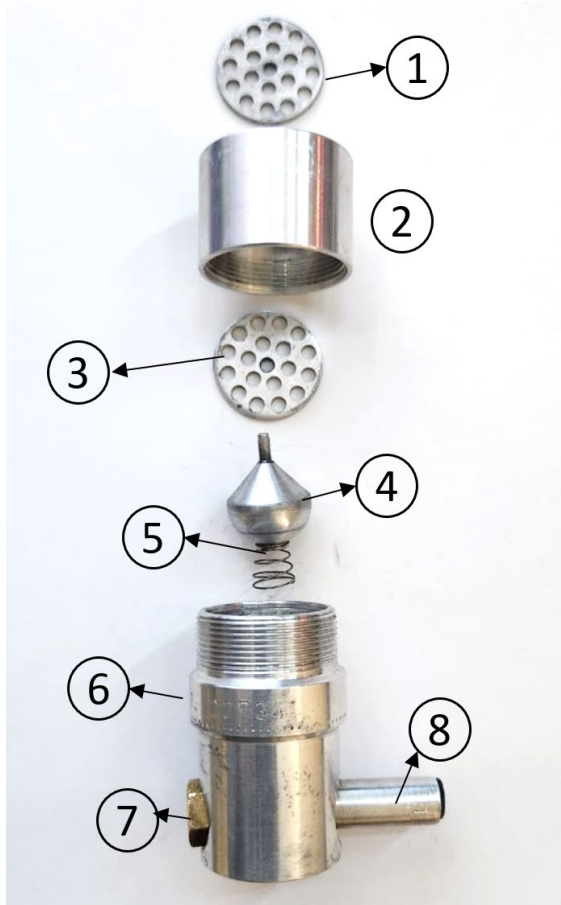


Vehículo de pruebas



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

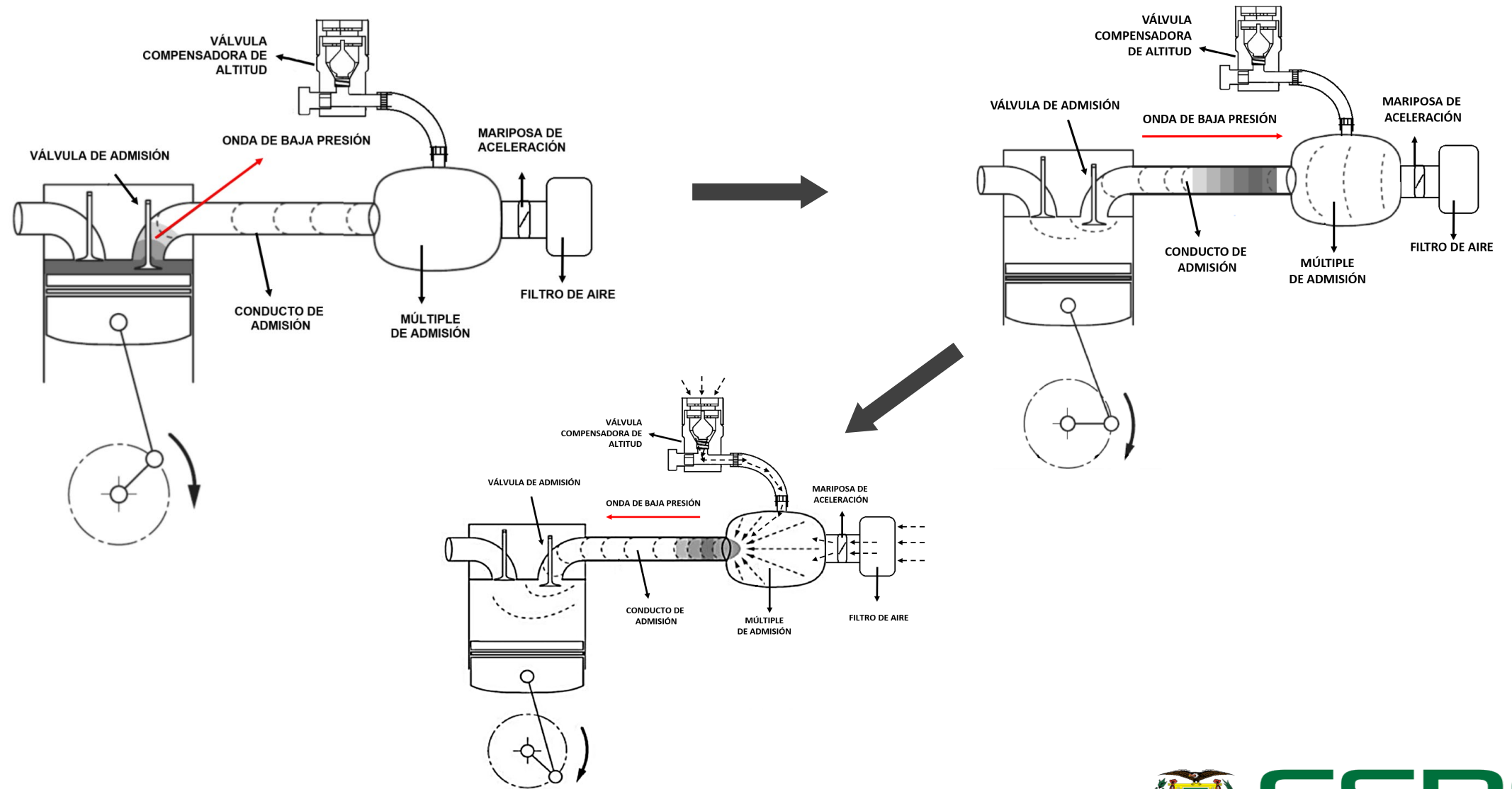
Partes de la válvula compensadora de altitud



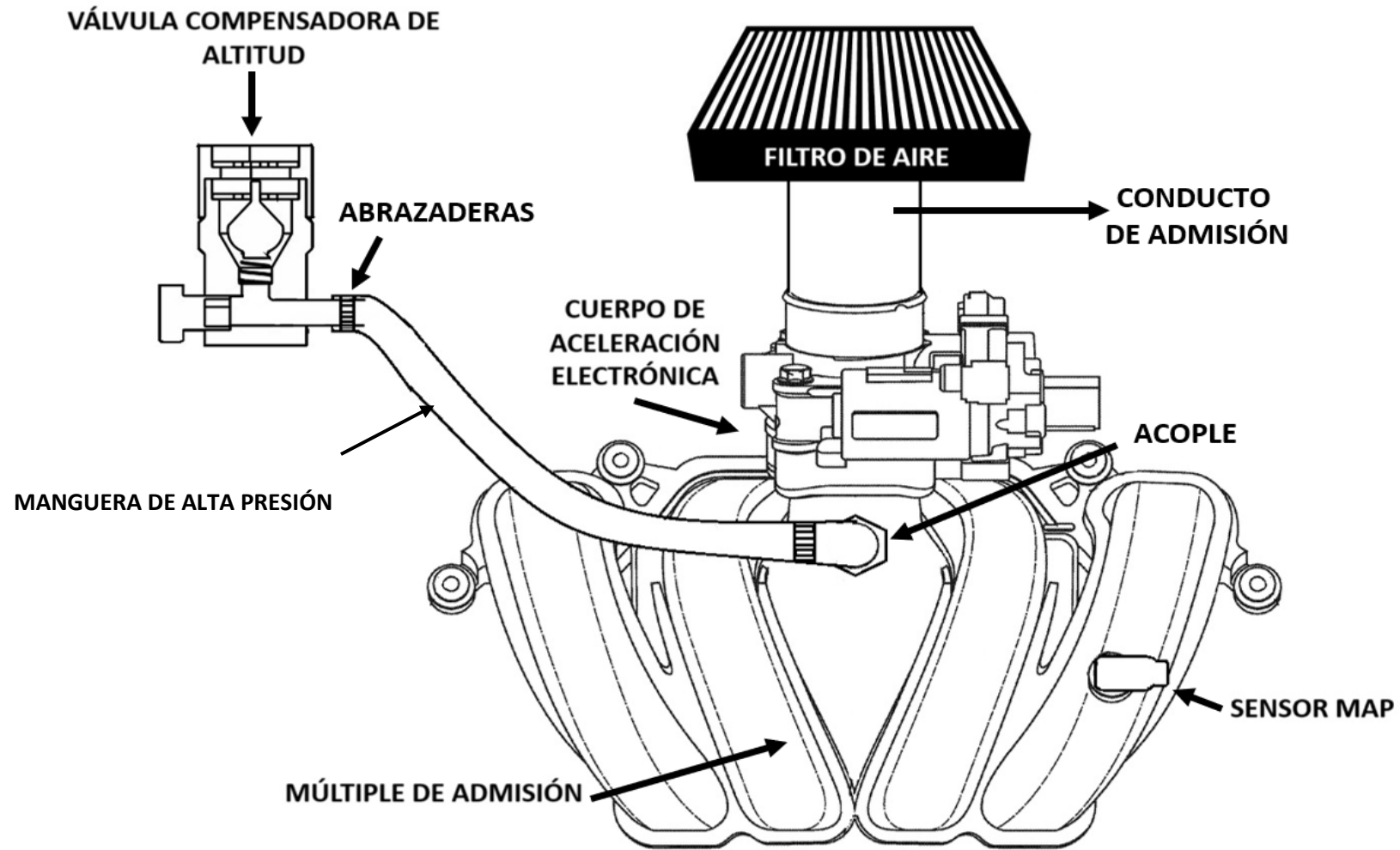
(1) malla superior, (2) tapa roscada, (3) malla inferior, (4) boya, (5) resorte cónico, (6) cuerpo de la válvula, (7) tornillo M10, (8) acople, (9) seguro, (10) Filtro de malla metálica.



Principio de Funcionamiento de la Válvula Compensadora



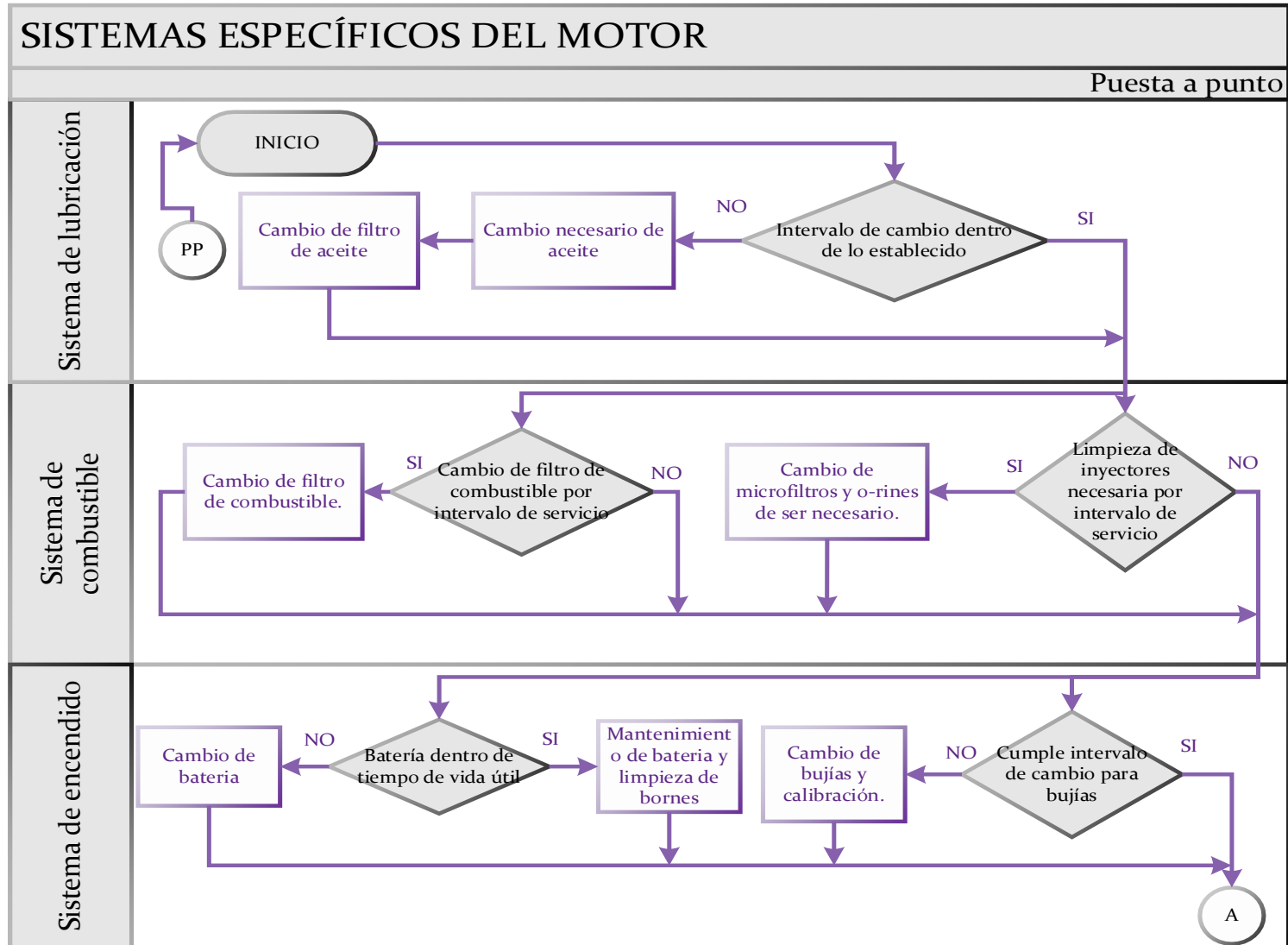
Instalación de la válvula compensadora de altitud en el vehículo de pruebas



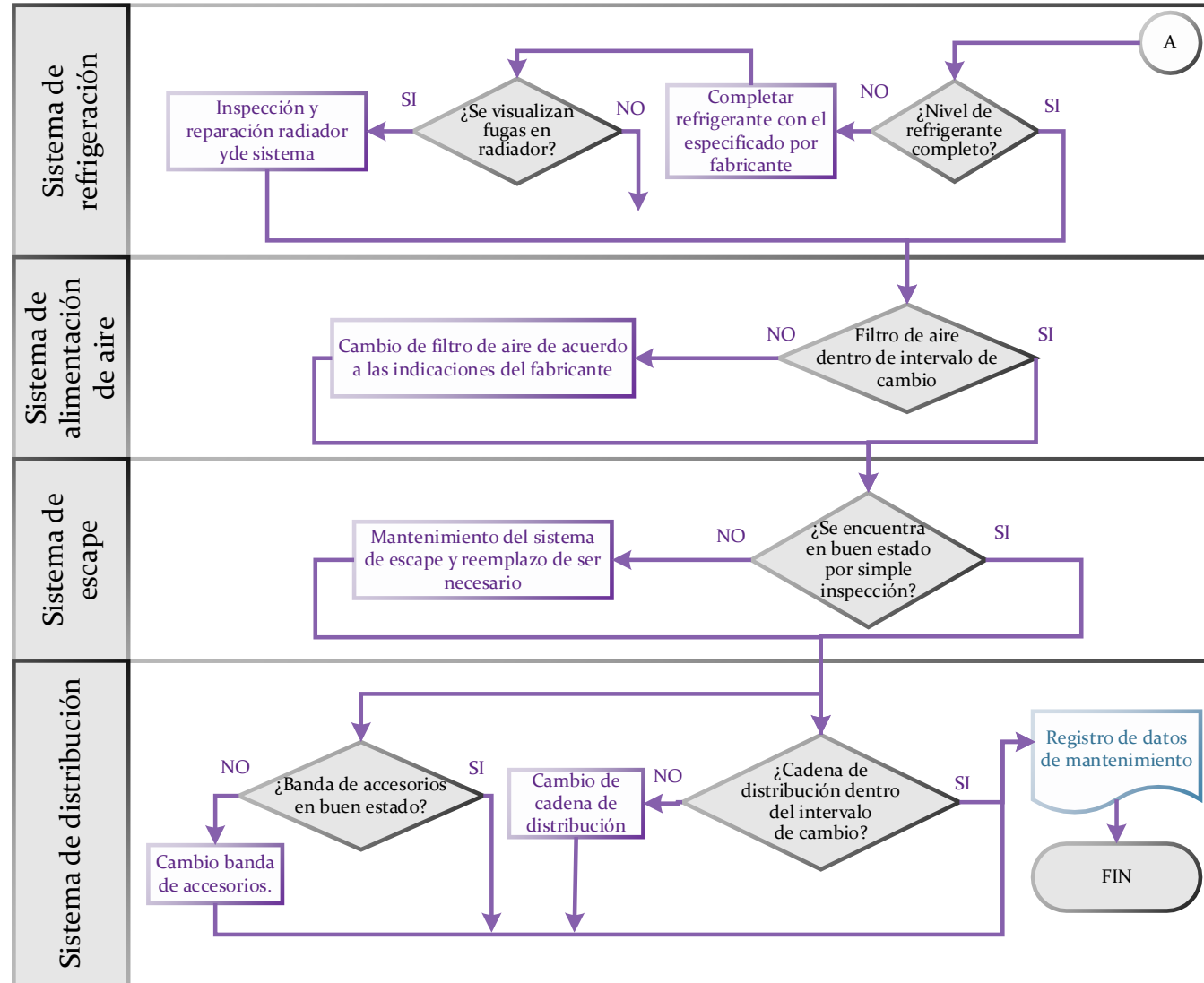
Instalación de la válvula compensadora de altitud en el vehículo de pruebas



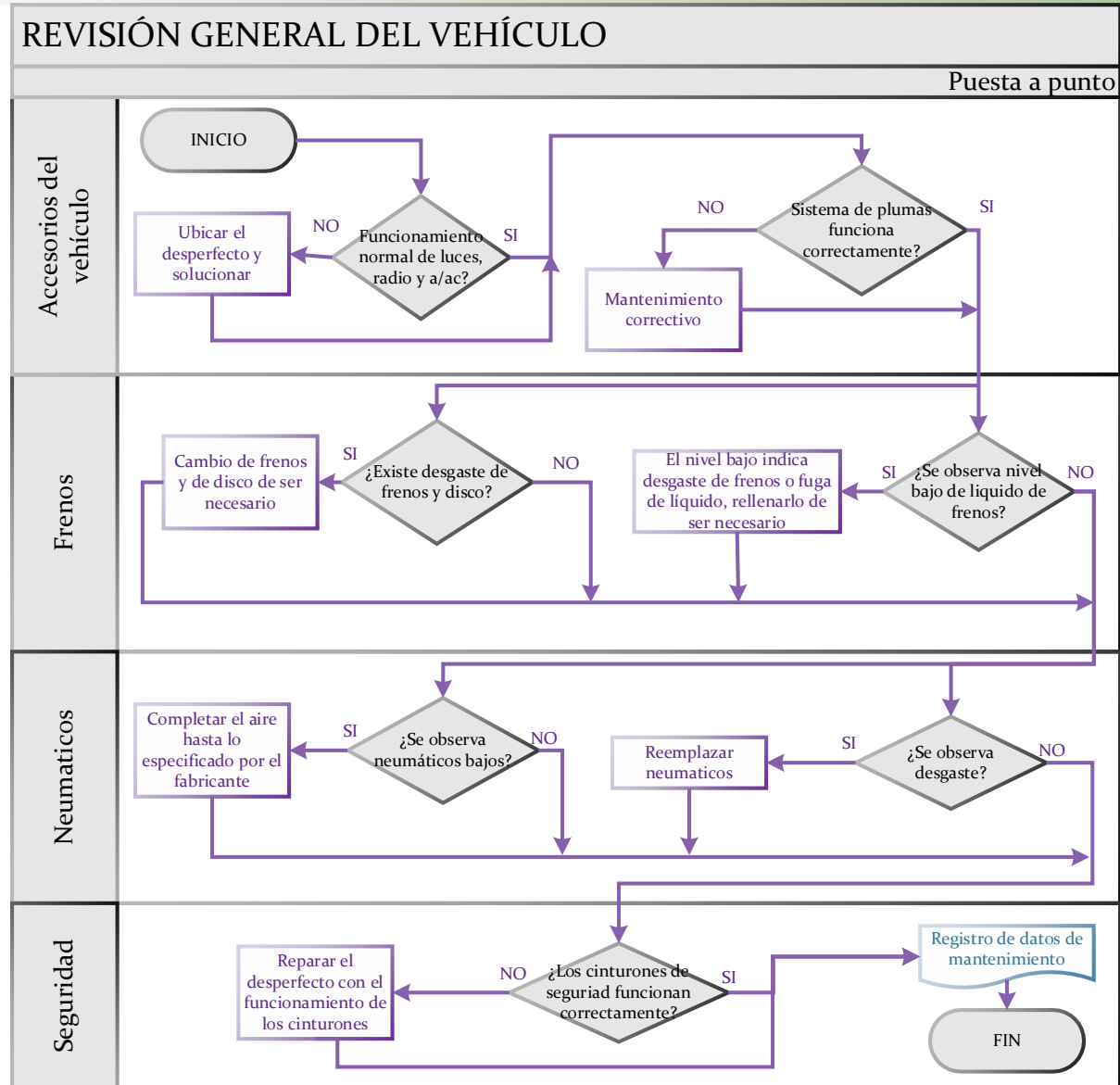
Puesta a punto del vehículo sistemas específicos del motor



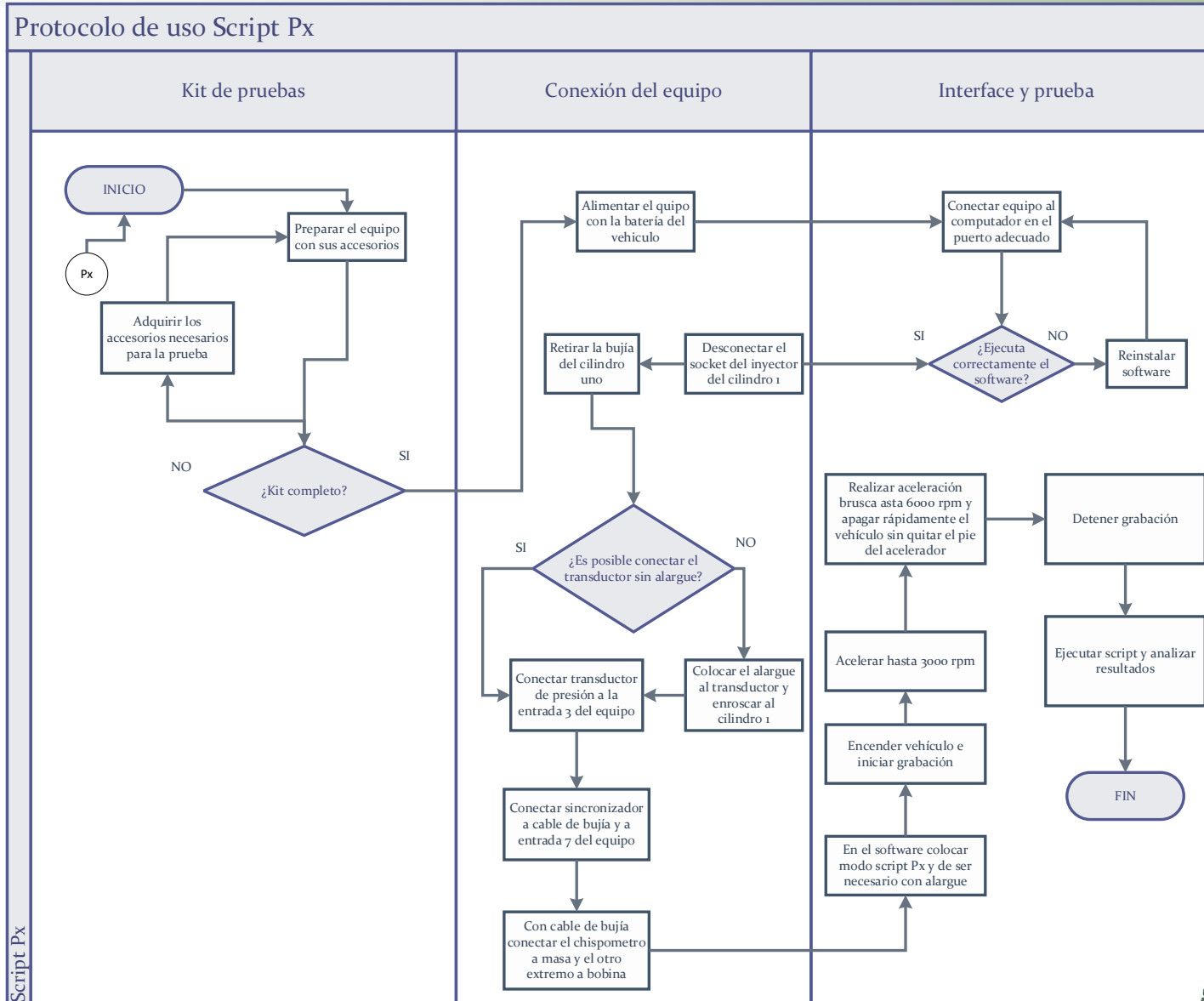
Puesta a punto del vehículo sistemas específicos del motor



Puesta a punto del vehículo revisión general del vehículo



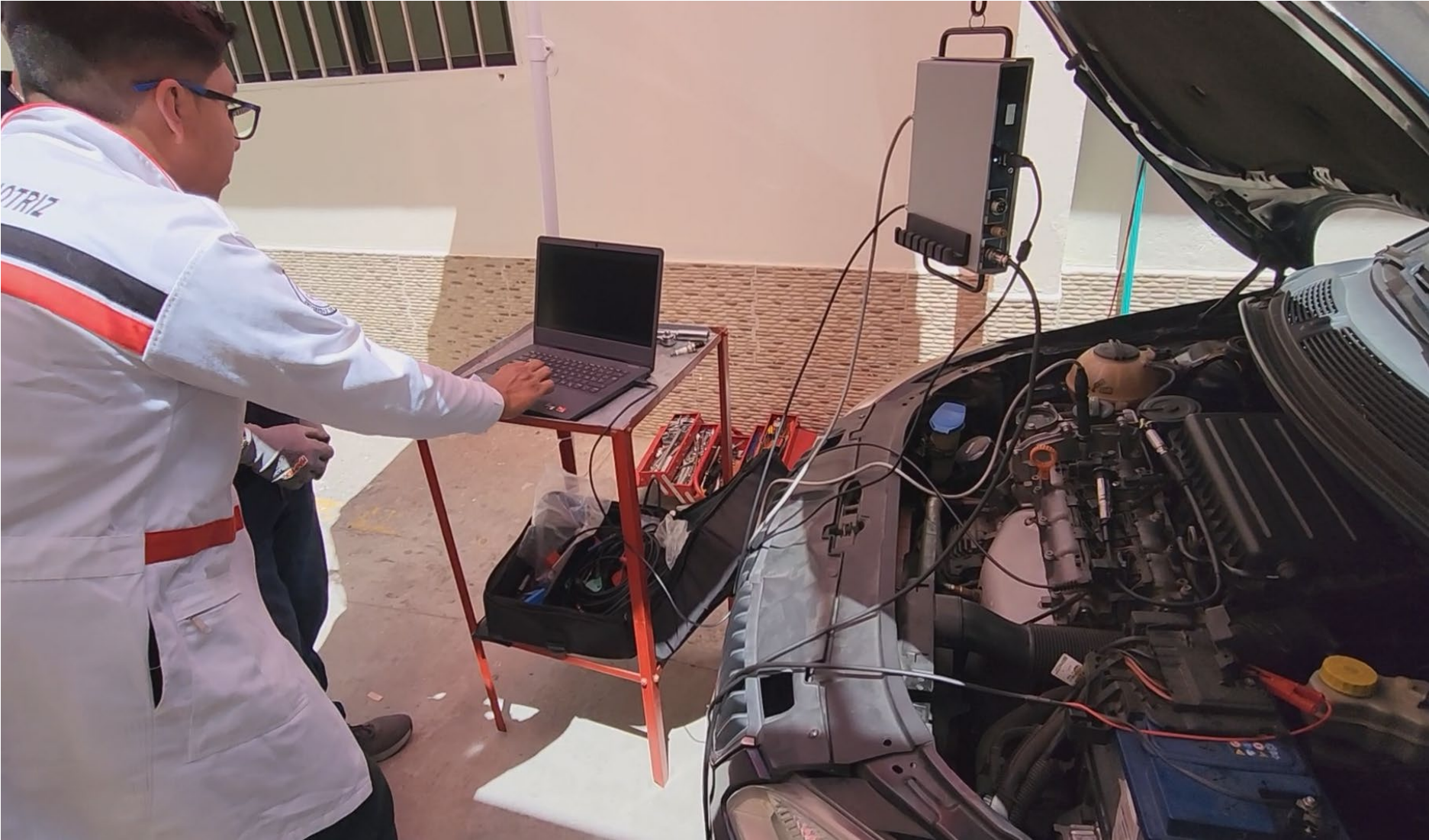
Protocolo de Uso del Script Px35



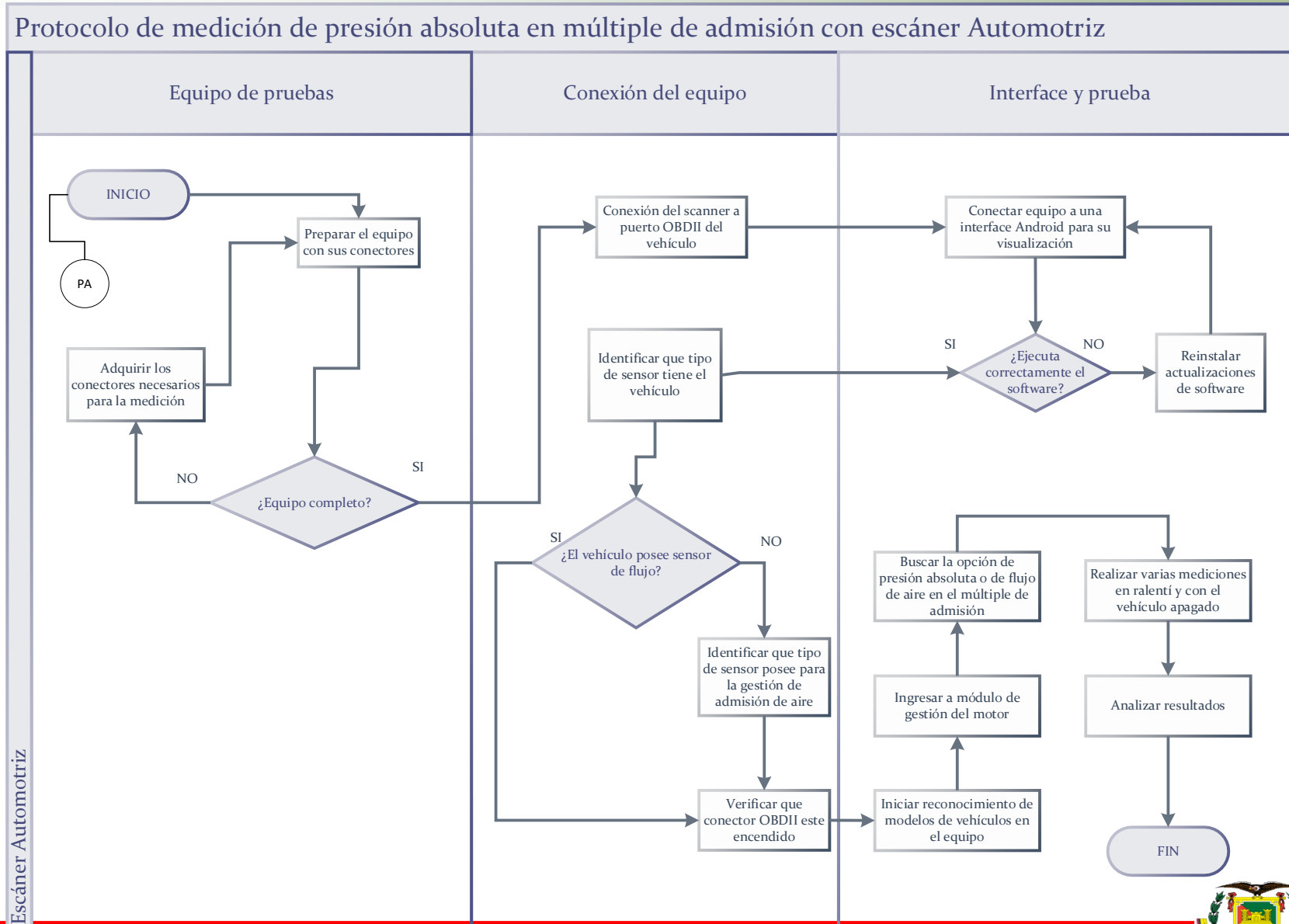
Script Px



Protocolo de Uso del Script Px35



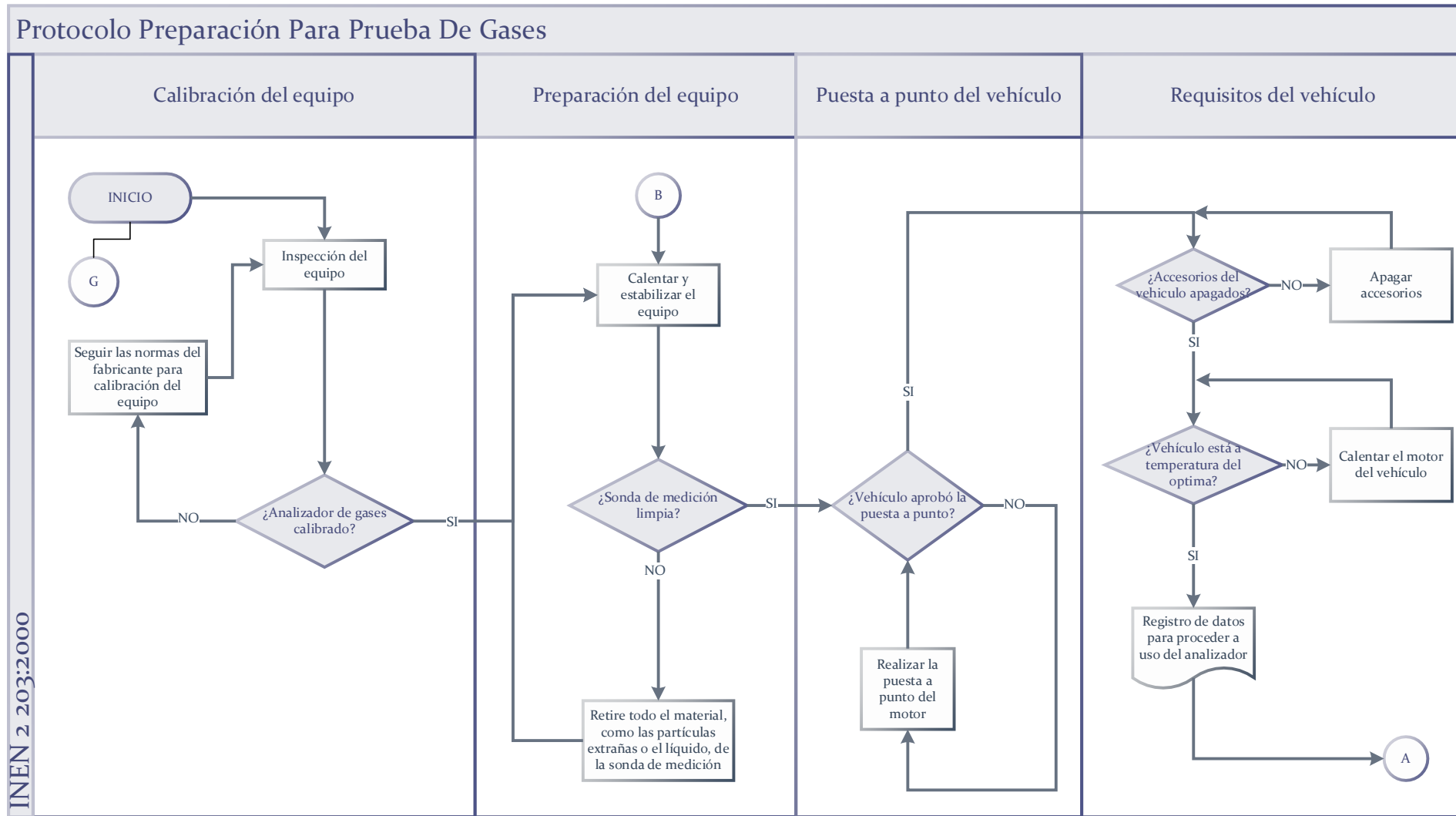
Protocolo de Medición Presión Absoluta con Escáner Automotriz



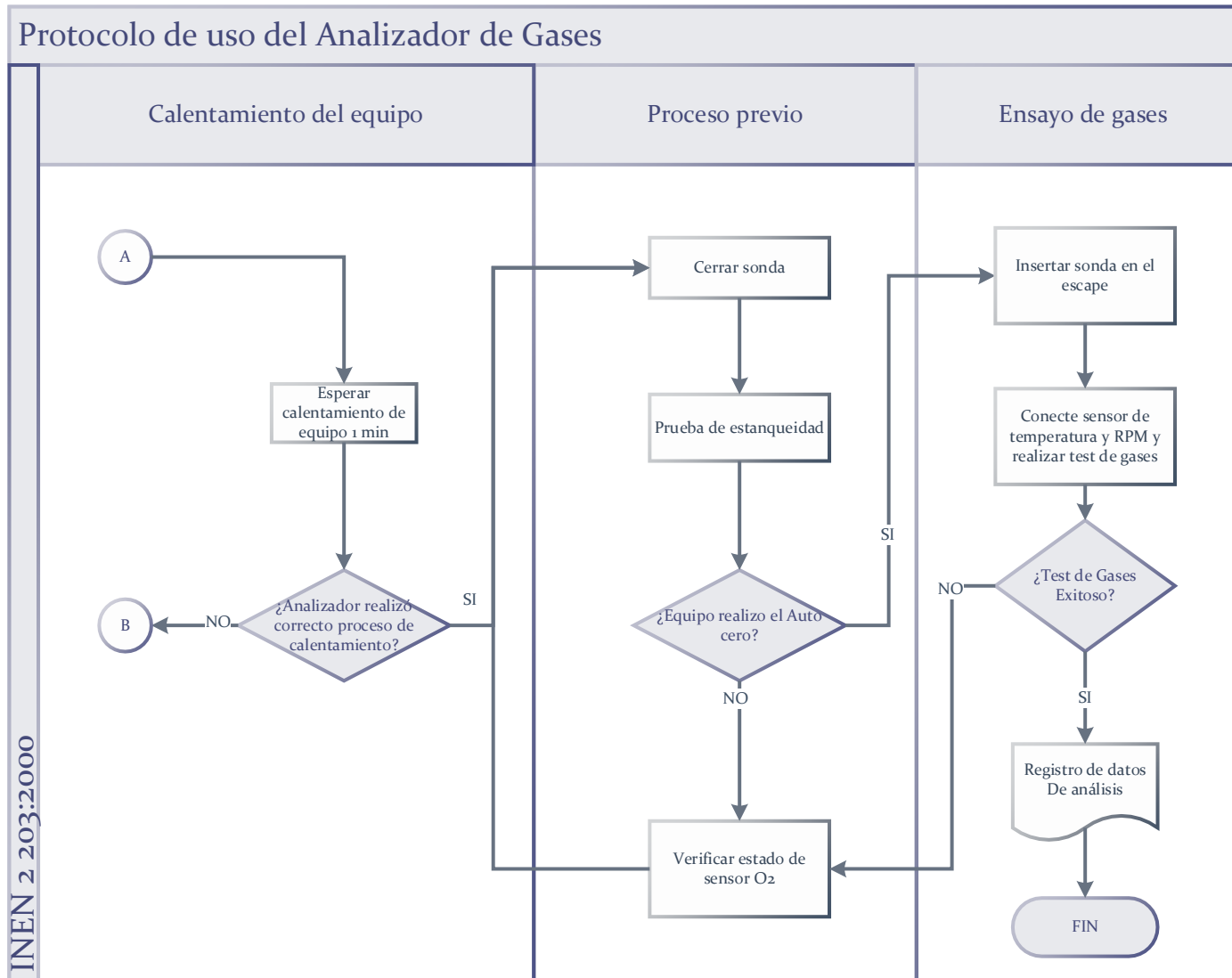
Escáner Automotriz



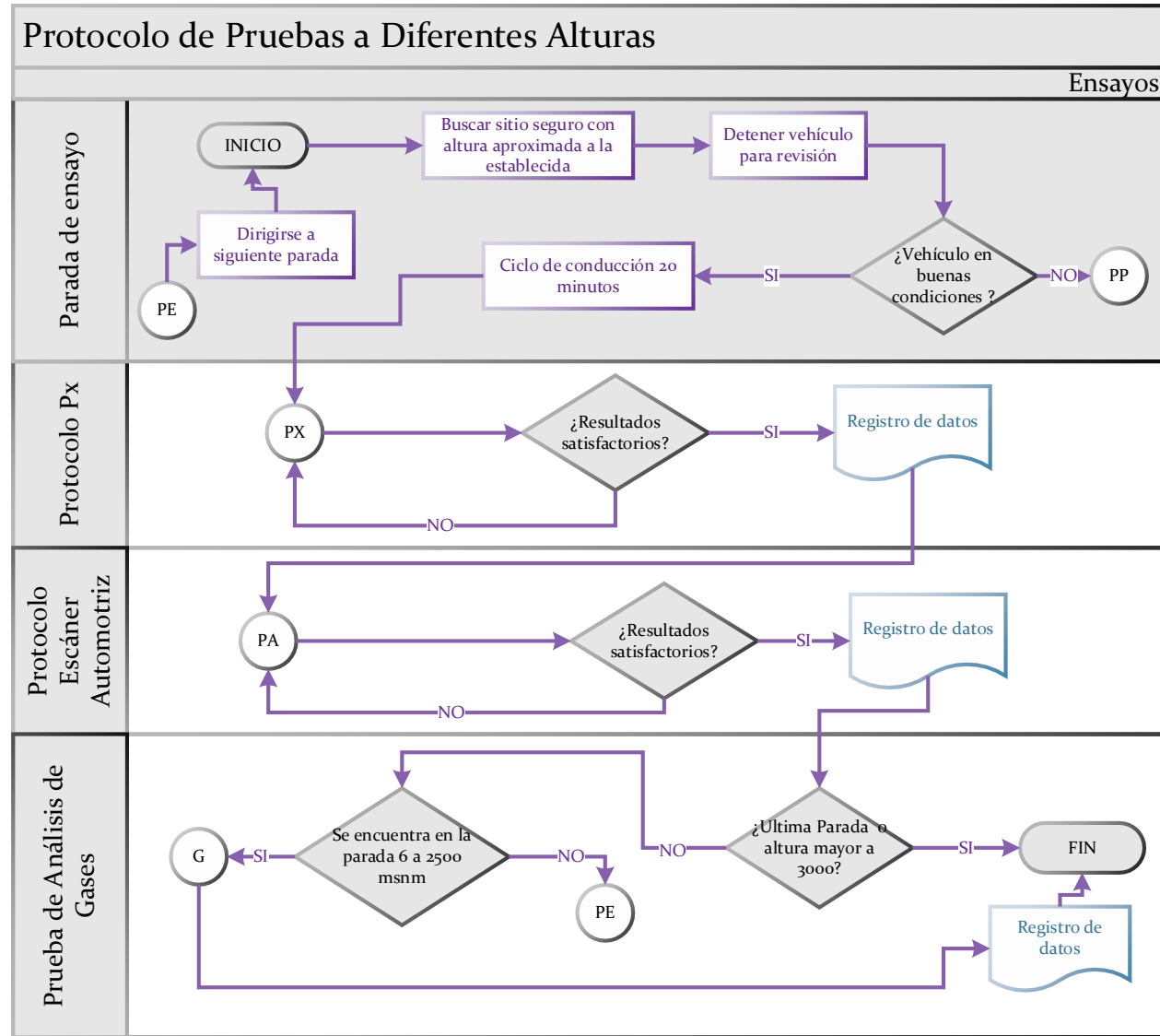
Protocolo para Prueba de Gases



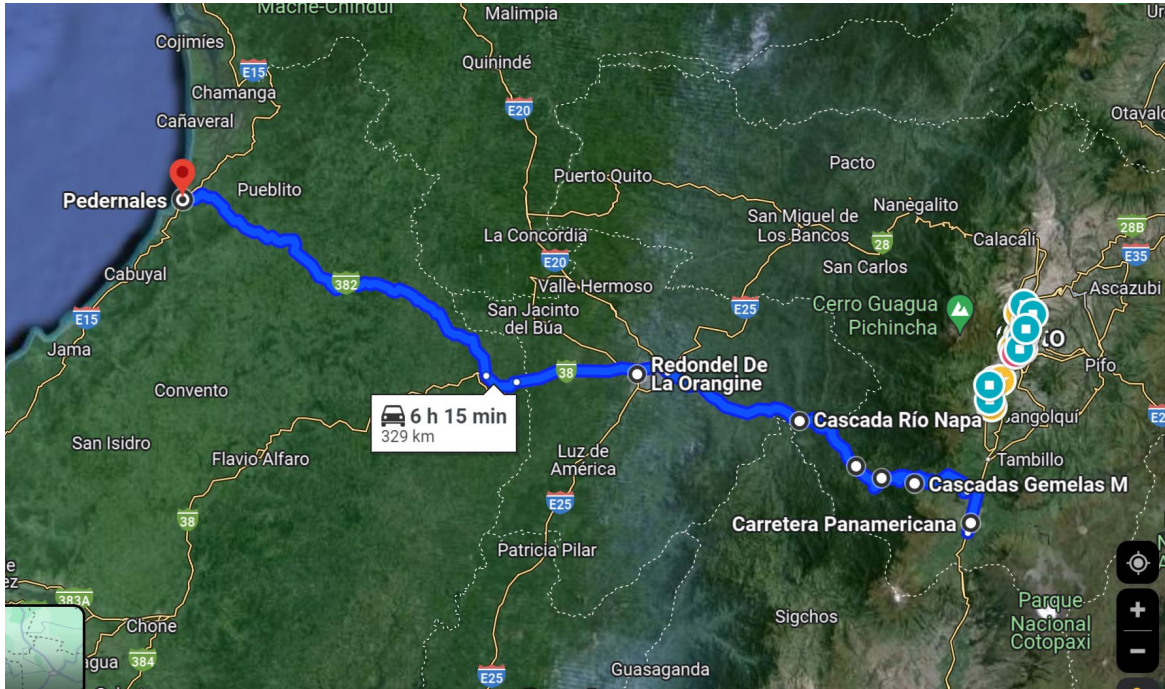
Protocolo para Prueba de Gases



Protocolo de Pruebas a Diferentes Alturas Sobre el Nivel del Mar



Recorrido realizado a diferentes alturas.



Altitud (m)	Ubicación	Presión atmosférica (mbar)
2	Zona costera de Pedernales	999.6
501	Redondel de la Orangine, Santo Domingo	944.88
994	Cascada Río Napa – San Augusto, Pichincha	894.08
1483	Estación de servicio ESNAL2 – Tandapi, Pichincha	843.28
2012	Santuario Católico Virgen de la Merced – Yolán, Pichincha	795.6
2562	Cascadas Gemelas – Agua Caliente, Pichincha	738.76
3057	Carr. Panamericana, Machachi	728.64



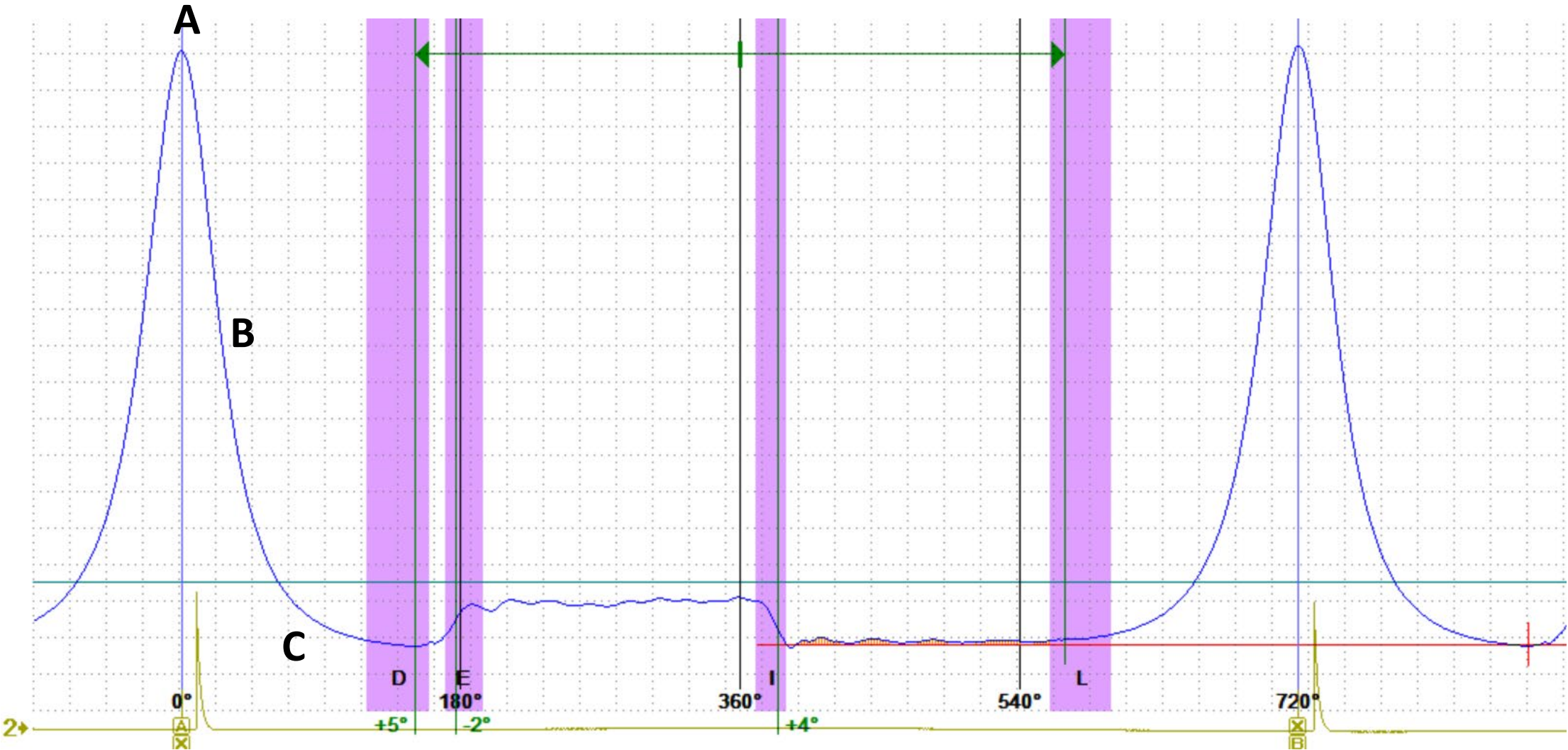
Ensayos Realizados a Diferentes Alturas



ANÁLISIS DE RESULTADOS



Análisis del gráfico de presión del cilindro



CARACTERÍSTICAS GENERALES



Pérdidas de gas en 790 RPM (15...20), %	24
Relación de compresión calculada (9:1...11:1)	11.3:1
RPM ralenti (650...950), RPM	790
Fases de distribución de gases en 910 RPM	
Ángulo de apertura de la válvula de escape (120...150), °	145
Ángulo de cierre de la válvula de escape (350...385), °	377
Ángulo de apertura de la válvula de admisión (335...370), °	353
Ángulo de cierre de la válvula de admisión (570...600), °	576

ADMISIÓN



Llenado del cilindro en ralenti en 790 RPM (20...45), %	34
Eficiencia volumétrica	
en 1000 RPM (80...101), %	73
en 1500 RPM (83...105), %	75
en 2000 RPM (86...109), %	78
en 2500 RPM (89...113), %	80
en 3000 RPM (92...117), %	83
en 3500 RPM (95...121), %	88
en 4000 RPM (98...125), %	96
en 4500 RPM (101...129), %	94
en 5000 RPM (104...133), %	99
en 5500 RPM (107...137), %	97

ESCAPE



Pérdidas de potencia en la carrera de escape	
en 1000 RPM (0...7), %	2
en 2000 RPM (0...11), %	2
en 3000 RPM (0...15), %	3
en 4000 RPM (0...20), %	4
en 5000 RPM (0...25), %	8

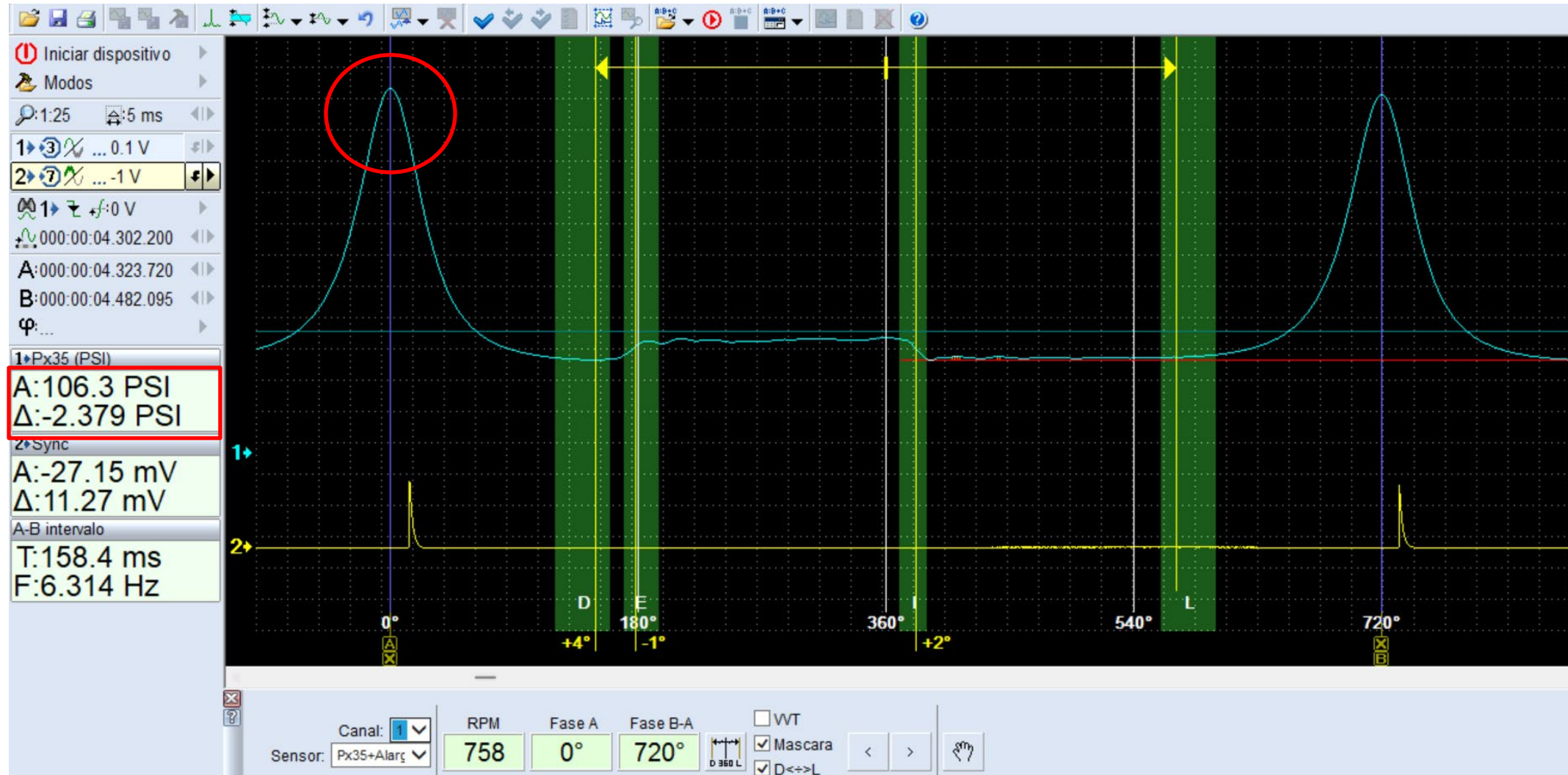
AVANCE



en ralenti	
en 790 RPM (5...15), °	-6
inestabilidad de sincronización de encendido ($\pm 0...1$), °	± 2
a carga máxima	
en 1000 RPM (-10...1), °	3
en 2000 RPM (0...13), °	14
en 3000 RPM (6...21), °	16
en 4000 RPM (9...24), °	14
en 5000 RPM (12...27), °	13



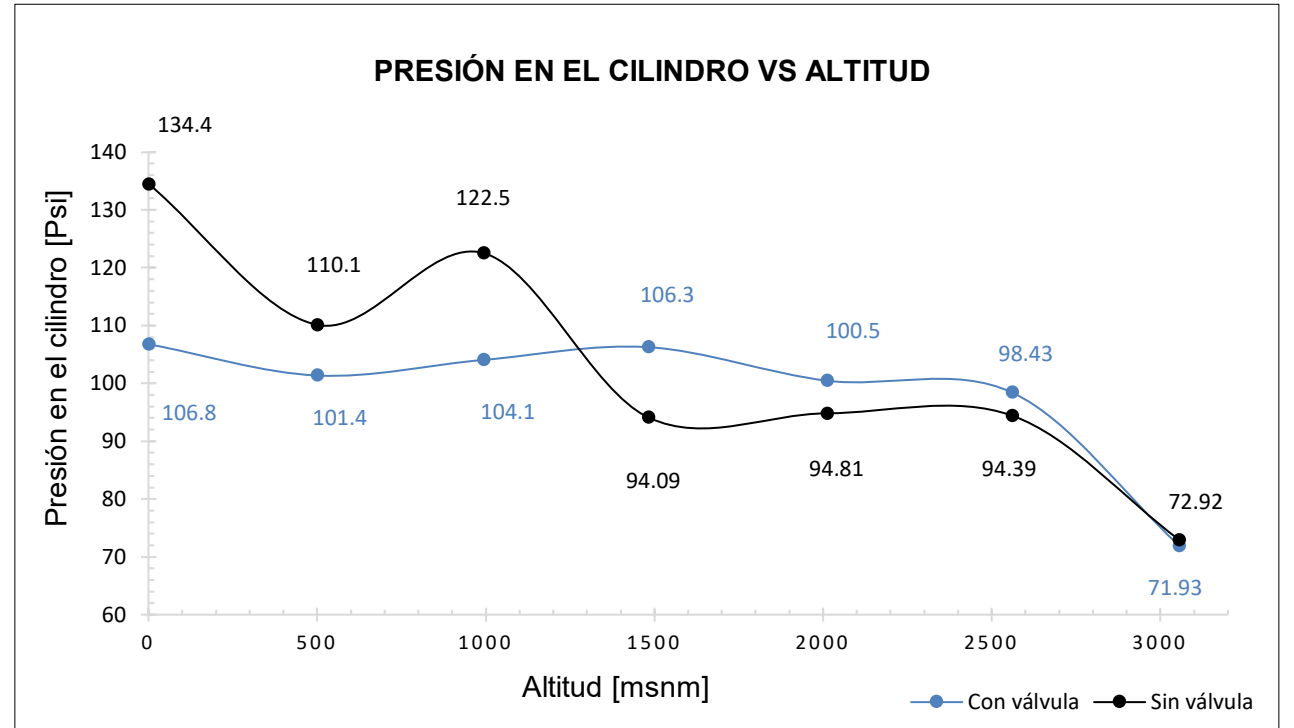
Evolución de la presión máxima en el cilindro a diferentes alturas



Evolución de la presión máxima en el cilindro a diferentes alturas

Presión Máxima en el Cilindro			
Altitud [msnm]	Presión con válvula [Psi]	Presión sin válvula [Psi]	% Δ Presión
2	106.8	134.4	-21%
501	101.4	110.1	-8%
994	104.1	122.5	-15%
1483	106.3	94.09	13%
2012	100.5	94.81	6%
2562	98.43	94.39	4%
3057	71.93	72.92	-1%

Mayor porcentaje de variación: 13% a 1483 msnm aproximadamente.



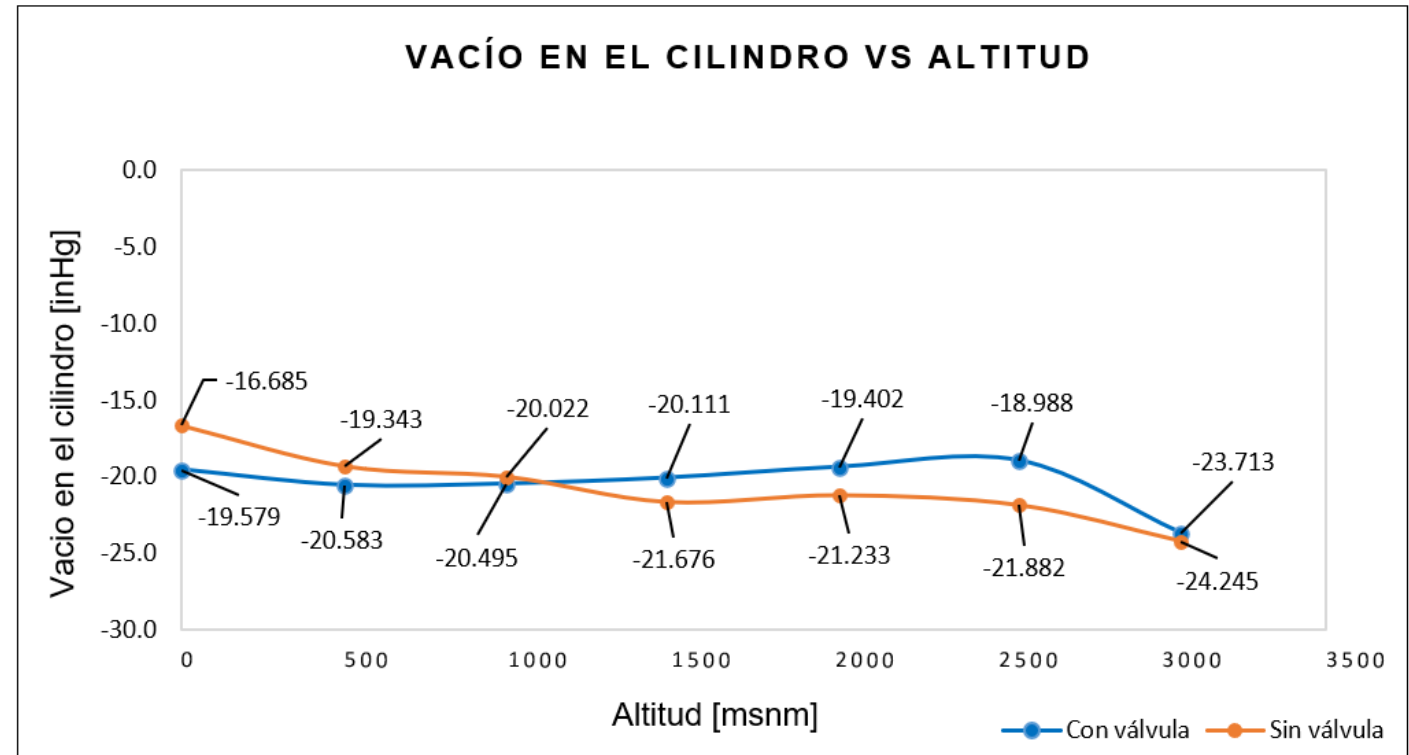
Vacío generado a 540° en el cilindro a diferentes alturas



Vacío generado a 540° en el cilindro a diferentes alturas

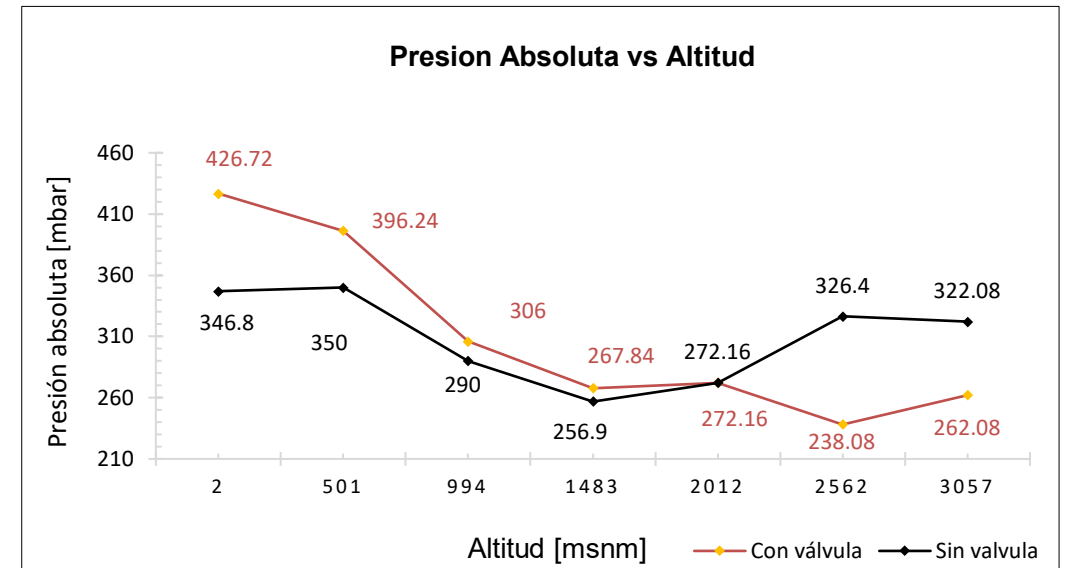
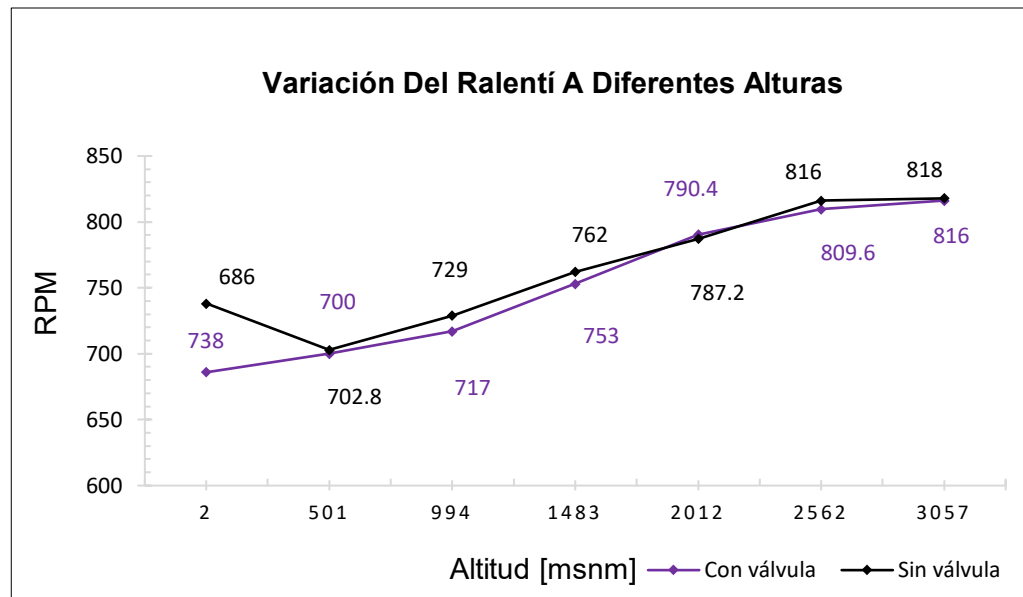
Altitud [msnm]	Vacío a 540°[Bar]	
	Con válvula	Sin válvula
2	-0.663	-0.565
501	-0.697	-0.655
994	-0.694	-0.678
1483	-0.681	-0.734
2012	-0.657	-0.719
2562	-0.643	-0.741
3057	-0.803	-0.821

Altitud [msnm]	Vacío a 540° [inHg]		
	Con válvula	Sin válvula	% Δ Vacío
2	-19.579	-16.685	-15%
501	-20.583	-19.343	-6%
994	-20.495	-20.022	-2%
1483	-20.111	-21.676	8%
2012	-19.402	-21.233	9%
2562	-18.988	-21.882	15%
3057	-23.713	-24.245	2%



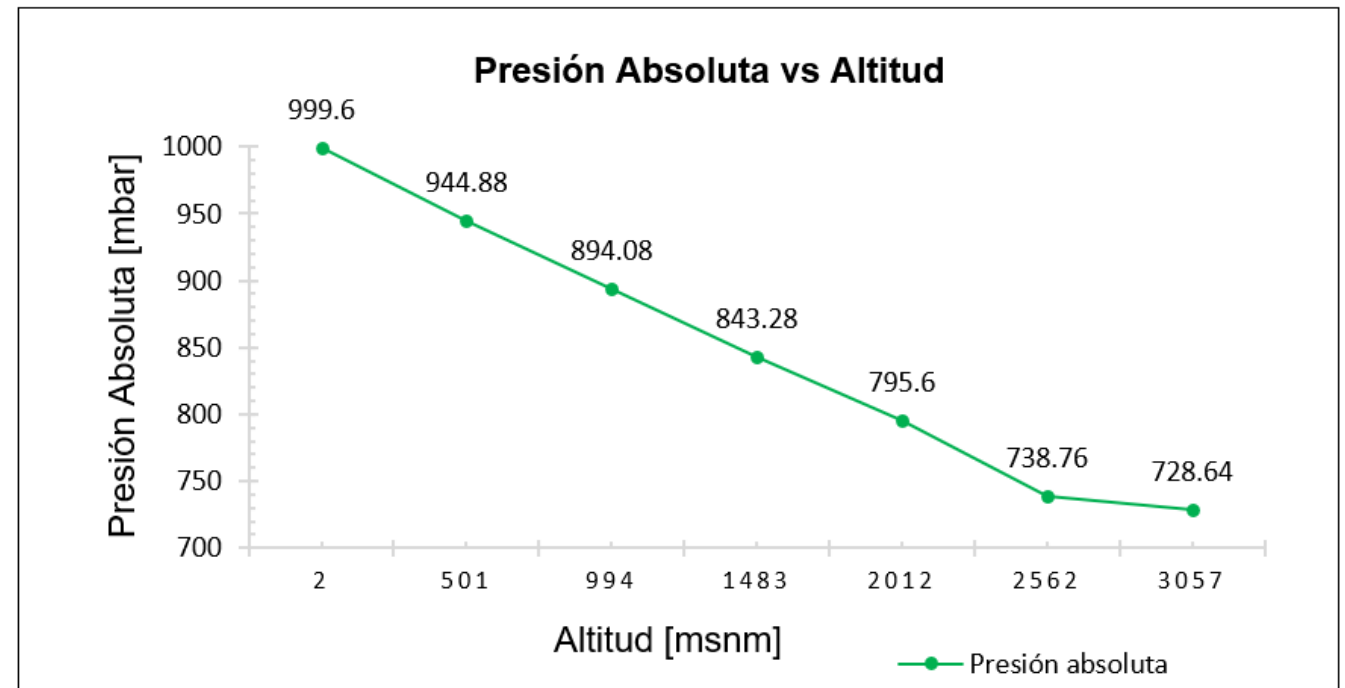
Análisis de la presión absoluta el múltiple de admisión

Altitud	Presión Absoluta con Vehículo en Ralentí					
	RPM			Presión Absoluta[mbar]		
	Con válvula	Sin válvula	%Δ	Con válvula	Sin válvula	%Δ
2	686	738	8%	426.72	346.8	-19%
501	700	702.8	0%	396.24	350	-12%
994	717	729	2%	306	290	-5%
1483	753	762	1%	267.84	256.9	-4%
2012	790.4	787.2	0%	272.16	272.16	0%
2562	809.6	816	1%	238.08	326.4	37%
3057	816	818	0%	262.08	322.08	23%

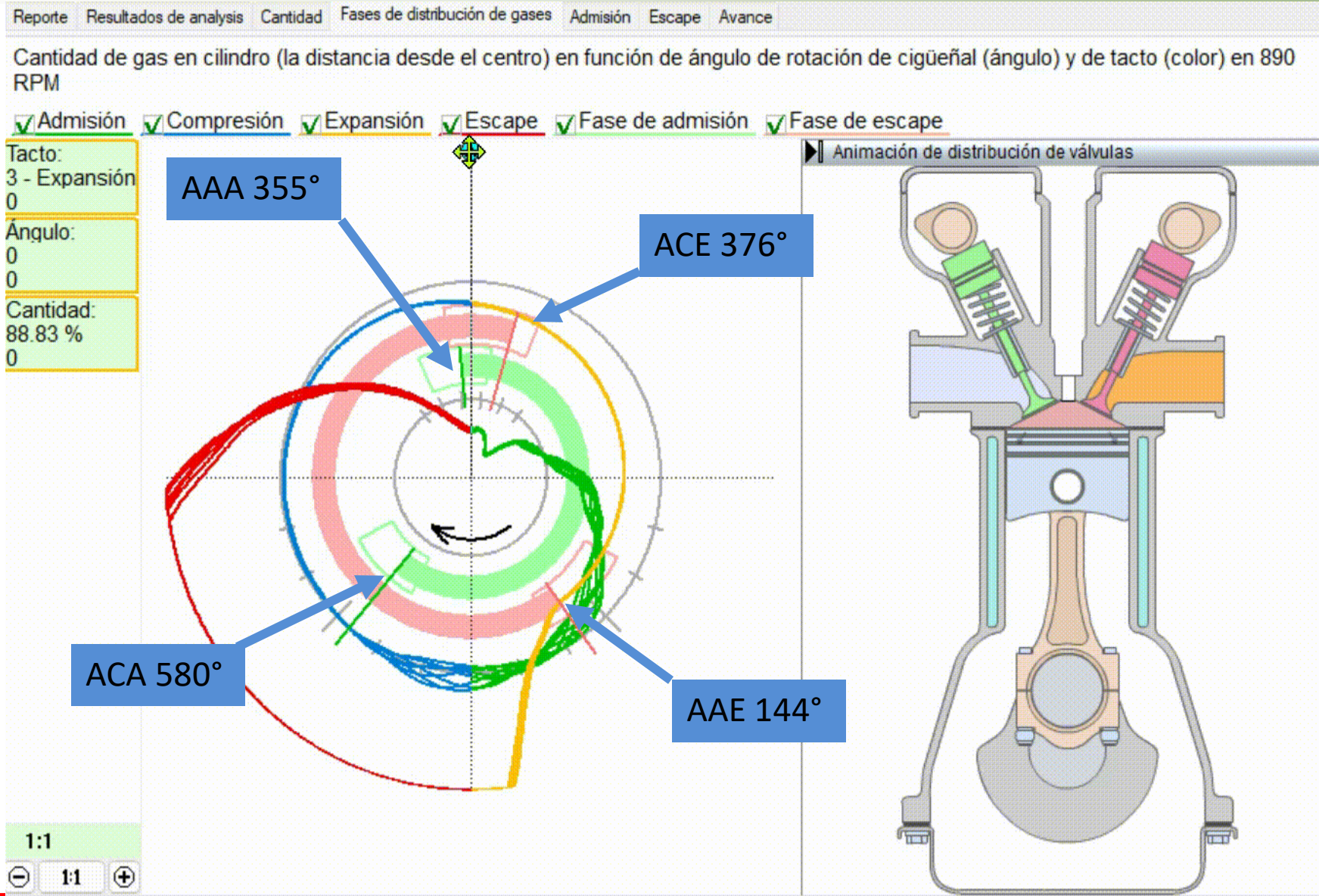


Análisis de la presión Absoluta en el múltiple de admisión apagado el vehículo.

Datos con vehículo apagado	
Altitud [msnm]	Presión Absoluta [mbar]
2	999.6
501	944.88
994	894.08
1483	843.28
2012	795.6
2562	738.76
3057	728.64



Análisis de la fase de distribución de gases



Características generales del cilindro

CARACTERÍSTICAS GENERALES



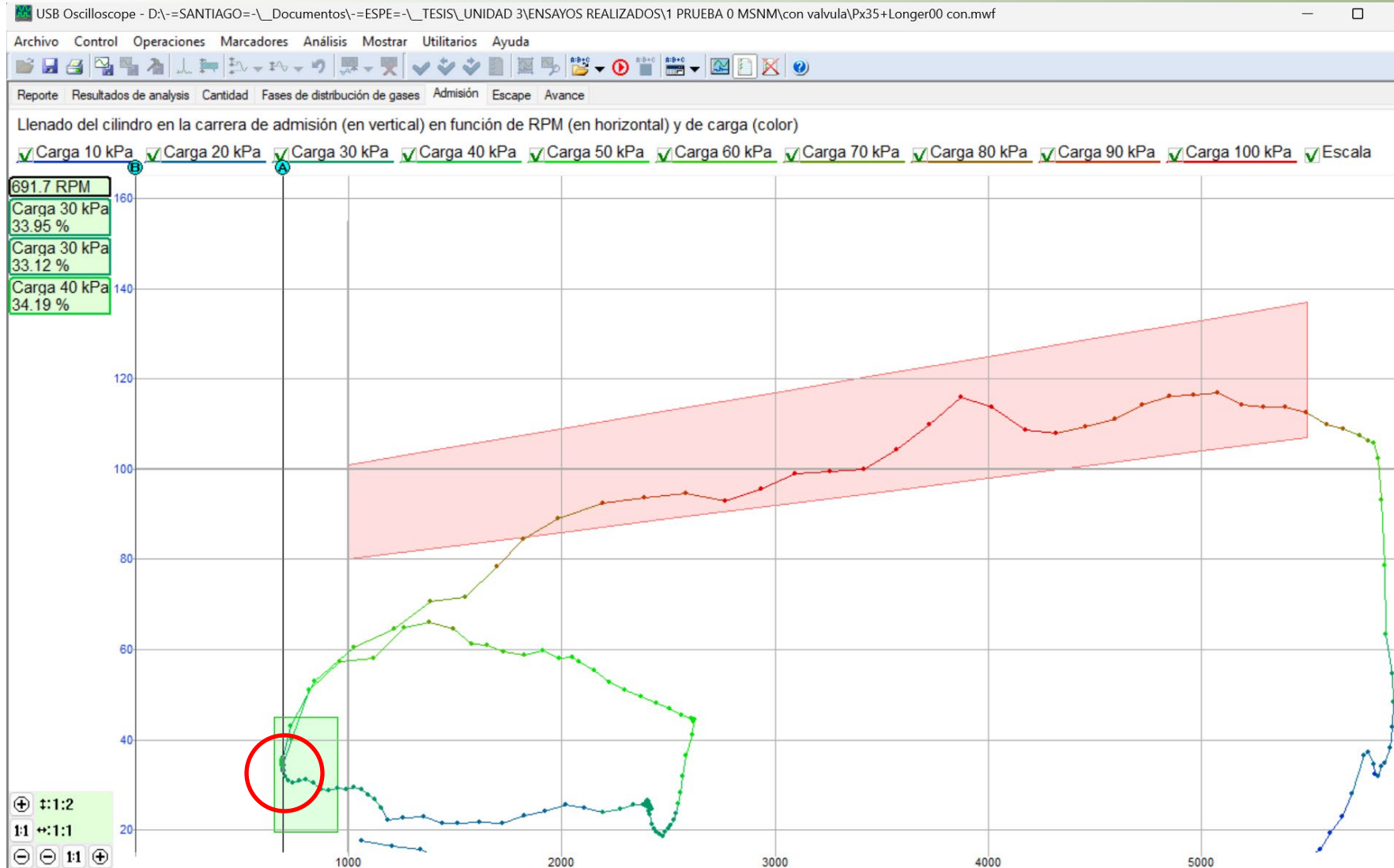
Pérdidas de gas en 810 RPM (15...20), %	26
Relación de compresión calculada (9:1...11:1)	11.4:1
RPM ralenti (650...950), RPM	810
Fases de distribución de gases en 930 RPM	
Ángulo de apertura de la válvula de escape (120...150), °	146
Ángulo de cierre de la válvula de escape (350...385), °	378
Ángulo de apertura de la válvula de admisión (335...370), °	352
Ángulo de cierre de la válvula de admisión (570...600), °	576

Variación de resultados a varias alturas

Características generales	Con válvula							Sin Válvula						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
Perdidas de gas en Ralenti (15-20) %	22	24	25	26	24	24	25	23	25	24	25	26	25	26
Relación de compresión calculada (9:1-11:1)	11.6	11.6	11.5	11.4	11.3	11.6	11.3	11.6	11.6	11.7	11.5	11.3	11.5	11.4
RPM ralenti (650-950) RPM	690	700	720	760	790	800	810	680	700	730	750	790	800	810
A.A.E (120 -150) °	143	143	143	145	145	145	145	144	143	144	144	144	145	146
A.C.E (360 -395) °	376	375	375	376	377	377	378	376	375	376	376	376	377	378
A.A.A (350 -385) °	359	358	356	354	353	352	350	359	360	356	355	355	353	352
A.C.A (585 -615) °	584	584	580	578	576	576	574	586	587	581	580	580	577	576



Análisis del llenado del cilindro en carrera de admisión



Análisis del llenado del cilindro en carrera de admisión

ADMISIÓN



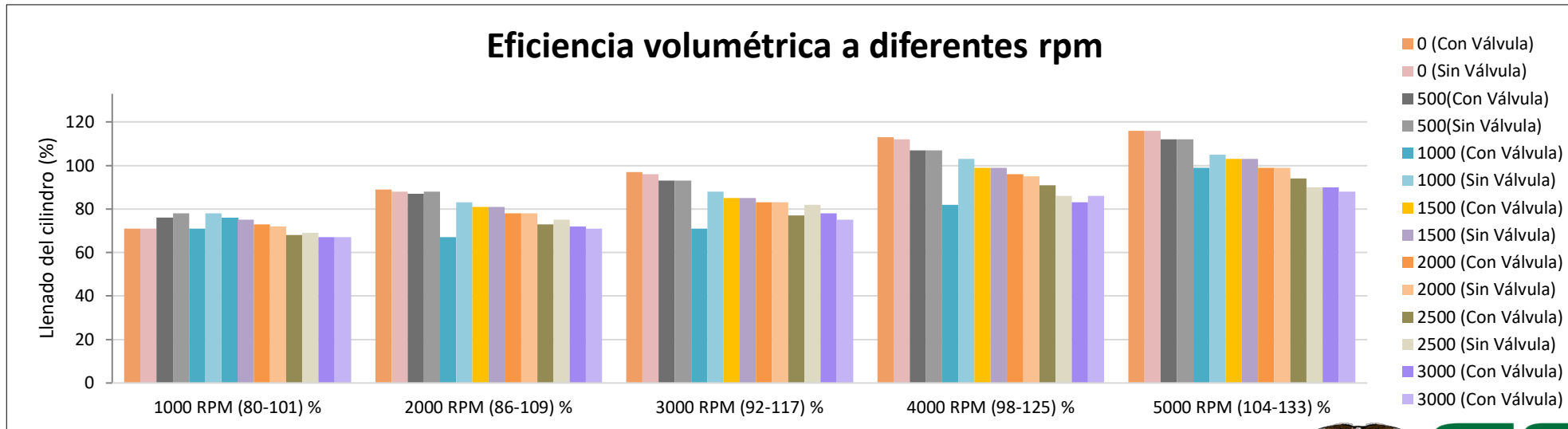
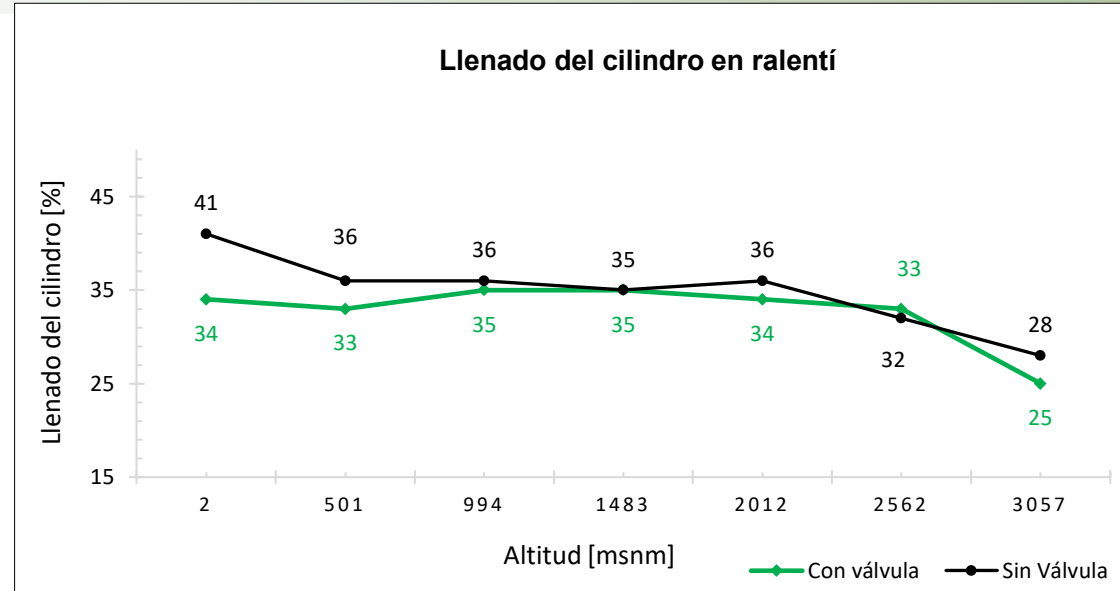
Llenado del cilindro en ralentí en 810 RPM (20...45), %	28
Eficiencia volumétrica	
en 1500 RPM (83...105), %	67
en 2000 RPM (86...109), %	69
en 2500 RPM (89...113), %	71
en 3000 RPM (92...117), %	72
en 3500 RPM (95...121), %	78
en 4000 RPM (98...125), %	86
en 4500 RPM (101...129), %	82
en 5000 RPM (104...133), %	88

Llenado del cilindro a varias alturas

Admisión	Con válvula							Sin Válvula						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
Llenado en ralentí														
RPM (20-45) %	34	33	35	35	34	33	25	41	36	36	35	36	32	28
Eficiencia volumétrica en														
1000 RPM (80-101) %	71	76	71	76	73	68	67	71	78	78	75	72	69	67
1500 RPM (83-105) %	78	78	70	78	75	70	70	76	80	80	78	75	73	69
2000 RPM (86-109) %	89	87	67	81	78	73	72	88	88	83	81	78	75	71
2500 RPM (89-113) %	94	90	67	83	80	75	73	92	90	86	83	80	76	72
3000 RPM (92-117) %	97	93	71	85	83	77	78	96	93	88	85	83	82	75
3500 RPM (95-121) %	103	98	76	90	88	82	87	102	98	93	91	88	90	78
4000 RPM (98-125) %	113	107	82	99	96	91	83	112	107	103	99	95	86	86
4500 RPM (101-129) %	111	106	79	97	94	87	96	110	106	100	97	95	93	82
5000 RPM (104-133) %	116	112	99	103	99	94	90	116	112	105	103	99	90	88
5500 RPM (107-137) %	113	109	107	101	97	90	97	113	109	103	100	97	103	98

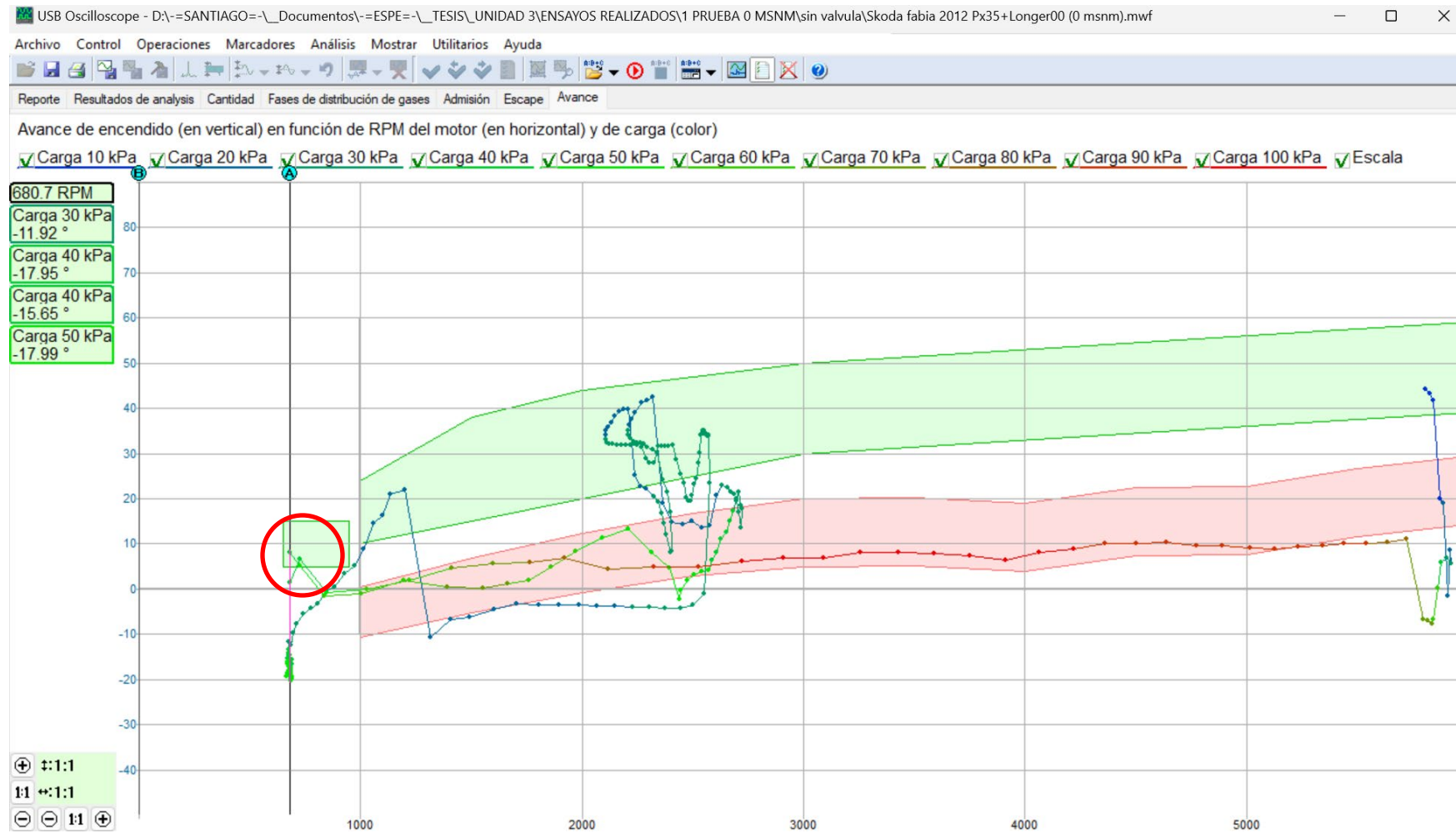


Análisis del llenado del cilindro en carrera de admisión




Análisis del avance de encendido

Prueba realizada a 0 msnm



Análisis del avance de encendido

AVANCE



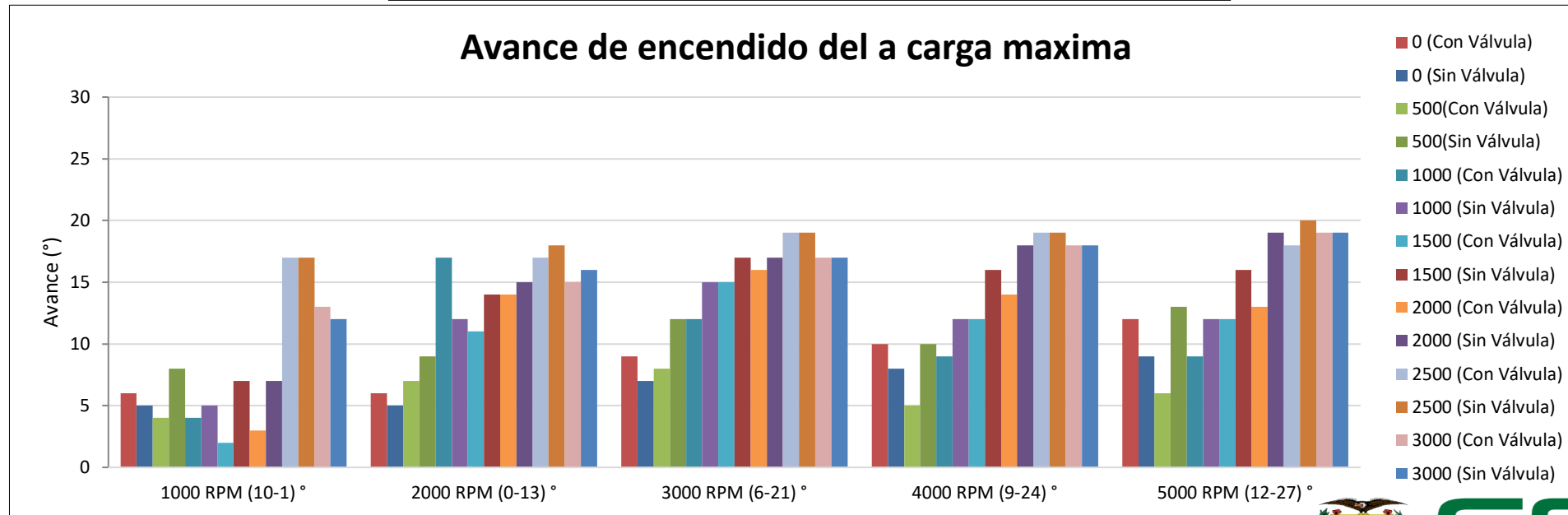
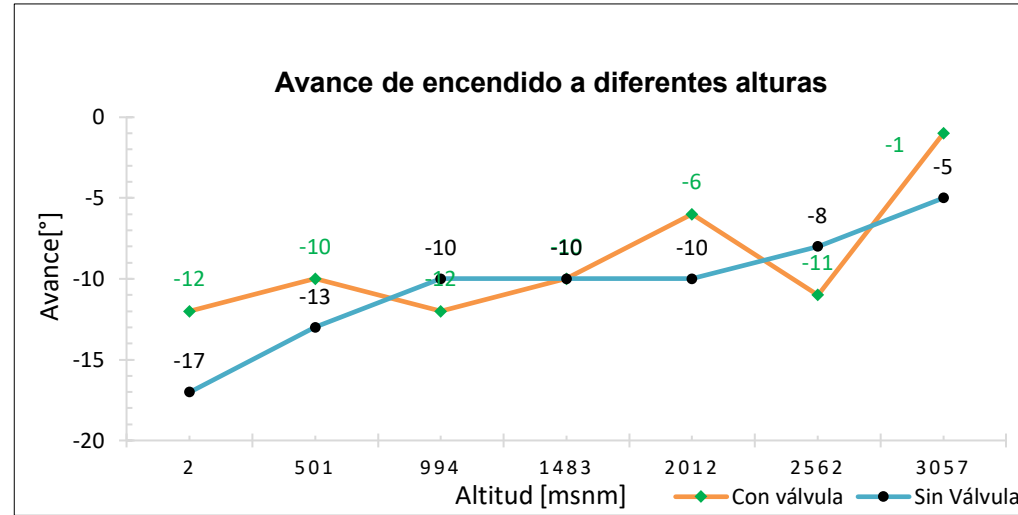
en ralentí	
en 680 RPM (5...15), °	-17
inestabilidad de sincronización de encendido (±0...1), °	±2
a carga máxima	
en 1000 RPM (-11...0), °	5
en 2000 RPM (-1...12), °	5
en 3000 RPM (5...20), °	7
en 4000 RPM (4...19), °	8
en 5000 RPM (8...23), °	9
en 6000 RPM (14...29), °	10

Avance de encendido a diferentes alturas

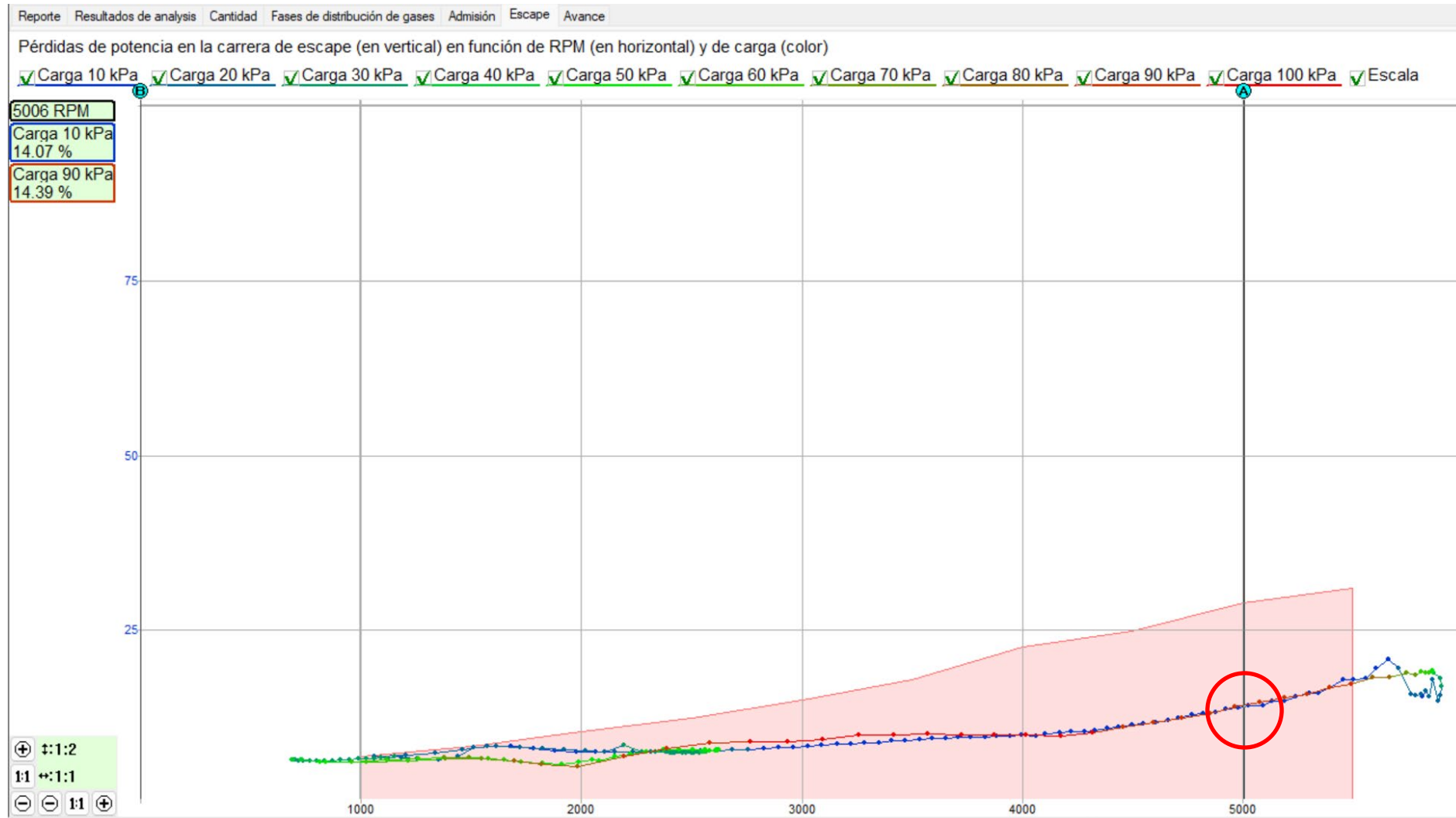
Avance	Con válvula							Sin Válvula						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
En ralentí														
RPM (5-15) °	-12	-10	-12	-10	-6	-11	-1	-17	-13	-10	-10	-10	-8	-5
A carga máxima														
1000 RPM (10-1) °	6	4	4	2	3	17	13	5	8	5	7	7	17	12
2000 RPM (0-13) °	6	7	17	11	14	17	15	5	9	12	14	15	18	16
3000 RPM (6-21) °	9	8	12	15	16	19	17	7	12	15	17	17	19	17
4000 RPM (9-24) °	10	5	9	12	14	19	18	8	10	12	16	18	19	18
5000 RPM (12-27) °	12	6	9	12	13	18	19	9	13	12	16	19	20	19



Análisis del avance de encendido



Análisis de pérdidas de potencia en la carrera de escape



Análisis de pérdidas de potencia en la carrera de escape

ESCAPE



Pérdidas de potencia en la carrera de escape

en 1000 RPM (0...7), %	2
en 2000 RPM (0...11), %	2
en 3000 RPM (0...15), %	3
en 4000 RPM (0...20), %	4
en 5000 RPM (0...25), %	8

Perdida de potencia de escape a varias alturas

Escape	Con válvula							Sin Válvula						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
Perdidas de potencia en														
1000 RPM (0-7) %	7	5	3	2	2	1	0	6	5	3	2	2	0	0
2000 RPM (0-11) %	6	5	3	3	2	1	0	7	6	2	2	2	1	0
3000 RPM (0-15) %	9	7	5	4	3	1	1	7	7	5	4	3	1	1
4000 RPM (0-21) %	10	8	6	5	4	1	2	10	8	6	5	4	2	3
5000 RPM (0-28) %	14	12	9	9	8	5	4	14	11	9	9	8	4	5

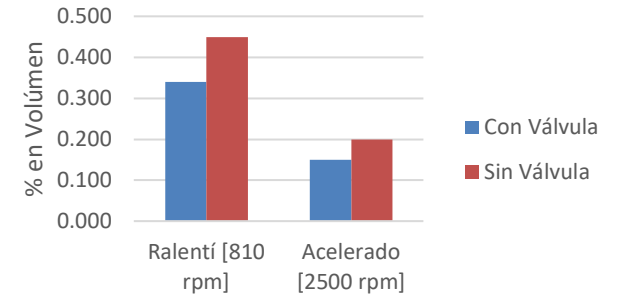


Análisis de Resultados en las Pruebas de Gases Contaminantes

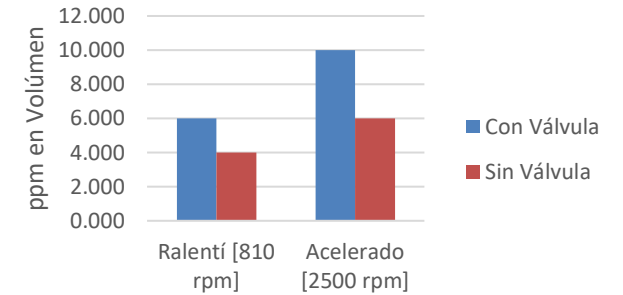
Análisis de Gases

	Con Válvula		Sin Válvula	
	Ralentí [810 rpm]	Acelerado [2500 rpm]	Ralentí [810 rpm]	Acelerado [2500 rpm]
CO [%Vol.]	0.010	0.010	0.060	0.020
CO2 [%Vol.]	15.000	15.000	14.700	14.900
O2 [%Vol.]	0.340	0.150	0.450	0.200
HC [ppmVol.]	6.000	10.000	4.000	6.000
Lambda	1.015	1.010	1.019	1.009

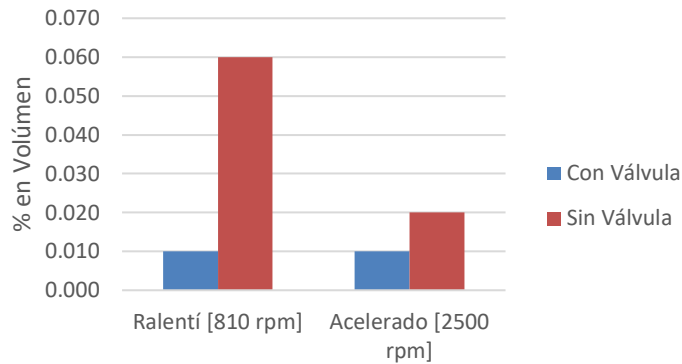
%O2 (Oxígeno)



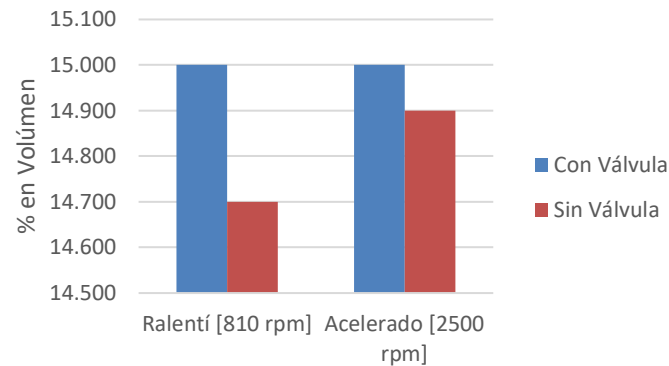
HC (ppmVol)



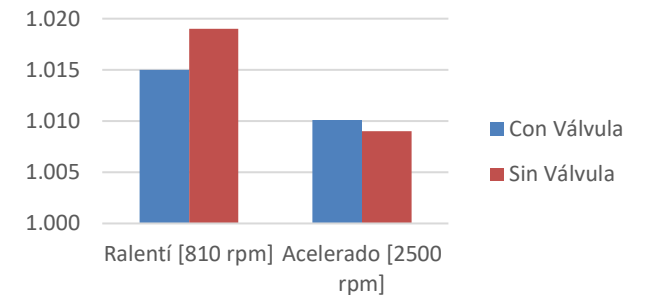
%CO (Monóxido de Carbono)



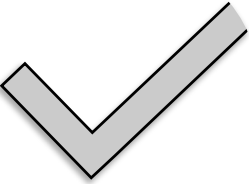
%CO2 (Dióxido de carbono)



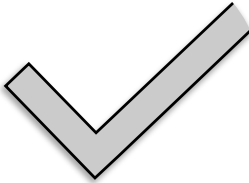
Lambda



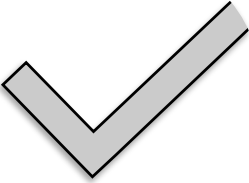
Conclusiones



La implementación de la válvula compensadora de altitud ha demostrado ser muy efectiva con una ganancia de un 13% en el llenado del cilindro en la etapa de admisión lo que ocasiona un aumento de la presión máxima del cilindro mejorando el rendimiento del motor.




En el análisis de oscilogramas generados por el transductor de presión sin dispositivo compensador de altitud en una altura lo más cercana al nivel del mar, se pudo observar como la gráfica característica de la presión absoluta del cilindro se desfasa según la altura a la que se encuentre el vehículo es decir que las características de llenado de gases van mejorando según aumenta la presión atmosférica y este mismo efecto podemos denotar con la válvula instalada pero en una menor magnitud en alturas superiores a los 1000 msnm, siendo esto una evidencia más que el compensador de altitud tiene efecto positivo en el llenado del cilindro.




Se ha registrado una reducción notable en las emisiones de monóxido de carbono. Lo que indica mejor combustión del motor, ya que una menor cantidad de CO indica una menor cantidad de combustible no quemado en los gases de escape.




Recomendaciones



Se sugiere un buen método para organizar la información como los protocolos y diagramas de flujo para llevar a cabo los procedimientos necesarios de recolección de datos y por ende una buena interpretación de datos.



Se recomienda la instalación de la válvula compensadora de altitud en un vehículo que circule sobre los 1500 metros de altitud donde se obtiene un mejor beneficio.



El equipo analizador de motores es necesario para visualizar, grabar y analizar el estado mecánico del motor de combustión interna de vehículos en buenas condiciones o con averías por lo que es recomendable una capacitación para el manejo del mismo y evitar errores de medición que pueden alterar los resultados finales.



GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA