

Estudi d'emissions evaporatives en tancs de combustible

FULLA D'IDENTIFICACIÓ DEL PROJECTE

TÍTOL DEL PROJECTE

Estudi de les emissions evaporatives en tancs de combustible.

DADES DE L'AUTOR DEL PROJECTE

- **Nom del autor:** Jordi De Fez Martínez
- **DNI:** 43565202-M
- **Estudis:** Grau en Enginyeria Mecànica
- **Direcció:** C/Ponent 12
- **Localitat:** Calafell, Tarragona
- **Email:** jordi1148@gmail.com
- **Telèfon:** 654015973 / 977692685

TUTOR DEL PROJECTE

- **Nom:** Josep Anton Picas Barrachina
- **DNI:** 77094934 S
- **Email:** Josep.picas@upc.edu

TRIBUNAL DEL PROJECTE

- **President:** Oscar Martin Raya
- **Secretària:** M. Teresa Baile Puig
- **Vocal:** Rafael Vidal Ferré

RESUM

Avui en dia, en el món on ens ha tocat viure, la tecnologia avança un ritme trepidant, i tots aquests avenços tecnològics tenen les seves parts positives i negatives. Una d'aquestes parts negatives és la contaminació, i més concretament la contaminació que es genera per part de l'automoció, la indústria pertinent o relativa a l'automòbil.

El canvi climàtic és un fet evident que afecta a tota la societat, és per això que des de la indústria de l'automoció s'ha intentat reduir les emissions contaminants. Les accions com la implantació del cotxe elèctric, la utilització de carburants alternatius, l'aplicació de normatives i lleis més estrictes pels fabricants de cotxes són petits avenços cap a un futur més sostenible.

L'objectiu d'aquest projecte és la detecció de fuites en tancs de combustible per tal de reduir qualsevol tipus de contaminació i així aportar el meu granet de sorra per a contribuir a un planeta més net.

En aquest projecte s'estudien les diferents parts del sistema de combustible per tal de saber com funcionen, tot seguit s'avaluaran els diferents mètodes que es poden utilitzar per dur a terme la detecció i posteriorment fer unes proves experimentals amb dos mètodes de detecció per tal de veure les possibles fuites i la mida d'aquestes i considerar si són acceptables o no segons la normativa específica que s'hi apliqui.

Els dos assaigs principals seran el primer, una caiguda de pressió on es controlarà la pròpia pressió de dins del tanc per determinar les fuites que aquest pot tenir. El segon assaig és més complex, consistirà en utilitzar nitrogen (N_2) injectant-lo en el tanc i controlant diversos paràmetres com la temperatura, la pressió i el cabal de nitrogen per detectar fuites amb diversos aparells més sofisticats.

Finalment, s'estudia l'impacte mediambiental que aquest projecte tindrà a l'hora de realitzar les proves de fuites. També s'inclou un pressupost detallat de tota la instrumentació i material que s'ha necessitat per a la realització d'aquest projecte.

ABSTRACT

Nowadays, in the world where we live, technology advances at a fast pace, and all these technological advances have their positive and negative sides. One of these negative parts is pollution, and more specifically the pollution generated by the automotive industry, the relevant or relative to the automobile.

Climate change is an obvious fact that affects all people, which is why, from the automotive industry, it has been tried to reduce polluting emissions in order to curb this change. Actions such as the implementation of the electric car, the use of alternative fuels, the application of stricter regulations and laws by car manufacturers, etc. that are small advances towards a more sustainable future.

The objective of this project is the detection of leaks in fuel tanks in order to avoid and reduce any type of pollution and thus contribute to a cleaner planet

Firstly, the different parts of the fuel system will be studied in order to know how they work, then the different methods that can be used to carry out the detection will be evaluated and then perform experimental tests with two methods of detection in order to see the possible leaks and their size and consider whether they are acceptable or not according to the specific regulations.

The two main tests will be the first, a pressure drop where the pressure inside the tank will be controlled to determine the leakage it may have. The second test is more complex, it will consist of using nitrogen (N_2) to inject it into the tank and control various parameters such as temperature, pressure and nitrogen flow to detect leaks

In addition, the environmental impact that the project can have at the same time as the leakage tests together with a detailed budget of all the instrumentation and necessary material will be studied.

INDEX

1. INTRODUCCIÓ	11
1.1. Motivació del projecte	11
2. OBJECTIU	12
3. BACKGROUND.....	13
3.1. Sistema EVAP	13
3.1.1. Control d'emissions evaporatives	14
3.1.2. Tanc de combustible.....	16
3.1.3. Powertrain Control Module (PCM)	16
3.1.4. Bomba de combustible	17
3.1.5. Coll d'entrada del combustible	18
3.1.6. Tapa del dipòsit	18
3.1.7. Sensor de pressió del tanc	19
3.1.8. Línies de combustible	19
3.1.9. Canister EVAP	20
3.1.10. Vàlvula de purga	20
3.1.11. Bomba de detecció de fuites	21
3.1.12. Línies i mànegues de ventilació	21
3.2. OBD com a eina de detecció de fuites	21
3.2.1. Conceptes bàsics del OBD II	24
3.2.2. OBD vs OBD II	25
3.3. Com escollir el millor mètode per detectar fuites	26
3.4. Per què el nitrogen és utilitzat per detectar fuites	27
3.5. Diferents tipus d'assaigs.....	28
3.5.1. Coneixements per seleccionar el millor mètode	29
3.5.2. Aplicació i detecció dels límits de detecció de fuites ...	30
3.5.3. Assaig de caiguda de pressió.....	32
3.5.4. Assaig de pujada de pressió.....	33
3.5.5. Test de bombolles.....	35
3.5.6. Detecció de fuites utilitzant mesuradors sensibles a certs gasos	37
3.5.7. Test de fuites amb heli.....	37
4. ASSAIGS EXPERIMENTALS.....	38
4.1. Normativa i procediment	39
4.1.1. Leak Check EPA TIER 3	39
4.1.1.1. Material assaig	42

4.1.1.2. Detalls de la instrumentació.....	47
4.1.2. Caiguda de pressió.....	51
4.1.2.1. Material assaig	52
4.1.2.2. Detalls de la instrumentació.....	55
5. EQUIPS DE MEDICIÓ I PRESA DE DADES	58
5.1. “Set up” assaig amb procediment EPA.....	58
5.1.1. Funcionament de la “set up”	59
5.1.2. ECP (Estació de Carrega Portàtil)	62
5.2. “Set up” assaig caiguda de pressió.....	64
5.2.1. Funcionament de la “set up”	65
6. RESULTATS	67
6.1. Mínim forat calculable amb procediment EPA	67
6.2. Mínim forat calculable amb caiguda de pressió	68
6.3. Comprovació de la lectura del cabal.....	69
6.4. Factor de correcció per el vapor de benzina	71
6.5. Comprovació de la fuita equivalent amb benzina	72
7. PRESSUPOST	75
7.1. Material “set up” procediment EPA	75
7.2. Pressupost disseny configuració EPA.....	76
7.3. Material “set up” procediment caiguda de pressió ...	76
7.4. Pressupost disseny configuració caiguda de pressió .	77
7.5. Pressupost total	77
8. ESTUDI DEL IMPACTE MEDIAMBIENTAL.....	78
8.1. Disseny de la “set up”	78
8.2. Muntatge i experimentació	78
8.3. Procediment complet.....	78
9. CONCLUSIONS.....	80
10.BIBLIOGRAFIA	82

LLISTA DE FIGURES

Figura 1: Panell OBD II[1].....	13
Figura 2: Sistema EVAP [2].....	14
Figura 3: Components del sistema EVAP [3]	16
Figura 4: Esquema simplificat del OBD II [7]	25
Figura 5: Assaig integral / Assaig local [8]	30
Figura 6: Mètodes de detecció de fuites per sobrepressió [9].....	30
Figura 7: Mètodes de detecció de fuites per buit [10].....	31
Figura 8: Distribució de les fuites segons la mida [11]	31
Figura 9: Representació gràfica assaig caiguda de pressió [12]	32
Figura 10: Diferents tipus de comportament assaig de pujada de pressió [13]	34
Figura 11: Representació gràfica assaig pujada de pressió [14].....	34
Figura 12: Dibuix esquemàtic assaig de bombolles [18]	36
Figura 13: Segell Environmental Protection Agency (EPA) [16]	38
Figura 14: Bombona de N ₂ (200 bars) [Assaig EPA]	42
Figura 15: Regulador de cabal (Mass Flow Meter) [Assaig EPA]	42
Figura 16: Manòmetre regulador de baixes pressions AirLiquide [Assaig EPA].....	43
Figura 17: Sensor de temperatura [Assaig EPA]	43
Figura 18: Transductor de pressió [Assaig EPA]	43
Figura 19: Multímetre, termòmetre digital i font d'alimentació de 12 V [Assaig EPA].....	44
Figura 20: Vàlvula 3/2 (3 vies 2 posicions) [Assaig EPA].....	44
Figura 21: Master Jet RUBI ATEQ [Assaig EPA].....	44
Figura 22: Tanc de combustible confidencial [Assaig EPA]	45
Figura 23: Tanc de combustible segellat PHEV [Assaig EPA].....	45
Figura 24: Connexions de tubs o línies [Assaig EPA]	46

Figura 25: Bidó de benzina [Assaig EPA].....	46
Figura 26: Bombona N ₂ (200 bars) [Assaig caiguda de pressió]	52
Figura 27: Manòmetre regulador de baixes pressions AirLiquide [Assaig caiguda de pressió]	53
Figura 28: Transductor de pressió [Assaig caiguda de pressió].....	53
Figura 29: Multímetre i font d'alimentació de 12 V [Assaig caiguda de pressió]	54
Figura 30: Tancs de combustible (no foto, 100% confidencial) [Assaig caiguda de pressió]	54
Figura 31: Connexions de tubs o línies [Assaig caiguda de pressió].....	55
Figura 32: "Set up" sense tanc [Assaig EPA].....	60
Figura 33: "Set up" sense tanc [Assaig EPA].....	60
Figura 34: "Set up" amb tanc PHEV (tanc segellat) [Assaig EPA]	61
Figura 35: "Set up" amb tanc confidencial [Assaig EPA]	61
Figura 36: Ordinador amb programa SmartControl i controlador [Assaig EPA]	62
Figura 37: Exemple de cabal detectat a condicions determinades [Assaig EPA]	63
Figura 38: Exemple de cabal major detectat a condicions determinades [Assaig EPA].....	63
Figura 39: "Set up" amb tanc "confidencial" [Assaig caiguda de pressió]	66
Figura 40: Càlcul del temps estimat en assaig de caiguda de pressió [21]	68
Figura 41: Pes molecular benzina i nitrogen	71

LLISTA DE TAULES

Taula.1. Pressió en funció del voltatge en el transductor de pressió [Assaig EPA].....	48
Taula 2. Pressió en funció del voltatge en el transductor de pressió [Assaig caiguda]	56
Taula 3. Cabals de fuita a 2,4 kPa en funció del diàmetre i mínim forat calculable	67
Taula 4. Paràmetres utilitzats a l'assaig de caiguda de pressió.....	68
Taula 5. Taula de comprovació del cabal	69
Taula 6. Fuita produïda per el Master Jet RUBI.....	70
Taula 7. Assaig procediment complet+RUBI+Factor de correcció	72
Taula 8. Taula de treball del RUBI “calibrated orifice”	73
Taula 9. Material per el procediment EPA	75
Taula 10. Preu disseny configuració EPA	76
Taula 11. Material procediment caiguda de pressió	76
Taula 12. Preu disseny configuració caiguda de pressió.....	77

GLOSSARI (Llista d'acrònims i abreviacions)

Can-BUS: protocol de comunicacions que gestiona la comunicació entre CPUs.

Codi DTC (Diagnostic Trouble Codes): Codi que sorgeix de fer un escàner d'una fallada en el sistema EVAP i que es transmet al OBD per la seva visualització al panell de senyals.

Comprehensive Components Monitoring (també Comprehensive Components Diagnosis): Sistema de diagnòstic que comprova el funcionament de tots els components elèctrics i etapes finals, a base de mesurar la caiguda de tensió en el propi component.

Driving Cycle: Cicle de conducció, compost per la arrancada del motor, execució d'una funció de diagnòstic corresponent i parada del motor.

EN1771: Norma Standard Europea per la detecció de fuites

Generic Scan Tool: És el tester universal per trobar avaries, amb el que es poden consultar els missatges inscrits en la memòria d'averies.

HC: abreviació d'hidrocarburs.

Leak Check: assaig de detecció de fuites.

Leak Rate: Cabal de la fuita en $\text{mbar}\cdot\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ (S.I.)

PCM (Powertrain Control Module o també Engine Control Module (ECM)): Dispositiu encarregat de controlar tot els sensors que intervenen en el sistema EVAP.

SAE (Society of Automotive Engineers): Societat Americana d'Enginyeria de l'Automoció. Emet propostes i directives de com portar a la pràctica les exigències legals, per exemple, a través de normes.

“Set up”: configuració de instruments per portar a terme l'assaig corresponent.

1. INTRODUCCIÓ

El sistema de combustible dels cotxes de benzina és dividit en quatre subcategories diferents: el sistema de dipòsits, el sistema de distribució, el sistema de control d'emissions per evaporació (EVAP) i les línies de distribució. La finalitat del sistema EVAP és evitar que els hidrocarburs (HC) generats a causa de l'evaporació del combustible líquid s'alliberin lliurement a l'atmosfera. Aquestes partícules són nocives per a les persones i contaminants per el medi ambient, per tant, és fonamental que els vehicles propulsats amb un motor de combustió interna de benzina estiguin equipats amb un sistema de control EVAP. S'ha de tenir cura quan el cotxe estigui estacionat i durant el subministrament de combustible ja que el cotxe segueix produint emissions encara que no ens donem compte.

En aquest projecte s'estudiaran les possibles fuites d'un tanc de combustible amb un procediment que treballarà amb nitrogen en estat gasós per poder avaluar l'estat del tanc i determinar les fuites que aquest pugui tenir i més tard estudiar i avaluar aquests resultats per poder determinar si el tanc compleix o no amb la norma i posteriorment determinar la mida de la fuga i dir si es correcte o no per ser comercialitzat. A més d'aquest assaig, se'n realitza un altre conegut com a caiguda de pressió per tal comparar-los.

1.1 Motivació del projecte

Com a enginyers, el nostre treball es assegurar-nos que els vehicles amb els que nosaltres treballem compleixin amb els procediments i les normatives vigents de seguretat, emissions, conformitat d'estàndards, etc. Per això és molt important saber tot el que estem fent i per que ho estem fent, es per aquesta raó que les normatives que tenim que aplicar han de estar completament enteses per poder treballar correctament.

La part motivacional del projecte és bàsicament la passió per la automoció i el sentiment cap al medi ambient per tal de cuidar-lo i tenir-ne cura, per tant la idea principal és la de intentar reduir les emissions produïdes per els combustibles fòssils i així contribuir a la lluita contra el canvi climàtic.

En el projecte es tindrà en compte des del principi el criteri enginyeril al que es sotmetrà el nostre procediment i els resultats d'aquest mateix. Per aquest motiu el procediment seguit serà una successió de decisions basades purament en la lògica i en el càlcul experimental que es realitzarà alhora de calcular els resultats i més endavant avaluar-los per poder donar un informe complet del seguiment i resultats finals del assaig.

2. OBJECTIU

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar les emissions evaporatives en els tancs de combustible per tal d'aconseguir saber si un tanc de combustible d'un vehicle es apte o no per al seu us, el procediment que seguirem per validar el tanc i que compleixi els estàndards de qualitat serà un Leak Check o test de detecció de fuites.

Ens centrarem en els components que formen els diferents tipus de sistema de control en el sistema de combustible juntament amb dos tipus d'assaigs per tal de determinar les fuites que afavoreixin les emissions perjudicials per al medi ambient i reduir-les. El primer assaig serà una caiguda de pressió on es controlarà la pròpia pressió de dins del tanc per determinar les fuites que aquest pot tenir. El segon assaig és més complex, consistirà en utilitzar nitrogen (N_2) injectant-lo en el tanc i controlant diversos paràmetres com la temperatura, la pressió i el caudal de nitrogen per detectar fuites.

Per començar parlarem de les emissions que es formen a dins del dipòsit de combustible, aquestes consisteixen en una mescla d'aire i HC, on la concentració de HC varia a causa dels canvis en la temperatura ambiental i augmenta la temperatura al tanc durant la conducció i per les pròpies condicions meteorològiques ambientals en les que es condueix. Una temperatura més alta provoca l'evaporació del combustible i aquest procés provoca emissions de vapor de combustible del dipòsit. Hi haurà també emissions per evaporació de les pèrdues de permeació de tots els components del sistema de combustible. Aquestes pèrdues es controlen reduint l'ús de plàstics amb alta permeabilitat i també utilitzant components del sistema de combustible metàl·lic en lloc de plàstics.

Durant l'abastiment del combustible, els HC sortiran del dipòsit cap a un petit recipient anomenat canister, on el HC s'absorbeix amb el carbó actiu que conté i l'aire net surt a l'atmosfera lliure de contaminació. Quan el cotxe estigui en marxa, durant la baixa càrrega del motor, es a dir, a poques revolucions, com per exemple, a ralenti, es crearà una pressió de buit al motor i això expulsarà l'aire net l'atmosfera a través del recipient on s'allibera el carboni absorbit per canister, els vapors amb hidrocarburs són enviats al motor on es cremen. Aquest procés es conegut com a purga i té una durada aproximada de 20 segons (pot variar en funció de la programació del fabricant). El flux que generat per aquets hidrocarburs es regula obrint i tancant la seva vàlvula, anomenada vàlvula de purga.

3. BACKGROUND

3.1. Sistema EVAP

Quan pensem en el control de les emissions dels vehicles, el primer que ens ve a la ment són les emissions que es produeixen dins del motor i que surten per el tub d'escapament. No obstant, amb els vehicles actuals de gasolina, no només són importants les emissions d'escapament resultants de la combustió, sinó que, es controlen també els gasos que s'evaporen dins del dipòsit de combustible, del motor i totes les peces i components que hi intervenen, ja que també són una font important de contaminació d'hidrocarburs.

Els profunds canvis que es manifesten en la atmosfera a causa de les activitats de l'ésser humà, i les greus conseqüències amb què s'ha de comptar per la biosfera terrestre, fan sorgir, entre altres coses, la necessitat de reduir i controlar de forma considerable les emissions contaminants dels vehicles autopropulsats. Per aconseguir aquest objectiu es va implantar el On Board Diagnostic, abreujat OBD, que significa diagnòstic de bord. Es tracta d'un sistema de detecció integrat en la gestió del motor del vehicle, que vigila contínuament els components que intervenen en les emissions d'escapament. Si sorgeix qualsevol anomalia, el sistema ho detecta, memoritza i envia una senyal que és visualitza a través del pilot d'avís de gasos d'escapament (Fig. 1).



Fig. 1: Panell OBD II amb diferents pilots i avisos[1]

A un termini més llarg està previst que les fallides i els errors en el sistema d'escapament, en el sistema de combustible i en el cotxe en la seva totalitat i la consegüent declinació de les emissions ja es puguin detectar en fer revisions en les vies públiques utilitzant un simple lector OBD.

El sistema EVAP consta de diferents components segons el model d'automòbil, l'any de fabricació, el tipus de motor i les legislacions de les emissions del lloc d'on prové. Per exemple, la marca sueca Volvo fabrica dos sistemes EVAP diferents, un sistema per als EUA, Canadà i Corea del Sud, anomenat sistema nord-americà i un altre sistema per a Europa i la resta del món, anomenat sistema de la UE. El sistema EVAP es pot veure a

la Figura 2. La principal diferència entre aquests dos sistemes és que es necessita un filtre d'aire i una unitat de detecció de fuites per al sistema nord-americà, a causa de legislacions més estrictes sobre emissions, però no per al sistema de la UE.

Si el sistema de combustible no està equipat amb un sistema EVAP i, per tant, obert a l'atmosfera, pot estar contínuament expulsant emissions durant les 24 hores del dia fins i tot quan el cotxe està estacionat en un pàrquing. Aquí és on entra el sistema EVAP (Fig.2). El Sistema de Control de Emissions Evaporatives (EVAP) s'utilitza per prevenir que els vapors procedents de la gasolina escapin a l'exterior des de el dipòsit de combustible i el sistema de combustible durant totes les fases del dia.

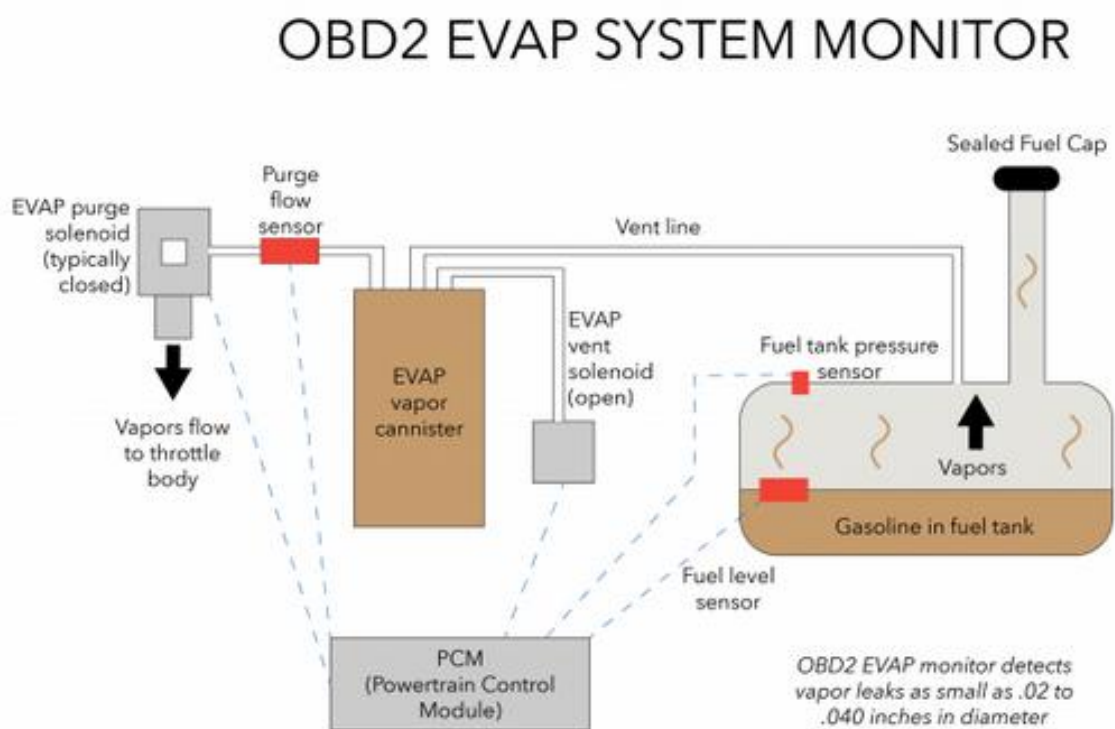


Fig. 2: Sistema EVAP [2]

3.1.1. Control d'emissions evaporatives

Els sistemes EVAP s'han requerit en vehicles de gasolina des de fa bastants anys, concretament des dels anys setanta. Un sistema de combustible típic consisteix en diverses parts: el dipòsit de combustible, un recipient d'emmagatzematge de vapor ple de carbó vegetal més conegut com a canister, vàlvules, mànegues o línies de combustible i una tapa de gas que tanca el tanc de combustible (veure Fig. 3). El sistema EVAP està dissenyat per evitar que les emissions del sistema de combustible surtin directament a l'atmosfera.

Per les línies de ventilació, des del dipòsit de combustible, passen els vapors plens d'hidrocarburs fins al canister, on queden atrapats i emmagatzemats fins que s'inicia el motor. Quan el motor s'escalfa i el vehicle es comença a moure, el PCM (Powertrain Control Module) obre una vàlvula de purga que permet que els vapors s'extreguin del dipòsit d'emmagatzematge (canister) al col·lector d'admissió. Després, els vapors del combustible es cremen al motor juntament amb la barreja d'aire i combustible, aquests vapors afavoreixen la combustió ja que estan compostos per hidrocarburs que al cremar-se donaran una millor mescla afavorint la ignició i consegüentment el funcionament del motor.

Els sistemes EVAP són sistemes actius que requereixen molt poc manteniment. Als vehicles pre-OB2 II, el programari PCM (Power Control Module) no tenia cap mètode per verificar que el sistema EVAP funcionés tal com estava dissenyat. L'única vegada que es va prestar atenció a aquest sistema va ser quan es va produir un error en un component que permetia que el combustible del dipòsit fos arrossegat al motor creant una condició extremadament abundant en hidrocarburs o quan una fallada del component generés una fuga de buit creant una condició de barreja magra . Aquests dos problemes es diagnosticaven normalment com a problemes de rendiment, no com d' emissions.

Als vehicles equipats amb el OB2 II, el PCM controla el sistema de combustible per obtenir fugites de vapor de combustible per assegurar-se que els hidrocarburs no surten a l'atmosfera. El monitor EVAP fa dues coses: verifica que hi hagi flux d'aire del dipòsit EVAP al motor i que no hi hagi fugites al dipòsit de combustible, al canister EVAP o a les línies de vapor del sistema de combustible.

El PCM gestiona un monitor de diagnòstic EVAP en vehicles equipats amb OB2 II sota certes condicions de conducció per detectar fugites de vapor de combustible i, si ho troba, establirà un codi de fallada DTC i il·luminarà la llum del motor de verificació. No obstant això, el monitor EVAP només funciona en condicions d'operació molt precises, incloses les característiques de funcionament del motor, els requisits de temperatura ambient i els requisits de volum del dipòsit de combustible.

La rutina de diagnòstic que porta a terme el PCM és capaç de detectar fugites extremadament petites que poden ser difícils d'aïllar i reparar. A continuació farem una ullada a alguns dels components de les emissions evaporatives i explicarem les seves funcions.

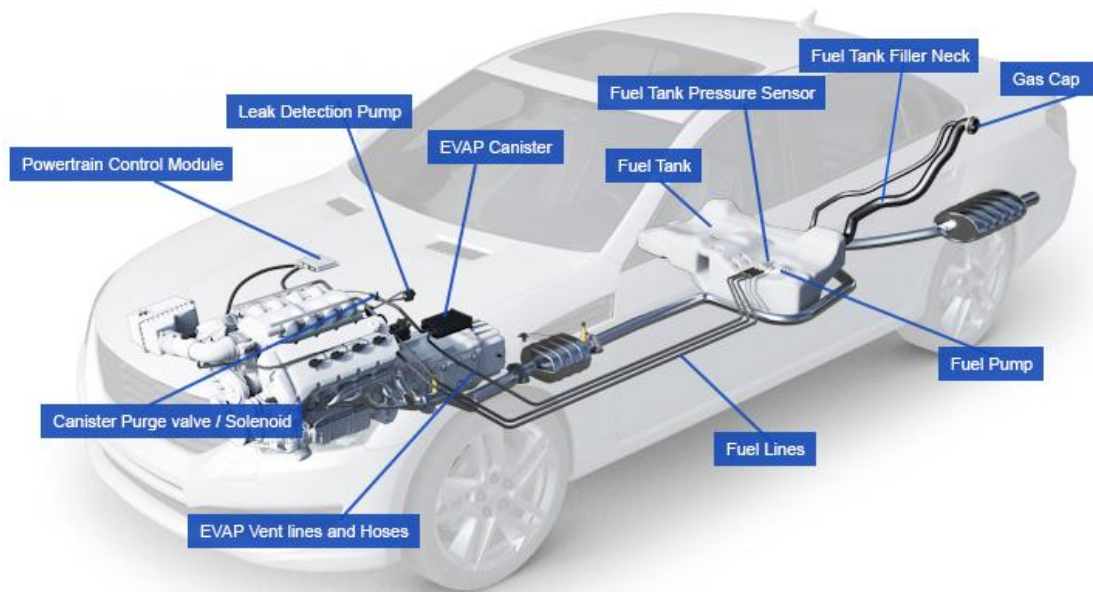


Fig. 3: Components del sistema EVAP al complet [3]

3.1.2. Tanc de combustible

La seva funció és emmagatzemar el combustible que necessiten els injectors per la combustió del motor. El tanc està dissenyat per ser hermètic, incloses totes les parts del tanc en els punts d'accés tant com les vàlvules, sensors, juntes o tub d'entrada per al lliurament de combustible i tots els components EVAP. El dipòsit també està dissenyat per emmagatzemar el volum de vapor de combustible abans del seu lliurament al dipòsit d'emmagatzematge (canister) EVAP.

Les ruptures o fallides de les parts inferiors del dipòsit de combustible provoquen fuites evidents de combustible. Els errors localitzats a la part superior del tanc no provoquen fuites de combustible visibles, però permetran que les emissions evaporatives (vapors de gasolina) escapin a l'atmosfera. En els vehicles equipats amb OBD II, es detectaran aquestes fallides durant el seguiment del sistema EVAP.

3.1.3. Powertrain Control Module (PCM)

El PCM dels vehicles OBD II és responsable de provar la integritat del sistema EVAP i de mesurar adequadament els vapors de gasos emmagatzemats al motor durant determinades condicions de funcionament del vehicle. El PCM compleix aquestes tasques controlant les condicions de funcionament del motor, les condicions de

funcionament del vehicle, el nivell de combustible, el temps entre els cicles i la temperatura ambient.

Per provar la integritat del sistema EVAP, el PCM executa un monitor de diagnòstic EVAP en determinades condicions de conducció per detectar fuites de vapor de combustible i, si ho troba, establirà un codi de fallada DTC i il·luminarà la llum del motor de verificació. No obstant això, el monitor EVAP només funciona en condicions d'operació molt precises, incloses les característiques de funcionament del motor, els requisits de temperatura ambient i els requisits de volum en el dipòsit de combustible.

Per tal de mesurar adequadament el vapor de gas emmagatzemat al canister EVAP, el PCM verifica si es compleixen determinades condicions de funcionament del motor i del vehicle en si. Quan el motor s'escalfa i el vehicle és conduït, el PCM obre la vàlvula de purga del recipient permetent que els vapors s'extraguin del dipòsit d'emmagatzematge i es transportin al col·lector d'admissió. Després, els vapors del combustible es cremen al motor juntament amb la barreja d'aire i combustible. El PCM pot controlar la quantitat de vapor que s'aboca al motor pel senyal del sensor d'oxigen i fer que les correccions de la mescla siguin les necessàries per limitar les emissions excessives expulsades pel tub d'escapament.

3.1.4. Bomba de combustible

Els sistemes d'injecció de combustible funcionen amb pressions de combustible elevades, normalment en el rang de 40-60 psi, o més alt si és per a la injecció directa. Per aconseguir un correcte flux de pressió i volum, les bombes de combustible són generalment motors elèctrics situats al dipòsit de combustible que, al mateix temps, utilitzen el combustible del dipòsit per refredar la bomba i assegurar un subministrament constant de combustible.

Als vehicles equipats amb l'OBD II, el PCM controla l'alimentació de la bomba de combustible. El PCM de la majoria dels sistemes opera la bomba a través del relé de la mateixa bomba de combustible durant el funcionament normal del motor i pot apagar la bomba si el vehicle està en una posició antinatural, com per exemple una inclinació anormal deguda a un accident, o si s'hi indica una pressió d'oli baixa. Amb alguns vehicles OBD II, el PCM controla la pressió del combustible a través de la modulació de l'amplada de pols de la tensió a la bomba; això permet utilitzar un motor elèctric més petit i lleuger reduint la càrrega elèctrica.

En molts sistemes de combustible, la bomba és una part integral del conjunt d'enviament del dipòsit de combustible. El conjunt de la unitat d'enviament de combustible pot ser una combinació de la bomba de combustible elèctrica, el filtre i els sensors electrònics utilitzats per mesurar la quantitat de combustible i la pressió del tanc. Les dades d'aquests sensors són utilitzades pel PCM i es mostra a l'indicador de nivell de combustible del tauler d'informació.

Una pressió baixa del sistema de combustible a causa de la bomba de combustible pot ser causada per una bomba defectuosa o una connexió elèctrica deficient a la bomba o al relé d'aquesta. Els filtres de combustible parcialment obstruïts o els reguladors de pressió del combustible defectuosos també poden causar una pressió de combustible baixa. La pressió elevada del combustible pot ser causada per la restricció de les línies de retorn de combustible al tanc o un regulador de pressió del combustible defectuós.

3.1.5. Coll d'entrada de combustible

El coll del dipòsit de combustible sol ser un tub metàl·lic o de plàstic rígid ventilat connectat al dipòsit de combustible mitjançant una unió flexible hermètica en un extrem; amb l'extrem d'entrada configurat amb el maquinari de restricció de combustible i a l'accés per reforçar la ventilació del vapor. La part superior del coll del dipòsit pot ser embussada i roscada per a posar i segellar una tapa de gas. Els colls de recanvi més recents poden tenir un disseny sense capa amb una tapeta auto-segelladora i amb una molla en lloc d'una tapa de gas tradicional.

3.1.6. Tapa del dipòsit

Les tapes de gasos es troben entre els components més crítics del sistema de combustible i, si no estan correctament dissenyades, calibrades i instal·lades, poden provocar que el sistema OBD II mostri un missatge d'advertència per al conductor. Les tapes de gasos poden ser ventilades o no ventilades i han de ser substituïdes per la tapa d'estil adequada perquè el sistema EVAP funcioni sense provocar un mal rendiment per a comprovar els problemes que poden sorgir.

La majoria de tapes dels vehicles equipats amb l'OBD II permeten que l'aire fresc entre el dipòsit de combustible iguali la pressió interna a l'atmosfèrica, compensant el volum de combustible perdut durant el buidatge normal del dipòsit a través de la conducció. Les tapes de gasos també permeten que pràcticament no hi hagi vapors de gasolina ni combustibles líquids que retrocedeixin a l'atmosfera de la pressió de vapor acumulada per l'evaporació de la gasolina en el dipòsit de combustible o durant un revolt del vehicle. Això es realitza mitjançant un segellat hermètic de la tapa cap.

Als vehicles OBD II, els errors de les tapes de gasos són força habituals. Es descobreixen quan el PCM executa el monitor EVAP durant el funcionament normal del motor, el monitor EVAP no funciona correctament i el PCM emmagatzema un codi de fallada DTC i il·lumina la llum del motor de verificació. Per a les tapes de gasos que no estiguin acoblades correctament o soltes, el PCM sol establir un codi P0440 DTC que indica que hi ha una gran fuga.

3.1.7. Sensor de pressió del tanc de combustible

El sensor de pressió del dipòsit de combustible forma part del conjunt d'unitat d'enviament de la bomba de combustible i està muntat a la part superior del dipòsit de combustible o dins del tanc. Aquest sensor de pressió mesura la pressió positiva i negativa del dipòsit de combustible.

El sensor llegeix la pressió en el dipòsit de combustible principalment durant el control del sistema EVAP. El PCM utilitza la lectura de la pressió per detectar fuites evaporatives. Quan les lectures del sensor indiquen una fuga, o si el sensor mateix falla, el PCM estableix un codi DTC i il·lumina la llum del motor de verificació.

3.1.8. Línies de combustible

Les línies o tubs de combustible connecten tots els components del sistema de combustible. Les línies rígides solen estar formades per un tub d'acer que ha estat xapat, en alguns sistemes s'utilitza tub de plàstic rígid. Estan fixades al marc i al motor, minimitzant les vibracions i mantenint-les allunyades dels col·lectors d'escapament, tubs d'escapament i silenciadors.

En els punts d'adherència on hi ha molt moviment, per exemple, entre la bomba i el motor s'utilitzen longituds curtes de línies flexibles de combustible. Aquestes línies flexibles estan fabricades amb cautxú resistent a gasolina d'alta pressió, acer trenat o plàstic d'alta pressió. És molt important substituir les línies de combustible amb

components o materials de recanvi adequats a la seva maquinaria de connexió. Les fuites o danys a les línies poden causar problemes per aconseguir una pressió adequada del sistema de combustible i un funcionament segur del sistema.

3.1.9. Canister EVAP

El canister EVAP és generalment un recipient de plàstic rectangular muntat en algun lloc del vehicle, normalment està localitzat en la part superior d'alguna roda davantera, a prop del motor. El recipient està ple de carbó actiu, que absorbeix i emmagatzema vapors del combustible. Els vapors s'emmagatzemen al dipòsit fins que el motor es posa en marxa i comença la purga del canister. El PCM obre llavors la vàlvula de purga del recipient, que permet el buidat per atraure els vapors al motor on tota la barreja de HC es crema afavorint la combustió. Aquest procés es anomenat purga. El recipient EVAP està connectat al dipòsit de combustible a través de la línia de ventilació del tanc. Els problemes del recipient EVAP inclouen un control de purga defectuós o solenoides de ventilació o fuites del mateix recipient.

3.1.10. Vàlvula de purga del canister EVAP

La vàlvula de purga del canister o el solenoide de purga és una vàlvula que funciona elèctricament que permet al motor treure vapors de gasolina del recipient EVAP.

El PCM acciona el solenoide de purga durant les condicions normals de conducció i també opera la vàlvula durant el control del sistema EVAP. El PCM pot detectar qualsevol problema elèctric amb el solenoide sempre que el motor estigui funcionant a través d'un procés conegut com a monitoratge continu de components.

El PCM pot avaluar la capacitat de la vàlvula per mantenir i alliberar el contingut durant el control del sistema EVAP. En qualsevol cas, si el PCM detecta un problema, el PCM estableix un codi DTC i il·lumina la llum del motor de verificació.

Les vàlvules de purga del dipòsit de vegades queden obstruïdes o obertes parcialment a partir de restes o partícules del carbó extret a través del canister, donant així un error.

3.1.11. Bomba de detecció de fuites (LDP)

Alguns fabricants de vehicles utilitzen una bomba de detecció de fuites (Leak Detector Pump) com a font de pressió per dur a terme proves de pressió positiva del sistema EVAP durant la monitorització del sistema. El LDP és una bomba amb solenoides i vàlvules de retenció que bomben aire al dipòsit de combustible i al canister de carbó actiu. El PCM controla el funcionament del LDP durant la monitorització del sistema EVAP. Una vegada el sistema EVAP està a la pressió corresponent, el PCM pot mesurar la baixada de pressió del sistema.

El PCM pot detectar qualsevol problema elèctric amb la bomba de detecció de fuites, sempre que el motor estigui funcionant, a través d'un procés conegut com a monitoratge continu de components. El PCM pot avaluar la capacitat del LDP per crear i mantenir la pressió durant el control del sistema EVAP. En qualsevol cas, si el PCM detecta un problema, el PCM estableix un codi DTC i il·lumina la llum del motor de verificació.

3.1.12. Línies i mànegues de ventilació EVAP

Les línies de ventilació EVAP són similars a les línies de combustible però amb un diàmetre més petit i funcionen sota condicions de pressió molt baixes o fins i tot de buit. Les línies EVAP uneixen tots els components del sistema EVAP amb el col·lector d'admissió del motor. Aquestes línies rígides poden ser d'acer o tubs de plàstic rígids.

En els punts d'adherència on hi ha molt moviment, per exemple, en el motor, s'utilitzen longituds curtes de línia flexible de ventilació. Les línies EVAP amb fuites o danyades poden causar problemes durant la monitorització del sistema EVAP. Si el PCM detecta una fuga durant les proves, el PCM estableix un codi DTC i il·lumina la llum del motor de verificació. Malauradament, el PCM només indica que hi ha una fuga, no on realment hi està localitzada. Les fuites petites en el sistema EVAP, com ara una línia de ventilació porosa o trencada, poden ser difícils d'aïllar i reparar.

3.2. OBD com eina de detecció de fuites

Les emissions evaporatives que genera la benzina en un vehicle i que apareixen en el dipòsit de benzina es deuen normalment a l'augment de la pressió amb la temperatura ambient durant un període de 24 hores. Les il·lustracions gràfiques s'utilitzen per explicar els mecanismes d'aquestes emissions i diversos mètodes de controls. Es poden controlar les emissions diürnes utilitzant un recipient de carboni actiu, més conegut com a canister, o un segellat del dipòsit de combustible a pressió.

Per diverses raons, es van desenvolupar models matemàtics per estimar la generació de vapor en el tanc i el volum contingut en el canister per emmagatzemar els vapors del dipòsit. Els nomògrafs eren desenvolupats per estimar els paràmetres requisits del aire de la purga del dipòsit i les emissions residuals del canister. Aquests models es poden utilitzar per dissenyar un sistema de control d'emissions per a un sistema de combustible determinat en els vehicles de combustió interna.

Es va desenvolupar un altre model matemàtic per estimar la pressió del dipòsit de combustible segellat hermèticament, en funció del combustible RVP (Pressió de Vapor Reid, en anglès Reid Vapor Pressure) i la temperatura. En un tanc de combustible, la zona compresa entre el combustible i la paret superior és on s'acumulen les concentracions de vapors. Aquesta concentració d'HC depèn de la Pressió de Vapor Reid (RVP) que és la volatilitat o la tendència d'un producte derivat del petroli a evaporar-se. Utilitzant diverses formules es pot calcular aquesta evaporació per controlar-la alhora de posar combustible i així reduir emissions contaminants. Per exemple, si un tanc conté combustible a 24°C que té una volatilitat de 9 RVP, el vapor resultant contindria un 38 % del volum d'HC el que correspon a uns 4 grams d'HC per casi 3,78 litres de combustible, que és al que es correspon aproximadament a un galó americà. Amb les següents equacions es pot calcular aquesta quantitat d'HC.

$$P = A.T.RVP.EXP\left(-\frac{B}{T}\right) \quad (1)$$

$$N_{HC} = \frac{P_{HC}}{R T_{tank}} \quad (2)$$

Per la primera formula (1), P és el la pressió del vapor de la gasolina, A i B són constants 25,61 i 2789,78 respectivament, RVP és el Reid Vapor Pressure en psi i T és la temperatura del combustible en graus K [4].

Per la segona (2), N_{HC} son els mols d'HC generats en el vapor del tanc, P_{HC} és la pressió del vapor de la gasolina de la equació anterior, T_{tank} és la temperatura del tanc i R és la constant universal dels gasos (8,314 J·(mol·K)⁻¹) [5].

$$m_{ORVR} = 69 \cdot \left[\frac{A \cdot T_{tank} \cdot RVP_{tank} \cdot EXP\left(-\frac{B}{T_{tank}}\right)}{R T_{tank}} \right] \quad (3)$$

Combinant les dues equacions anteriors obtenim la equació (3) que pot ser utilitzada per estimar la generació de vapor que es provoca al repostar combustible amb qualsevol RVP i temperatura del tanc i del combustible. m_{ORVR} és la quantitat de grams d'HC per galó de combustible [6].

Parlem ara del On-Board Diagnostic, OBD II és la segona generació de sistemes de gestió de motors susceptibles a un diagnòstic. En contrast amb les verificacions periòdiques dels vehicles, l'OBD II ofereix els següents avantatges:

- Verifica contínuament les emissions contaminants.
- Visualitzar oportunament les funcions anòmales.
- Facilita al taller la localització i eliminació dels errors a través de possibilitats de diagnòstic perfeccionades.

El propòsit d'aquest anàlisi és avaluar la capacitat del OBD d'identificar vehicles amb emissions evaporatives elevades (a causa d'una fuga al sistema de control de combustible o fuga de vapor). Els sistemes OBD no estan dissenyats per determinar quantitats de fuites i, generalment, no són capaços de determinar i establir un codi per a una fuga en el sistema de combustible que es traduiria en una fuga de líquids.

Els codis OBD que indiquen un mal funcionament del sistema o dels components que poden provocar nivells elevats d'escapament o d'evaporació. Durant les inspeccions rutinàries es recullen dades del sistema OBD del vehicle (incloent codis de problemes de diagnòstic (DTC)) per als vehicles a partir de 1996 en endavant.

A un termini més llarg està previst, que les fallides i els errors en el sistema d'escapament i la consegüent declinació de les emissions ja es puguin detectar en fer revisions en les vies públiques utilitzant un simple lector OBD.

En virtut de les diferents exigències plantejades als sistemes pel que fa a combustió i depuració dels gasos d'escapament, ha calgut adaptar i separar els diagnòstics d'aquests sistemes. D'aquí resulten el OBD II per a la versió de gasolina i l'OBD II per a la versió dièsel. Les dues versions variants es descriuen per separat a continuació.

Funcions de vigilància en el motor de gasolina:

- Vigilància del funcionament del catalitzador
- Diagnòstic d'envelliment de sondes lambda
- Prova de tensió de sondes lambda
- Sistema d'aire secundari

- Sistema de retenció de vapors del combustible
- Prova de diagnòstic de fuites
- Sistema d'alimentació de combustible
- Errors de la combustió
- CAN-Bus
- Unitat de control per Motronic
- Tots els sensors i actuadors que intervenen en las emissions d'escapament i que estan connectats a la unitat de control

Funcions de vigilància en el motor dièsel:

- Recirculació de gasos d'escapament
- Errors en la combustió
- Regulació del principi de la injecció
- Regulació de la pressió de sobrealimentació
- Canvi automàtic
- CAN-Bus
- Unitat de control per a sistema de injecció directa dièsel
- Tots els sensors i actuadors que intervenen en las emissions d'escapament i que estan connectats a la unitat de control

3.2.1. Concepte bàsic del OBD II

Les autoritats del Califòrnia Air Resources Board (CARB), encarregades de mantenir la puresa del aire en l'Estat de Califòrnia, venen fent grans esforços, des de 1970, per reduir les càrregues contaminants en l'aire, a través d'emetre les disposicions legals pertinents.

Els conceptes resultants d'aquesta particularitat, com l'OBD I (1985) ja manifesten una satisfactòria reducció de les emissions en vehicles autopropulsats. Funcions anòmales i components defectuosos en la gestió del motor poden traduir-se en un augment considerable de les emissions contaminants d'un automòbil. A causa de la complexitat tècnica que això planteja, no es poden mesurar directament les concentracions de monòxid de carboni, hidrocarburs i òxids nítrics, sinó que s'han de detectar a força de comprovar els components de la gestió del motor que intervenen en les emissions d'escapament . Això comporta l'avantatge de poder detectar fallides directament a través d'un equip d'exploració (Scan Tool). Per tal d'acomplir els estàndards demanats per les autoritats californianes s'han plantejat un seguit de exigències i objectius, es poden resumir en el següents:

Exigències plantejades en la implanmatació del OBD:

- Terminal normalitzat per a diagnòstics, en la zona del conductor.
- Codis d' averia estandarditzats per a tots els fabricants.
- Visualització d'avaries a través del tester per a diagnòstics de tipus corrent o normal en el mercat.
- Visualització de les condicions operatives en las que es va detectar un error.
- Definició del moment i la forma en que es deu visualitzar un error relacionat amb els gasos d'escapament.
- Denominacions/abreviatures estandarditzades de components i sistemes.

Objectius plantejats en la implementació del OBD:

- Vigilància de tots els components importants per a la qualitat dels gasos d'escapament.
- Protecció del catalitzador per evitar la seva posada en perill.
- Avis visual, si hi ha components relacionats amb els gasos d'escapament, que presenten errors en el funcionament.
- Memorització de les avaries.
- Susceptibilitat del diagnòstic.

3.2.2. OBD I vs OBD II

L'OBD II representa una versió més desenvolupada de l'OBD I (Fig 7).

L'OBD I vigila:

- la capacitat funcional de sensors i actuadors, a força de mesurar les caigudes de tensió en els propis components.

L'OBD II vigila:

- totes les funcions dels components d'entrades i sortides, igual que l'OBD I.
- plausibilitat dels senyals i components que exerceixen funcions de rellevància per als gasos d'escapament (catalitzador, sonda lambda).
- funcions del sistema (sistema d'aire secundari).
- tot el conjunt de tracció (funció de marxa d'emergència del canvi automàtic).

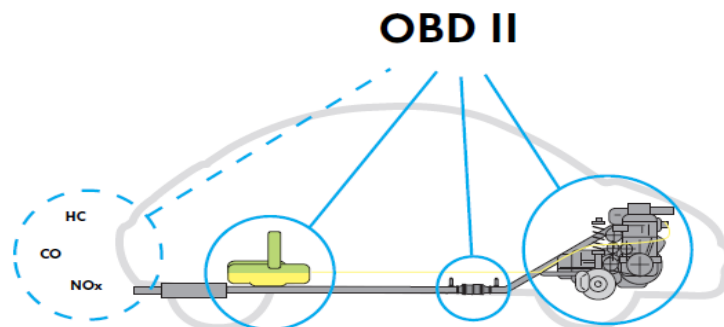


Fig. 4: Esquema simplificat del OBD II [7]

3.3. Com escollir el millor mètode per detectar fuites

Un cop hem parlat sobre el sistema de combustible, les seves parts, components i com funcionen passarem a la detecció de fuites, però abans per poder detectar fuites en tancs de combustible el primer de tot tenim que saber que és el que estem estudiant. La definició més simple per al terme fuga seria una "obertura" no desitjada en un material a través de la qual es pot produir un intercanvi de sòlids, líquids o gasos. A partir d'aquí ja ens podem fer una idea del que estudiarem, existeixen diferents tipus de fuites les més comuns, segons el tipus de material o la falla d'unió, es diferencien els tipus de fuites següents:

- Les fuites de connexions desmuntables: Brides, superfícies d'aparellament a terra, cobertes, etc.
- Les fuites en connexions permanents: Costures de soldadura i juntes enganxades.
- Les fuites per porositat: Sobretot després de deformacions mecàniques, com el plegament de superfícies, processament tèrmic de materials policristal·lins.
- Les fuites tèrmiques: Obrint-se per una càrrega de temperatura extrema (calor o fred), sobretot a les juntes de soldadura.
- Les fuites per permeació: Permeabilitat natural del gas a través de materials tals com a mànegues de goma, juntes amb elastòmers, etc. (tret que siguin aquestes les parts s'han convertit en trencadisses i, per tant, "filtrades" o susceptibles a una fuga).

En el estudi ens podem trobar quasi qualsevol tipus de fuga que però les que solen aparèixer en els tancs de combustible són les fuites en les connexions desmuntables, en les connexions permanents i les fuites per permeació. Aquest tipus de fuites són les més comuns ja que els tancs són recipients amb molts components, tant si són fabricats de plàstic com si són de metall, i en el cas de ser de metall el tanc no és només una sola peça sinó que és la unió de dues parts mitjançant una soldadura. El mètode correcte hauria de basar-se en la informació següent:

- Quants punts s'han de provar?
- Quina és la taxa de fuga del pass / fail? (o quant temps ha de durar el producte?)
- Quines són les dimensions del producte a provar?
- Quin és el temps de cicle de prova necessari per garantir l'èxit de l'assaig?
- Ha de ser un sistema automatitzat o manual?
- Quin és el pressupost del que disposem?
- Quina és la pressió a la que serà feta la prova?
- Quina és la temperatura de treball?

Cal tenir en compte altres factors que depenen des de l'aplicació fins a l'aplicador. Per començar a provar un component, es connectarà un tanc de nitrogen o un generador de nitrogen mòbil al component. El nitrogen serà alliberat per elevar la pressió dins del component de prova a baixa pressió mentre es força a sortir a l'exterior qualsevol aire, residus o altres substàncies del component. Això eliminarà el sistema de contaminants i comprovarà si hi ha fuites.

Un cop finalitzada la prova de pressió, es redueix la pressió del nitrogen. Normalment es deixa una quantitat més petita de nitrogen dins de la línia per protegir-la fins que estigui plena de substància que està dissenyada per contenir. El nitrogen continua protegint l'interior dels danys o riscos que podrien ser causats per l'exposició a l'aire.

3.4. Per que el nitrogen és utilitzat per detectar fuites?

El nitrogen és l'element químic de símbol N, nombre atòmic 7 i massa atòmica 14,00674 u. En condicions normals, el nitrogen elemental és un gas diatòmic incolor, inodor, insípid i majoritàriament inert, que constitueix el 78,09% del volum de l'atmosfera terrestre. El triple enllaç del nitrogen molecular (N_2) és el més fort de la natura. La dificultat consegüent per a convertir N_2 en altres compostos, així com la facilitat (i l'alliberament associat de grans quantitats d'energia) de convertir compostos de nitrogen en nitrogen elemental, han dominat el rol del nitrogen tant en la natura com en l'activitat econòmica humana.

A la pressió atmosfèrica, el nitrogen molecular es condensa a 77 K ($-195,8\text{ °C}$) i és congela a 63 K (-210 °C) en la seva forma beta al·lotròpica cristal·lina hexagonal empaquetada compacta. Per sota de 35,4 K ($-237,6\text{ °C}$) el nitrogen assumeix la seva forma alfa al·lotròpica cristal·lina cúbica. El nitrogen líquid, un líquid que s'assembla a l'aigua, però amb una densitat del 80,8% de la de l'aigua (la densitat del nitrogen líquid al seu punt d'ebullició és de 0,808 g/ml), és un criogen comú.

La disponibilitat i les propietats inerts del N_2 l'han convertit en un estàndard de la indústria en provar els sistemes d'hidrocarburs. El N_2 retingut en els sistemes després de la prova de fuites garanteix que el contingut d'oxigen es redueix, evitant una barreja explosiva quan s'introdueix hidrocarburs. Les fuites són detectades mesurant la temperatura, la pressió i el caudal per calcular el forat equivalent de la fuga. Es té que utilitzar un bon criteri per desenvolupar i implementar l'equip amb el que es farà l'assaig. Es aconsella no prémer les connexions i els accessoris en el tanc de combustible del vehicle per preparar-lo per l'assaig. A partir dels resultats obtinguts obtindrem les conclusions pertinents sobre el tanc que ha fet l'assaig i determinarem i valorarem el seu estat.

El gas traçador permet utilitzar detectors de fuites electròniques per detectar els voltants de la fuga. Les mescles de nitrogen i un gas traçador del refrigerant, normalment del refrigerant del sistema, es poden utilitzar com a gasos de prova de fuites perquè, en aquests casos, el gas traçador no s'utilitza com a refrigerant per refredar.

Les dues àrees principals que s'utilitzen en gasos de nitrogen en HVAC són per a la soldadura i les proves de pressió en les bobines de coure. El nitrogen s'utilitza durant el procés de soldadura per purgar l'oxigen de la superfície soldada. El nitrogen també evita la formació d'humitat durant el procés de prova de fuites, eliminant així l'oxidació del metall, protegint-lo de les impureses que hi pot haver-hi.

El nitrogen no porta cap humitat a una canonada o línia de combustible que pugui causar oxidació. En els sistemes de canonades més grans, la neteja és crucial i la prova final amb nitrogen també serveix per purgar la canonada de qualsevol humitat abans de posar-se en servei.

3.5. Diferents tipus d'assaigs

Per començar, tenim diferents tipus de mesura de pressió depenent del test que volem fer. Amb algunes excepcions, fins a l'actualitat, a Europa hi ha hagut molt pocs estàndards i codis en el camp de les proves de filtracions i la detecció de fuites. Un dels motius és l'enorme ventall d'uns 12 ordres de magnitud per a la determinació de la velocitat de fuites, a la qual s'ha d'afrontar la tecnologia de mesura. Amb aquesta finalitat hi ha diverses possibilitats de prova, instruments i dispositius amb diferents rangs de mesurament i variades tècniques de mesurament. Per tant, sovint no és fàcil que el provador seleccioni el mètode adequat per a una tasca d'assaig determinada. La norma EN 1779 aprovada a l'octubre de 1999 defineix per primera vegada criteris per a la selecció de mètodes i tècniques de prova per a proves de fuites.

La norma tracta els factors més importants d'influència en les proves de fuites com la dependència del temps, la influència de les condicions de flux (laminar viscós o flux molecular), la influència de la pressió i la temperatura, així com la naturalesa del gas i la neteja de l'objecte que s'ha de provar.

Els factors de conversió s'especifiquen quan és necessari ja que el tipus de procediment marcarà els resultats obtinguts. També s'inclou informació sobre el rang de fuites, sobre el disseny de l'objecte de prova, les condicions d'operació, les condicions de la prova, així com els requisits de seguretat per portar a terme les proves. Una nova característica és la llista sistemàtica de gairebé tots els mètodes de prova de fuites que es podrien utilitzar per fer el nostre assaig de detecció de fuites.

3.5.1. Coneixements requerits per seleccionar el mètode adequat

L'èxit o el fracàs d'una prova d'estanquitat de fuites no depèn només de la diligència i de la qualitat del treball del provador, sinó també de la selecció d'un mètode de prova adequat per a la tasca determinada. Abans d'iniciar el treball, les condicions i l'objectiu de la prova s'han de discutir i harmonitzar amb la persona que comanda la prova. A continuació es presenten diferents mètodes (Fig.5), però primer de tot s'ha de tenir clar en tot moment el que es desitja fer i com es té que portar a terme, es per això que s'han plantejat una sèrie de qüestions per tal d'ajudar a prendre aquesta decisió.

Per a la selecció d'un mètode de prova s'han d'aclarir les següents qüestions:

- Quin nivell o quantitat de fuites admissible té segons la norma l'objecte a provar?
- A quin rang de pressions s'hauria de fer les proves?
- Quina és la "direcció" de l'objecte de prova (pressió per sobre o per sota de l'atmosfera circumdant)?
- L'objecte de la prova té estabilitat mecànica suficient per suportar la pressió de prova (sobrepessió o buit)?
- Es sol·licita una prova local (que detecta la ubicació de la fuita) o una prova integral (mesura del cabal total de fuites del component)?
- Cal determinar el nivell del cabal de fuites?
- Hi ha aspectes de seguretat a complir durant les proves?

Es poden produir més requisits, per exemple, de la incompatibilitat del material de l'objecte a provar amb el fluid de prova o del tipus i forma d'enregistrament desitjat. En la selecció d'una tècnica de prova adequada per a una tasca determinada, però, a banda de la sensibilitat suficient per a la detecció, encara hi ha altres factors a tenir en compte.

El mètode ha de mostrar una alta fiabilitat de les proves per evitar danys i costos consegüents dins l'àmbit de la responsabilitat del producte. A més, també s'han de tenir en compte els costos de la prova, que no són insignificants, per seleccionar el mètode. Això no només inclou el temps requerit, sinó també els costos dels dispositius de prova existents o necessaris i, si cal, el tipus i la quantitat del gas traçador utilitzat i els instruments necessaris.

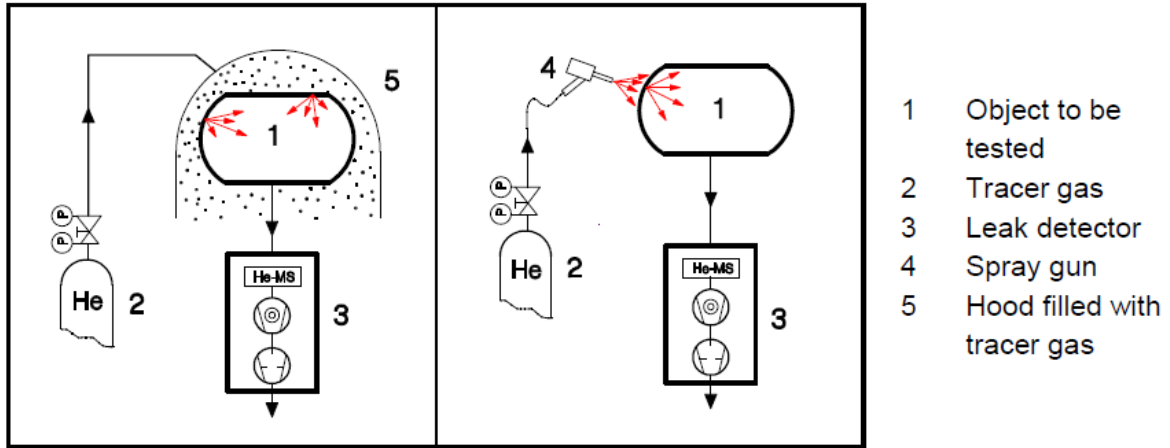


Fig. 5: Assaig integral (esquerra) i assaig local (dreta) [8]

La mesura de pressió s'utilitza per determinar si hi ha fluxos de fuites acceptables, determinar si hi ha condicions perilloses i per detectar components o equip defectuós. Es pot obtenir una indicació de fuga relativament exacta en conèixer el volum, la pressió del sistema i els canvis de pressió respecte al temps que provoca la fuga. Alguns avantatges d'aquest mètode són que es pot mesurar el flux total de la fuga independentment de la mida del sistema i que no cal utilitzar fluids traçadors. A continuació es mostren els diferents tipus de mètodes de detecció de fuites més comuns.

3.5.2. Aplicació i detecció dels límits de deteccions de fuites

Les proves tècniques de fuites cobreixen un gran ventall de més de 12 ordres de magnitud segons la propietat de velocitat de fuites a determinar. Hi ha disponibles diversos mètodes de prova diferents depenen del propòsit, les tècniques més importants amb els seus respectius límits de detecció són compilats en la següents taules (Fig. 6 i Fig. 7).

Detectable Leakage Rate [mbar·l·s ⁻¹]											Measurement	Extent of test: local area	Extent of test: total area		
10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹				10 ⁻¹²	
Dye test													yes	yes	yes
Ultrasonic leak detection													no	yes	no
Bubble test (air / water)													yes	yes	yes
Bubble test (air / foaming solution)													no	yes	no
Pressure decay method													yes	no	yes
Leak tests with tracer gases (NH ₃ etc.)													yes ¹⁾	yes	yes
Tracer gas method: helium sniffing test													yes ¹⁾	yes	yes

¹⁾ Quantification of the leakage rate only conditionally possible in sniffing tests

Fig. 6: Mètodes de detecció de fuites per sobrepressió [9]

Detectable Leakage Rate [mbar·ℓ·s ⁻¹]											Measurement	Extent of test: local area	Extent of test: total area
10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹			
Ultrasonic leak detection											no	yes	no
Pressure rise method											yes	no	yes
Tracer gases (halogen, NH ₃ etc.)											yes	yes	yes
Helium leak test											yes	yes	yes
Residual gas analysis (with special device)											(yes)	(yes)	(no)

Fig. 7: Mètodes de detecció de fuites mitjançant el buit [10]

Els límits de detecció especificats a la Fig. 9 només s'ha de considerar com a valors de referència. Per en alguns mètodes hi ha condicions físiques de mesurament o que limiten el rang de mesurament. Tanmateix, els límits de detecció depenen sovint de les condicions ambientals que es troben i a on es realitza la prova. En un laboratori de proves, per regla general, es farà una mesura més precisa que, per exemple en condicions descontrolades per exemple en una nau o en un solar.

Això pot explicar perquè les dades de la Fig.22 pel que fa als límits de detecció poden ser diferents al de altres legislatures i la norma EN 1779. Si, per exemple, el límit de detecció de la bombolla, el mètode s'especifica com a $qL = 10^{-6}$ mbar·ℓ·s⁻¹ en una referència d'un altre llibre o autor, això no és equivocat des de un punt de vista físic. Des d'una perspectiva econòmica i pel que fa al rendiment de l'administrador de la prova, aquest valor ja no es pot justificar ja que el temps és una part clau en aquest tipus d'assaigs. Per realitzar una bombolla realista d'1 mm³, una mesura es requeriria un temps de 10 elevat a 3 segons, és a dir, aproximadament 17 min. A la figura 11 es mostra el nombre de fuites respecte la mida d'aquestes, és interessant com es veu una distribució Gaussiana, ja que la majoria de fuites estan diagnosticades en el rang de 10⁻⁴ mbar·ℓ·s⁻¹.

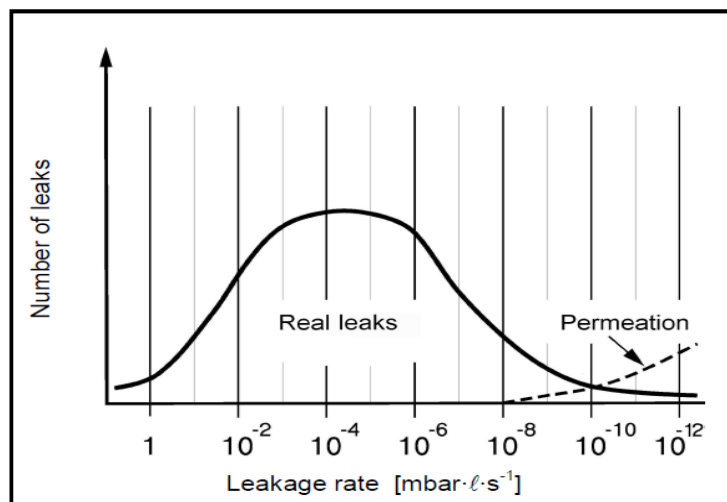


Fig. 8: Distribució de les fuites segons la mida [11]

3.5.3. Assaig de caiguda de pressió

Si considerem un component carregat a una pressió determinada, qualsevol possible fuga es pot associar amb una disminució de la pressió interna. Per tant, si un component ha de provar-se per saber si té fuites, primer es pot carregar (generalment amb aire sec o nitrogen) a una pressió establerta i , a continuació, es pot controlar la seva pressió durant un temps establert. Una baixada de pressió indica la presència d'una fuga. Aquest sistema és senzill, compacte i fàcil d'utilitzar, també és barat, sec i no requereix cap investigació posterior de l'operador per al seu ús. La sensibilitat de detecció de fuites depèn del volum de la unitat que s'ha de provar (com més gran és, més temps es necessita per establir la pressió interna abans de controlar-la), la resolució del transductor de pressió i el temps de prova. A més presenta els següents desavantatges:

- sensibilitat baixa (fins a $1 \cdot 10^{-2} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$).
- requereix temps llargs per establir el nivell de pressió abans que es controli amb el pas del temps.
- molt susceptible a canvis ambientals, especialment la temperatura.
- susceptible d'inestabilitat mecànica (quan pressiona el component el seu volum pot canviar, per tant els resultats poden resultar enganyosos).
- cal protegir la peça de les pressions altes.
- la fuga no es pot localitzar.
- poca velocitat, especialment per a components grans i a baixa pressió.

Tanmateix, l'assaig de baixada de pressió només s'utilitza rarament per comprovar si hi ha fuites en els sistemes de buit i en tancs de combustible. Si es fa, la pressió de calibre no hauria de superar 1 bar, ja que els connectors de brides utilitzats en la tecnologia de buit no toleraran pressions més altes. D'altra banda, el test de caiguda de pressió és una tècnica emprada habitualment en l'enginyeria de tancs de combustible. Quan es tracta de grans volums i els períodes de mesurament i presa de dades són llargs i necessaris per el mètode de la caiguda de pressió, pot ser que en determinades circumstàncies es pugui considerar els efectes dels canvis de temperatura. Com a conseqüència pot passar, per exemple, que el sistema es refredi per sota de la pressió de saturació del vapor d'aigua, fent que l'aigua es condensi de manera que la mesura es distorsioni (Fig. 12).

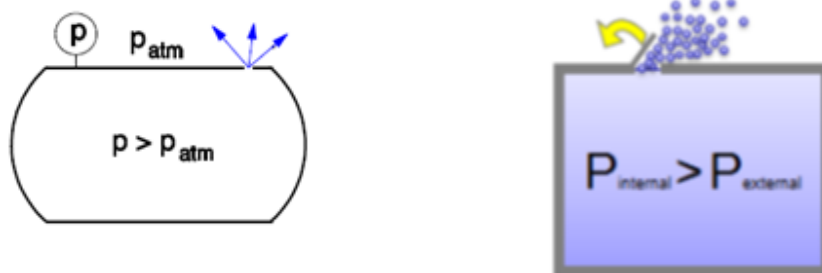


Fig.9 Representació gràfica caiguda de pressió [12]

Aquest mètode pot representar una bona prova preliminar de fuites per detectar fuites importants abans que es realitzi una prova automatitzada de fuites fines mitjançant l'heli (si un component té una fuita bruta i aquest no es detecta primer amb un test de càlcul de pressió, les grans quantitats d'heli ho faran).

3.5.4. Assaig de pujada de pressió

Aquest mètode funciona de la manera oposada a la prova anterior. Es basa en l'evacuació de la pressió i, després que la pressió s'hagi estabilitzat, es mesura qualsevol augment d'aquesta causada pels medis de prova que entren a la peça a assajar.

Aquest mètode és adequat només per a peces que resisteixin al buit (les parts amb parets primes no es poden provar a causa del perill de deformació o fins i tot de trencament de la peça a assajar) o que estiguin dissenyades per aguantar en condicions de pressió negativa, per exemple un tanc segellat d'un vehicle endollable (PHEV). Pel que fa a la prova de càlcul de pressió, aquest mètode té l'avantatge de ser menys sensible als canvis de temperatura ja que la pressió interna és inferior a la pressió atmosfèrica externa.

Aquest mètode de prova de fuites aprofita el fet que una fuita permet que una quantitat de gas, restant uniforme durant un període de temps, entri en un dispositiu prou evacuat. En canvi, la quantitat de gas alliberat de les parets i de les soldadures disminueix amb el pas del temps. La vàlvula que hi ha a l'extrem de la bomba del recipient de buit es tanca per preparar mesures de pujada de pressió. A continuació, es mesura el temps (Δt) durant el qual la pressió augmenta en una certa quantitat (Δp). La vàlvula s'obre de nou i la bomba torna a funcionar durant un temps, després es repetirà la mesura de l'augment de la pressió. Si el temps per a la quantitat de pujada de pressió continua sent constant, hi ha una fuita, suposant que el període d'espera entre les dues mesures d'augment de pressió sigui suficientment llarg.

La durada adequada del període d'espera depèn de la naturalesa i la mida del dispositiu. Si el temps per a l'augment de la pressió (Δp) augmenta, aquest efecte és probablement causat per una reducció de l'alliberament de gas a l'interior de l'aparell. També es pot intentar diferenciar les fuites i la contaminació interpretant la corba que representa l'augment de la pressió, que és simplement una corba que representa la pressió en funció del temps. Dibuixada en un gràfic amb escales lineals, la corba de pujada de la pressió ha de ser una línia recta on hi ha una fuita, fins i tot a pressions més altes (Figures 13 i 14).

Si l'augment de la pressió es deu a l'alliberament de gas de les parets, l'augment de la pressió s'aconseguirà gradualment i s'aproximarà a un valor final i estable. En la majoria dels casos, ambdós fenòmens es produiran simultàniament, de manera que

sovint és difícil separar les dues causes. Aquestes relacions es mostren esquemàticament en la següent imatge.

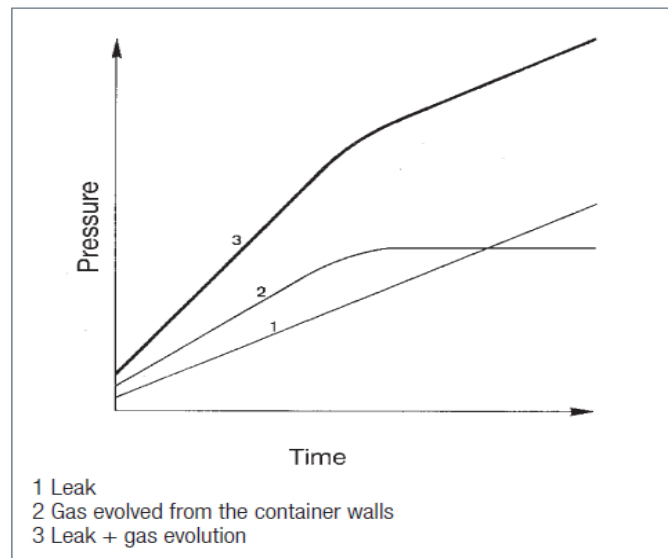


Fig. 10 Diferents tipus de comportament de la fuga en pujada de pressió [13]

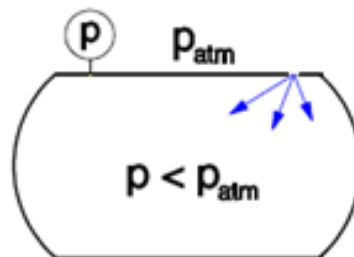


Fig. 11 Representació gràfica assaig pujada de pressió [14]

Una vegada que ha quedat clar que l'augment de la pressió es deu exclusivament a una fuga real, la velocitat de fuga es pot determinar quantitativament a partir de l'augment de la pressió, representada amb el temps, d'acord amb la següent equació (4) :

$$qL = V \cdot (\Delta p / \Delta t) \quad (4)$$

On q_L és la fuita en $\text{mbar}\cdot\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$, V és el volum del recipient al buit en l, $\Delta p/\Delta t$ és l'augment de la pressió del depòsit de buit (Δp) dividit pel temps de mesurament (Δt) en $\text{mbar}\cdot\text{s}^{-1}$ [15].

Tanmateix, aquest mètode presenta els següents desavantatges:

- És susceptible de produir gasos de superfície i d'evaporació de líquids que afecten i limiten la sensibilitat real (l'evaporació de la humitat augmenta la pressió interna creant una falsa fuita).
- La diferència de pressió que es pot aplicar al component durant la prova no pot ser superior a 1 bar, per tant, la prova no es pot fer de forma fiable si la seva pressió de funcionament és superior a 1,5 bars.
- El més important amb aquest assaig es subratlla la part contrària perquè la pressió s'aplica en el sentit contrari a l'operador, de manera que es poden tancar certes fuites en lloc d'obrir-se.

Tot i que la sensibilitat d'aquest mètode pot rondar els $1\cdot 10^{-2}$ $\text{mbar}\cdot\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$, no es recomana com a prova de fuita final en els muntatges de peces que per les raons explicades anteriorment. Tot i així, és un mètode força eficaç i bastant segur que per a petites fuites el resultat pot resultar bastant exacte.

3.5.5. Test de bombolles

Un dels mètodes més rudimentaris alhora de detectar fuites és la prova de les bombolles. Aquest mètode consisteix en submergir el tanc en un recipient ple d'algun líquid, on la gran majoria de les vegades es aigua, i observar si surten bombolles d'alguna part submergida del tanc. Algunes vegades es combina aquesta tècnica amb una prova ultrasònica ja que el test de bombolles és un mètode primitiu però al mateix temps és eficaç. Per portar a terme el test, el primer pas és capbussar el tanc a l'aigua, això comporta un significatiu augment de pressió sobre el tanc i pot arribar a deformar l'estructura del tanc sobretot en aquells que estan fets de plàstic.

També s'ha de tenir en compte que el tanc que s'ha de submergir contindrà aire a dins seu per tant quan es forci el tanc a entrar dins de l'aigua dintre del tanc hi hauran forces significatives produïdes per l'aire que hi ha a dins d'aquest. Si és un tanc de plàstic estarà dissenyat per suportar la pressurització fins ha uns mil·libars per sobre de la pressió atmosfèrica, això significa que la pressió interior generarà poques bombolles.

Per tal de submergir el tanc de combustible és molt aconsellable que estigui fixat en una gàbia perfectament ajustada per evitar el moviment del tanc i no produir

turbulències en l'aigua que podrien dificultar la observació de les bombolles que es produirien per fugues significants. Aquest test ens permet trobar taxes de fuites inferiors a $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l·s⁻¹, es un rang força petit i seria bastant just depenen de la fuita tot i que ens permetria identificar orificis petits que són casi impossibles de veure i que ens interessen per determinar l'estat del tanc de combustible. A partir de la formula (5) [16] es pot determinar la fuita generada en un assaig de bombolles i amb la formula (6) [17] es pot arribar a calcular el número de bombolles produïdes per aquesta fuita (Fig. 18).

$$Q_L = \frac{\Pi \times D^4 \times 1,013}{256 \times \eta \times L} \times (P_1^2 - P_2^2) \quad (5)$$

$$Q = \frac{4/3 \cdot \pi \cdot r^3}{60} \cdot N \quad (6)$$

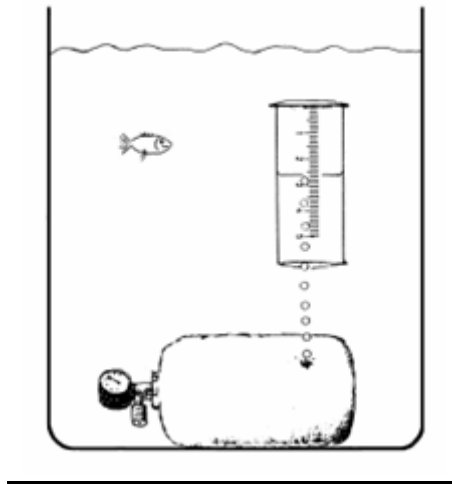


Fig. 12: Dibuix esquemàtic assaig de bombolles[18]

3.5.6 Detecció de fuites utilitzant mesuradors sensibles a certs gasos

El fet que la lectura de pressió als manòmetres de buit sigui sensible al tipus de gas implicat pot ser, fins a cert punt, utilitzada per a la detecció de fuites. Així, és possible raspallar o polvoritzar presumptes fuites amb alcohol ja que el vapor d'alcohol que flueix a l'aparell canvia la lectura de la pressió del manòmetre de buit i fa que la conductivitat tèrmica i la ionització del vapor d'alcohol varien molt de les mateixes propietats de l'aire. La disponibilitat de detectors de fuites d'heli més precises i fàcils d'utilitzar, tanmateix, va fer que aquest mètode estigui gairebé completament obsolet.

3.5.7 Test de fuites amb Heli

La mida dels àtoms d'heli el fa perfecte per assaigs de fuites ja que es susceptible a "colar-se" a través de fuites diminutes on altres gasos no es podrien introduir. Es considera que es un dels mètodes més fiable, segur i net per quantificar i localitzar fuites, hi ha diversos mètodes per obtenir les fuites resultants des de mètodes de ruixat fins a mètodes de càmeres de buit que permeten llegir quantitats petitíssimes d'heli per avaluar i posteriorment determinar el diàmetre de fuga. La seva baixa concentració en la atmosfera evita que interfereixi o alteri els resultats que les mesures ens donaran.

Per dur a terme assaigs amb heli és indispensable un espectròmetre de masses per poder llegir la quantitat d'heli que ha sortit del tanc per les fugues que té. Aquest és un procés de detecció de fugues més fiable, segur i net per localitzar i quantificar el nivell de fuites. Hi ha dos tipus principals de tests alhora de treballar amb heli. El primer és el mètode de rosada que consisteix en que l'equip que s'utilitza es troba al buit i es connecta directament al detector de fuites. A continuació es ruixa amb petites quantitats d'heli que serviran per mesurar la fuga ja que si aquesta existeix, el mateix heli serà detectat per l'equip que permetrà quantificar la fuga.

El segon mètode es tracta d'utilitzar un sniffer (aparell que detecta quantitats molt petites d'un gas) per detectar heli que surt fora del tanc. L'equip ha de estar pressuritzat, de manera que la pressió exercida té que impulsar el heli cap a l'exterior i així poder llegir la fuga correctament. Cal que en aquest mètode el tanc de combustible estigui situat en una càmera de buit ja que per que les lectures d'heli siguin exactes cal tenir una atmosfera completament lliure de altres concentracions que puguin falsificar els resultats obtinguts.

Tots aquets mètodes que utilitzen heli fan servir aparells que encareixen enormement el pressupost alhora de intentar un assaig, estaríem parlant de quantitats bastant grans de fins a 100000 euros ja que els instruments són de gran precisió i estarien dissenyats per a complir la funció de detectar fuites en un component determinat, per tant està descartat qualsevol interacció amb el heli encara que sigui el millor gas traçador per portar a terme detecció de fuites.

4. ASSAIGS EXPERIMENTALS

Alhora de endinsar-nos en el nostre procediment de detecció de fuites tenim que tenir en compte la normativa a la que s'ajusta l'assaig que volem fer per estar dins dels estàndards que ens marquen des de la legislació vigent en aquell estat o zona on han estat implementats. Per aquesta raó s'ha decidit que la gran part dels assajos experimentals recau en un procediment que es dugui a terme seguint UN DELS ÒRGANS més importants en vers la lluita per aconseguir un entorn més sostenible i segur per la Terra és el cas de de l'Agència de Protecció del Medi ambient (en anglès, Environmental Protection Agency, EPA) que és una agència del Govern General dels Estats Units dedicada exclusivament de la protecció del medi ambient i de la salut humana. Les principals característiques per les quals l'EPA treballa per intentar millorar són les següents:

- Control de la qualitat de l'aire, la terra i l'aigua.
- Els esforços nacionals per reduir els riscos ambientals es basen en la millor informació científica disponible.
- Les lleis federals que protegeixen la salut humana i el medi ambient són administrades i aplicades de manera justa i eficaç, tal i com ha estat aprovat pel Congrés.
- La gestió mediambiental és una part integral de les polítiques dels EUA sobre recursos naturals, salut humana, creixement econòmic, energia, transport, agricultura, indústria i comerç internacional, i aquests factors es consideren de manera similar a l'establiment de la política ambiental.
- Totes les parts de la societat (comunitats, individus, empreses i governs estatals, locals i tribals) tenen accés a informació exacta i suficient per participar eficaçment en la gestió de riscos per a la salut i el medi ambient.
- Les terres contaminades i els llocs tòxics es netegen per els responsables i es revitalitzen.
- Control i revisió dels productes químics actuals en el mercat.



Fig. 13: Segell EPA[19]

Elaborar i fer complir la normativa és la principal missió d'aquest organisme. Quan el Congrés redacta una llei ambiental, la implementem mitjançant la redacció de normes. Sovint, establim estàndards nacionals que els estats apliquen mitjançant les seves pròpies regulacions. Si no compleixen els estàndards nacionals, EPA es compromet a prestar ajuda per estar al dia amb la normativa. També aplica les regulacions i ajuda a les empreses a comprendre els requisits i complir-los. Ens centrarem en aquesta normativa americana ja que són més restrictives que les normes europees.

4.1. Normativa i procediment

4.1.1. Leak Check EPA TIER 3

Aquest tipus d'experimentació seguirà la normativa **Government Publishing Office (US)** dintre de l'edició anual del Codi del Reglament Federal (CFR) que és la codificació de les normes generals i permanents publicades al Registre Federal pels departaments i agències del Govern Federal produïts per l'Oficina del Registre Federal (OFR) i l'Oficina de Publicació del Govern. Dintre d'aquestes publicacions que el Govern dels Estats Units, ens regirem per **Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR)** on tenim la norma **Title 40. Protection Of Environment > Chapter I. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY > Subchapter U. AIR POLLUTION CONTROLS > Part 1066. VEHICLE-TESTING PROCEDURES > Subpart J. Evaporative Emissions Test Procedures > Subjgrp 31. Evaporative and Refueling Emission Test Procedures for Motor Vehicles > Section 1006.985. Fuel storage system leak procedure.**

§1066.985 Fuel storage system leak test procedure

Perform this test as required in the standard-setting part to verify that there are no significant leaks in your fuel storage system.

Measurement principles. Leaks are detected by measuring pressure, temperature, and flow to calculate an equivalent orifice diameter for the system. Use good engineering judgment to develop and implement leak test equipment. You may not tighten fittings or connections in the vehicle's fuel system to prepare the vehicle for testing.

Measurement equipment. Your leak test equipment must meet the following requirements:

(1) Pressure, temperature, and flow sensors must be calibrated with NIST- traceable standards.

(2) Correct flow measurements to standard reference conditions.

(3) Leak test equipment must have the ability to pressurize fuel storage systems to at least 4.1 kPa and have an internal leak rate of less than 0.20 standard liters per minute.

(4) You must be able to attach the test equipment to the vehicle without permanent alteration of the fuel storage or evaporative emission control systems. For any testing that involves pressurizing the fuel system and detecting leaks at access points away from the fuel fill pipe, the gas cap must be installed in the production configuration. For the test point at or near the fuel fill pipe, attaching the test equipment may involve adding an ex-tension to the fuel fill pipe that incorporates the access point to the fuel system. If the extension apparatus has a fixed cap, the vehicle's gas cap must be tested separately as described in paragraph (d)(9) of this section. This separate testing is not required if the ex-tension apparatus incorporates the vehicle's gas cap.

(5) The point of attachment to the fuel storage system must allow pressurization to test system integrity of the fuel tank and of fuel lines and vapor lines reaching up to and including the gas cap and the evaporative canister. The evaporative system test port available on some vehicles is an example of an effective attachment point.

Leak Test Procedure

Test a vehicle's fuel storage system for leaks as follows:

1) Refuel vehicle to 40% of its nominal fuel tank capacity.

(2) Soak the vehicle for 6 to 24 hours at a temperature between (20 and 30) °C; record this set point temperature and maintain temperatures throughout the leak test at this set point temperature within a tolerance ± 2 °C.

(3) Before performing the test, purge the fuel storage system of any residual pressure, bringing the system into equilibrium with ambient pressure.

(4) Seal the evaporative canister's vent to atmosphere and ensure that the vehicle's purge valve is closed.

(5) Attach the leak test equipment to the vehicle.

(6) Pressurize the fuel storage system with N₂ or another inert gas to at least 2.4 kPa. Use good engineering judgment to avoid over pressurizing the system.

(7) Maintain gas flow through the system for at least 180 seconds, ensuring that the flow reading is stable for an effective leak diameter of ± 0.002 inches.

(8) Use the following equation (7), or a different equation you develop based on good engineering judgment, to calculate the effective leak diameter, d_{eff} :

$$d_{\text{eff}} = 7.844 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{\text{N}_2}}{\sqrt{\frac{(P_{\text{in}} - P_{\text{atmos}}) \cdot (P_{\text{in}} + P_{\text{atmos}})}{SG_{\text{N}_2} \cdot T}}} \right)^{0.5057} \quad (7)$$

On:

d_{eff}: diàmetre equivalent de la fuga (polsades)

Q_{N2}: cabal de la fuga (m³·s⁻¹)

P_{in}: pressió interior del tanc (kPa)

P_{atm}: pressió exterior (kPa)

T: temperatura (K)

SG_{N2}: gravetat específica del nitrogen

(9) Repeat the test described in this paragraph (d) for each access point de-scribed in the application for certification. Use each test result (without averaging) to determine whether the vehicle passes the leak standard.

(10) Gas caps may need to be tested separately for leaks as described in paragraph (c)(4) of this section. Test the gas caps using commercially avail-able flow equipment such as that used for inspection-and-maintenance programs for motor vehicles to determine a leak rate in cubic centimeters per minute resulting from a sustained tank pressure of 7.5 kPa. Correct the leak rate to standard reference conditions, based on the measured leak rate corresponding to atmospheric pressure. The corrected leak value may not exceed 60 cubic centimeters per minute.

(11) You may use special or alter-native test procedures as described in 40 CFR 1065.10(c). (e) Equipment calibration. Use good engineering judgment to calibrate the leak check device.

[79 FR 23823, Apr. 28, 2014, as amended at 80 FR 9124, Feb. 19, 2015; 81 FR 74215, Oct. 25, 2016]

4.1.1.1. Material per l'assaig EPA

En aquest apartat es presenta tot el material utilitzat per portar a terme l'assaig Leak Check by EPA TIER 3. La llista apareix també en l'apartat de pressupost.



Fig. 14: Bombona de N₂ (200 bar)



Fig. 15: Regulador de cabal (Mass Flow Meter)



Fig.16: Manòmetre regulador de baixes pressions AirLiquide



Fig. 17: Sensor de temperatura



Fig. 18: Transductor de pressió



Fig. 19: Multímetre, termòmetre digital i font d'alimentació 12 V



Fig. 20: Vàlvula 3/2

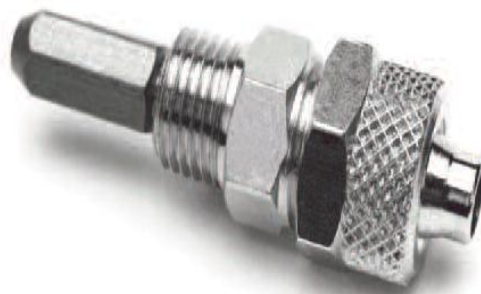


Fig. 21: Master Jet RUBI ATEQ



Fig. 22: Tanc de combustible confidencial → 60 litres



Fig. 23 : Tanc de combustible segellat PHEV → 36 litres



Fig. 24: Connexions de tubs o línies



Fig. 25: Bidó de benzina

4.1.1.2. Detalls de la instrumentació

- **Bombona de N₂**

Bombona de N₂, el fluid utilitzat esta especificat en el Standard de la norma contingut en el procediment.

Pressió d'entrada 200 bar; Pressió de sortida 2 bar

- **Manòmetre bombona Airliquide**

Incorporat a l'ampolla de N₂, permet passar de 200 bars a regular una pressió de sortida compresa entre 20 bars i 0,2 bars.

- **Manòmetre regulador de baixes pressions AirLiquide**

Instrument que permet regular la pressió entre 0 mbar i 100 mbar. Segons la normativa necessitem pressuritzar el sistema de combustible amb N₂ a una pressió mínima de 2,4 kPa = 0,024 bar = 24 mbar. Al treballar en un rang de pressions molt petit es necessari treballar amb un manoreductor sensible a petits canvis de pressions.

Pressió d'entrada: 2 bar (ajustable)

Pressió de sortida: mínima 24 mbar, màxima 100 mbar

- **Cabalímetre (Mass Flow Meter)**

Necessitem un cabalímetre per poder mesurar bé el nostre rang de cabals.

MassFlow 1 → 0,317 slpm = 0,317 l·min⁻¹ = 0,28e-3 m³·min⁻¹ = 5,28 E-6 m³·s⁻¹ de N₂

Treballarà entre 0,01 l·min⁻¹ i 0,317 l·min⁻¹

- **Transductor de pressió (0 mbar a 150 mbar) GE/UNIK 5000**

Treballarà entre 2,4 kPa (24 mbar) i 10 kPa (100 mbar)

- **Termòmetre digital (tipus K) FLUKE**

Termòmetre digital per tal de controlar la temperatura durant tot el procés. Treballa aproximadament entre 18°C i 30°C.

- **Font d'alimentació de 12 V**

Per tal de que el transductor de pressió pugui treballar es necessari que aquest estigui alimentat per una font de voltatge amb un mínim de 12 V fins a un màxim de 36 V. En el nostre cas hem escollit una de 12 V.

- **Multímetre**

Per tal d'aconseguir la pressió desitjada en cada test del assaig, es té que controlar el voltatge del transductor. El propi transductor té una corba de treball que en funció del voltatge la pressió augmenta o disminueix. Aquesta corba i els seus valors es presenta a continuació, amb el nostre rang de pressions on el mínim és de 24 mbar i el màxim és de 100 mbar segons la normativa per la que es regirà el nostre assaig (Taula 1).

Càlcul de pressió amb multímetre

Corba	V (v)	P (mbar)
$-15,5877 + 15,001 * V$	1	-0,58
	2	14,41
	3	29,41
	4	44,41
	5	59,41
	6	74,41
	7	89,41
	2,65	24,16
7,71	100,07	

Taula 1: Pressió en funció del voltatge en el transductor de pressió

- **Master Jet RUBI**

Per tal de verificar el nostre circuit (set up) de nitrogen i d'obtenir resultats convincents, s'ha obtingut un element per verificar i validar caudals. Es tracta d'un

instrument de calibratge conegut com "calibrated orifice". Com el seu nom indica és un forat calibrat, es a dir, un forat que sabem el diàmetre i a partir d'aquest diàmetre podem saber el cabal de nitrogen que passa per aquest forat a una determinada pressió i temperatura. A partir d'aquí el Master Jet es col·locaria al final de la set up, simulant una fuga en un tanc de combustible, amb els nostres instruments es llegeix la quantitat de nitrogen que s'escapa i es compara amb la fuga que te aquest forat calibrat. Si els instruments estan correctes i calibrats, la fuga que es llegeix tindria que ser la mateixa o molt semblant a la fuga que deixa passar el Master Jet. S'ha fet una comprovació pràctica del instrument, els resultats d'aquest anàlisi es presenten en l'annex I.

Paràmetres del RUBI: 20 mbar tipus 35; $16,3 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$.

- **Connexions de tubs**

El material dels tubs és el politetrafluoroetilè (PTFE), més conegut com a Tefló. És un polímer similar al polietilè, on els àtoms d'hidrogen estan substituïts per àtoms de fluor. La principal avantatge d'aquest material és que és pràcticament inert, i no reacciona amb altres substàncies químiques tret de situacions molt especials. Aquest fet es deu bàsicament a la protecció que confereixen els àtoms de fluor a la cadena carbonada. Aquesta carència de reactivitat fa que la seva toxicitat sigui molt baixa i sigui ideal per al nostres assaig.

- **Vàlvula 3/2 (3 vies 2 posicions)**

Aquesta vàlvula s'ha instal·lat en la "set up" per fer servir el Master Jet RUBI en la comprovació del cabal. En la primera posició el circuit es tal i com es mostra a la configuració d'instruments seguint el seu recorregut fins arribar al tanc de combustible, en la segona es gira la vàlvula per tancar el circuit fent que el final d'aquest sigui el RUBI simulant una fuga de mida coneguda per a fer la comprovació de una correcta lectura dels nostres aparells utilitzats.

- **Benzina**

La benzina és una mescla hidrocarburs que s'obté mitjançant processos químics a les refineries. La benzina utilitzada és una benzina convencional 95 sense plom amb un 5% d'etanol. Es va decidir utilitzar aquest tipus de benzina per què és la més convencional i comuna de les benzines que tenim al nostre abast, al principi es va pensar en utilitzar benzina americana per dur a terme l'assaig ja que al ser una normativa americana

- Tanc de combustible

Comparant els diferents tancs de combustible tenim principalment de dos tipus diferenciant el material del qual estan fets, de plàstic o de metall. En el plàstic tenim diferents compostos com per exemple HDPE, EVOH, i altres mescles de plàstics mentre que els de metall són principalment d'acer o diferents aliatges d'alumini. En general els tancs de plàstic tenen més requisits per la detecció de fugues que els de metall ja que és més fàcil la formació de petits porós en la fabricació i manipulació del plàstic. Els requisits típics per la taxa de fuites en els tancs es troben entre els $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l·s⁻¹ i $1 \cdot 10^{-6}$ mbar·l·s⁻¹. Per l'assaig amb la metodologia EPA s'han utilitzat 2 tipus de tancs, el primer és un tanc convencional de plàstic al qual se l'ha anomenat com a "confidencial", el segon és un tanc d'un vehicle elèctric endollable (PHEV) segellat hermèticament.

4.1.2 Caiguda de pressió

En aquest apartat es presenten tres tancs de combustible, 2 tancs iguals entre si i 1 diferent més un test de caiguda amb el tanc “confidencial”, cada tanc ha sigut sotmès individualment a un assaig de caiguda de pressió seguint la següent metodologia:

- Primer és fa un reconeixement visual per tal de buscar alguna deformitat o error de disseny, també es miren les juntes i les connexions per verificar que tot està en el seu lloc i que no hi hagi cap forat significatiu en el tanc que pugui interferir en els resultats. Aquest reconeixement ha sigut més exhaustiu en el primer tanc que en els altres dos ja que aquest primer és un tanc que ha estat extret d'un vehicle completament operatiu i en el mercat mentre que els altres dos són tancs completament nous, casi acabats de sortir de la caixa enviada pel fabricant.
- El segon pas és segellar i omplir el tanc. Es tracta de primer de segellar el tanc hermèticament tapant totes les seves obertures (entrada de combustible, sortida del canister, vàlvules de pressió, etc.) i a continuació injectar el nitrogen de la bombona al tanc, muntant abans un circuit on tenim un transductor de pressió connectat a un multímetre per tal de controlar i monitoritzar la pressió a dins del tanc. La nostra pressió d'assaig serà de 100 mbar o 10 kPa. El tanc s'anirà omplint lentament de nitrogen fins arribar a la pressió a la que es vol fer l'assaig.
- Un cop el tanc arribant a la pressió desitjada, es fa un altre “leak check” amb una solució aquosa que segueix les mateixes mecàniques que l'assaig de bombolles. Amb aquesta solució es mullen les parts del circuit de nitrogen on hi ha juntes, connexions, etc. així com les parts de connexions del tanc, per tal d'esbrinar si el sistema es completament estanc i així evitar possibles petites fuites que emmascarin els resultats reals del assaig. La solució aquosa s'utilitza en aquesta fase ja que la pressió en el tanc comença a pujar, revelant les possibles fuites que pot haver-hi.
- Una vegada el tanc esta estable a 100 mbar es fa una estabilització d'uns 10 minuts, s'apunten les dades del inici i final de la pressió del tanc.
- Al acabar l'estabilització, es fa una lectura cada minut agafant el valor de la pressió durant uns 10 minuts. Aquest valors són els que s'utilitzaran per calcular el caudal de la fuga que volem trobar utilitzant la següent formula (8):

$$Q = \frac{(P_i - P_f) \cdot V}{t}$$

(8)

On Q és el caudal de la fuga, P_i és la pressió inicial del tanc en mbar, P_f és la pressió final en mbar, V és el volum del tanc en litres i t és el temps en segons.

4.1.2.1 Material del assaig caiguda de pressió



Fig. 26: Bombona de N₂ (200 bar)

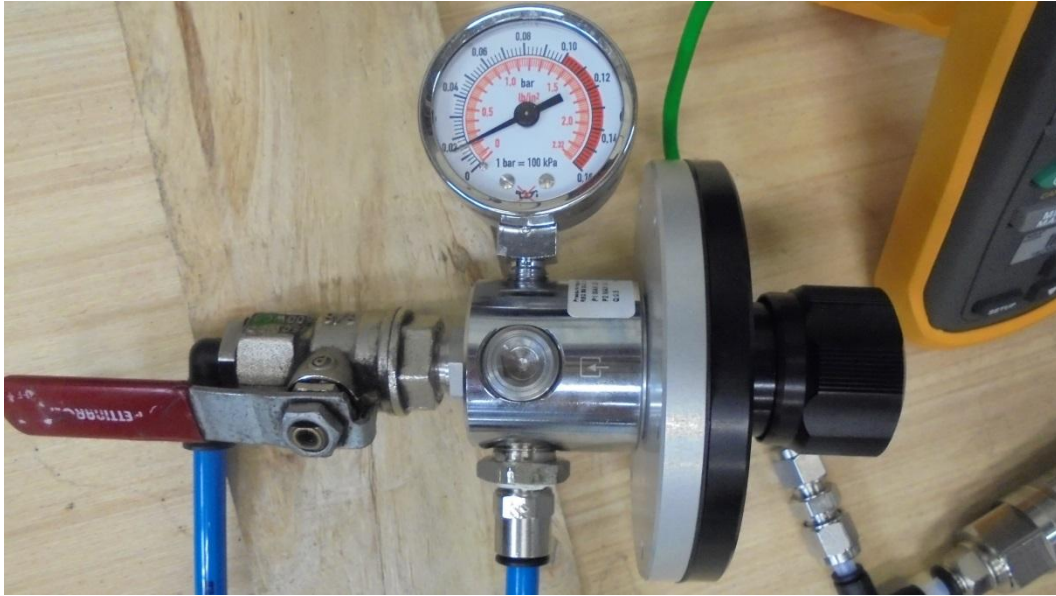


Fig. 27: Manòmetre regulador de baixes pressions AirLiquide



Fig. 28: Transductor de pressió de 0 mbar a 150 mbar



Fig. 29: Multímetre i font d'alimentació de 12 V



#9987632

Fig. 30: Tancs de combustible



Fig. 31: Connexions de tubs o línies

4.1.2.2. Detalls de la instrumentació

- **Bombona de N₂**

Bombona de N₂, el fluid utilitzat esta especificat en el Standard de la norma contingut en el procediment.

Pressió d'entrada 200 bar; Pressió de sortida 2 bar

- **Manòmetre bombona Airliquide**

Incorporat a l'ampolla de N₂, permet passar de 200 bars a regular una pressió de sortida compresa entre 20 bars i 0,2 bars.

- **Cabalímetre (Mass Flow Meter)**

En aquest assaig la funció del cabalímetre varia, s'utilitza per regular la pressió de sortida de la bombona de nitrogen per tal de fer passar un petit cabal per controlar-lo a una pressió de 100 mbar amb el manoreductor, per tant no caldrà prendre dades del cabal que hi passa.

- **Manòmetre regulador de baixes pressions AirLiquide**

Instrument que permet regular la pressió del circuit entre 0 mbar i 100 mbar. En aquest assaig la pressió de sortida serà sempre la mateixa (100 mbar) per tant no cal estar variant la pressió manualment sinó que es deixa fixa a aquest valor.

- **Connexions de tubs o línies**

El material dels tubs és el politetrafluoroetilè (PTFE), més conegut com a Tefló. És un polímer similar al polietilè, on els àtoms d'hidrogen estan substituïts per àtoms de fluor. La principal avantatge d'aquest material és que és pràcticament inert, i no reacciona amb altres substàncies químiques tret de situacions molt especials. Aquest fet es deu bàsicament a la protecció que confereixen els àtoms de fluor a la cadena carbonada. Aquesta carència de reactivitat fa que la seva toxicitat sigui molt baixa i sigui ideal per al nostres assaig.

- **Transductor de pressió (0 mbar a 150 mbar) GE/UNIK 5000**

Treballarà a una pressió de 10 kPa (100 mbar) ja que és la pressió a la que és fa l'assaig de caiguda de pressió.

- **Multímetre**

Per tal d'aconseguir la pressió desitjada en cada test del assaig, es té que controlar el voltatge del transductor. El propi transductor té una corba de treball que en funció del voltatge la pressió augmenta o disminueix. Com que en aquest assaig només ens interessa arribar i mantenir-se a una pressió de 100 mbar, es té que aconseguir que el voltatge sigui de 7,71 volts segons la corba del mateix transductor.

Corba transductor	V (V)	P (mbar)
$(-)\text{15,5877}+\text{15,001}\cdot\text{V}$	7,71	100,07

Taula 2: Pressió en funció del voltatge en el transductor de pressió

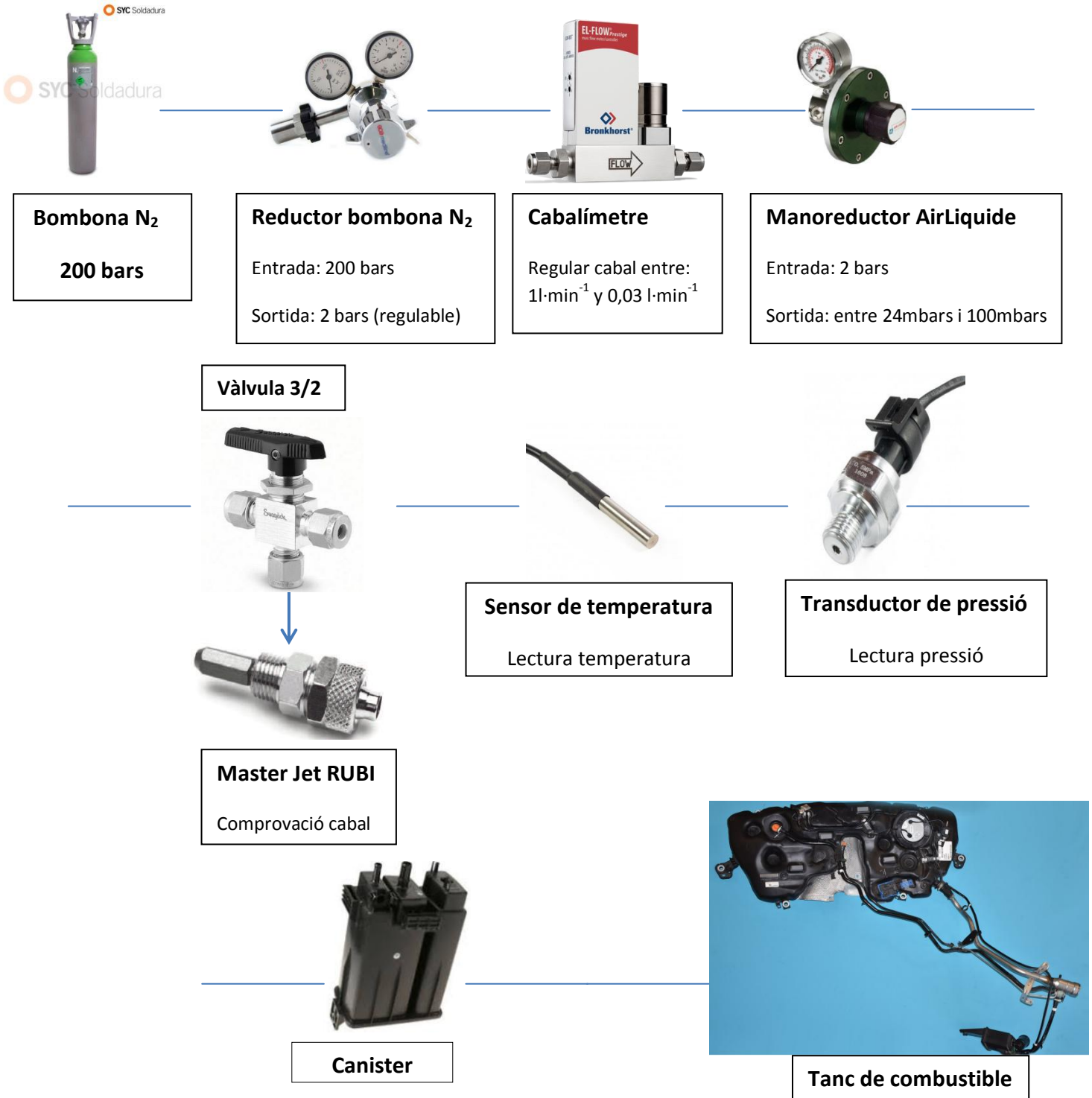
- Tanc de combustible

Comparant els diferents tancs de combustible tenim principalment de dos tipus diferenciant el material del qual estan fets, de plàstic o de metall. En el plàstic tenim diferents compostos com per exemple HDPE, EVOH, i altres mescles de plàstics mentre que els de metall són principalment d'acer o diferents aliatges d'alumini. En general els tancs de plàstic tenen més requisits per la detecció de fugues que els de metall ja que és més fàcil la formació de petits porós en la fabricació i manipulació del plàstic. Els requisits típics per la taxa de fuites en els tancs es troben entre els $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l·s⁻¹ i $1 \cdot 10^{-6}$ mbar·l·s⁻¹. Per aquest assaig s'han utilitzat 3 tancs (2 iguals i 1 de diferent) a més del tanc "confidencial" per fer comparacions amb els dos mètodes. El material de tots els tancs sotmesos a aquest assaig és plàstic.

5. EQUIP DE MEDICIÓ I PRESA DE DADES

A continuació es presenta la “set up” o conjunt d'instruments que s'ha utilitzat per portar a terme els diferents assaigs.

5.1. “Set up” Assaig amb procediment EPA



5.1.1. Funcionament de la “set up” (Figures 32-35)

Per el correcte funcionament de la nostre configuració d'instruments s'ha dissenyat la “set up” en consideració amb les exigències que la normativa té en el control de la pressió, la temperatura i el cabal de nitrogen. Per començar, es tindrà que muntar la “set up” tal qual apareix en l'anterior apartat (5.1) d'esquerra a dreta i de dalt a baix. En la bombona de nitrogen tenim el reductor de la pròpia bombona, la sortida d'aquest s'uneix amb el cabalímetre utilitzant les línies de o tubs de tefló de diàmetre 8 mm, a continuació del cabalímetre passa al manoreductor utilitzant tub de tefló de 6 mm de diàmetre, de la sortida del manoreductor es porta cap a l'entrada de la vàlvula de 3 vies 2 posicions. De la sortida de la vàlvula va a parar al canister utilitzant tubs de tefló de 6 mm diàmetre, entre la vàlvula i el canister es col·loquen els sensors de temperatura i de pressió amb una unió “T” per tal de controlar aquets paràmetres el més prop del sistema de combustible (tanc i canister).

Un cop muntada s'ha de comprovar que tots els tubs i connexions estan correctament connectats i units per tal d'evitar fuites que podrien emascarar els resultats d'una potencial fuga, es per això que abans de la prova es façi un reconeixement exhaustiu de tot el material per assegurar-se que no hi ha desperfectes ni danys sobretot en les entrades, sortides i connexions dels elements com el cabalímetre, manoreductor, vàlvula, etc. També per tal d'assegurar la completa estanqueïtat de la configuració es va passar una solució aquosa especial per detectar fuites cada cop que es va muntar la “set up” per totes les parts potencials del petites fuites per tal de que quan el nitrogen passi pel circuit aquesta solució, si hi ha una petita fuga en les connexions, començarà a formar petites bombolles que fan que la fuga sigui localitzable.

Ara passem a la fase d'experimentació, primer de tot obrim la bombona de nitrogen i amb el seu propi reductor regulem la sortida de la pressió a 2 bars mínim, aquesta pressió es suficient per que treballi el cabalímetre. Un cop el nitrogen a arribat al cabalímetre obrim el manoreductor per tal de deixar passar el nitrogen cap al tanc de combustible, regulant amb la maneta la pressió que volem que hi hagi a dintre amb molta precaució ja que és molt sensible i no es té que girar bruscamet. La vàlvula 3/2 té que estar oberta en la direcció del circuit de tanc ja que l'altre sortida s'utilitzarà per fer una comprovació del cabal amb el Master Jet RUBI. Controlem la pressió i temperatura amb els sensors (termòmetre i transductor de pressió) fins que arriba el nitrogen al tanc.

Un cop el nitrogen està arribant al final del recorregut hem de esperar a que s'estabilitzi la pressió i que s'ompli el tanc per fer un assaig a la pressió que volem i aquest valor no varií. Després de que la pressió estigui estable hem de esperar a que el cabal de nitrogen també s'estabilitzi, el cabal es controla amb la Estació de Càrrega Portàtil (ECP) i amb l'ordinador que té instal·lat el programa SmartControl. El cabal de nitrogen és l'indicador de fuites en el tanc, si hi ha cabal corrent per el circuit significa que hi pot haver-hi una potencial fuga, la qüestió aquí és que si el tanc no presenta fuites el cabal que es veurà per la pantalla de l'ordinador serà un valor proper al 0%, normalment comprés entre el 0 % i el 2-3 %. Amb aquest tant per cent del cabal es pot calcular la fuga i posteriorment el diàmetre relatiu que té la fuga en el tanc.

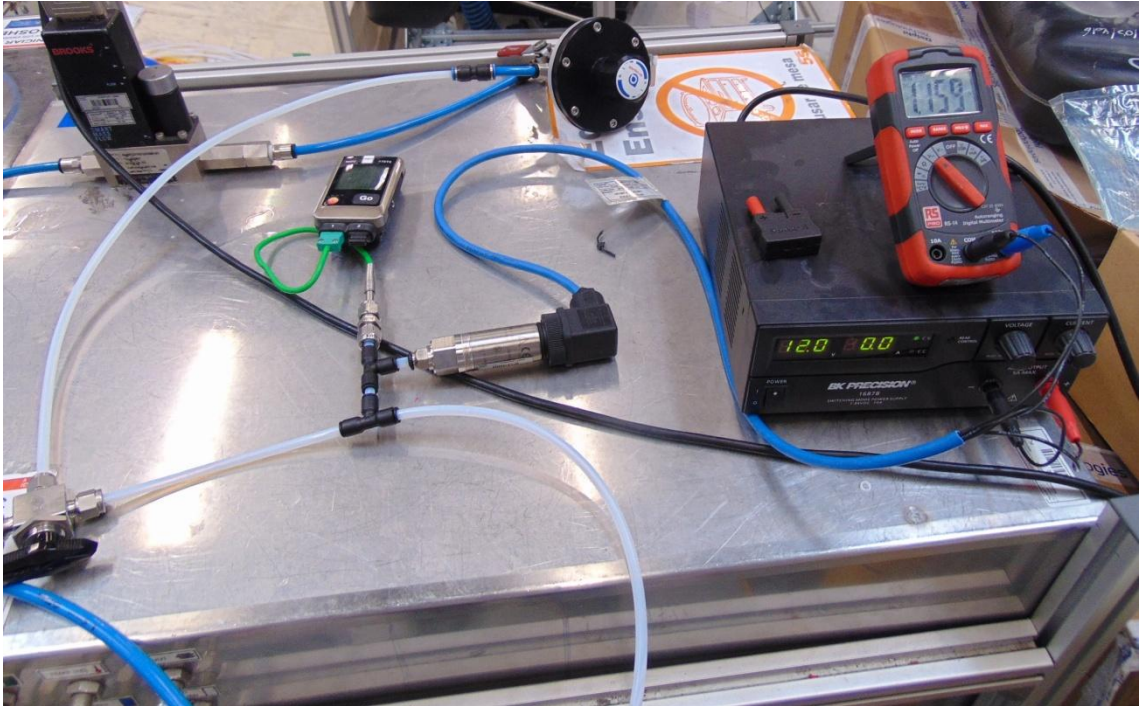


Fig. 32: "Set up" sense tanc

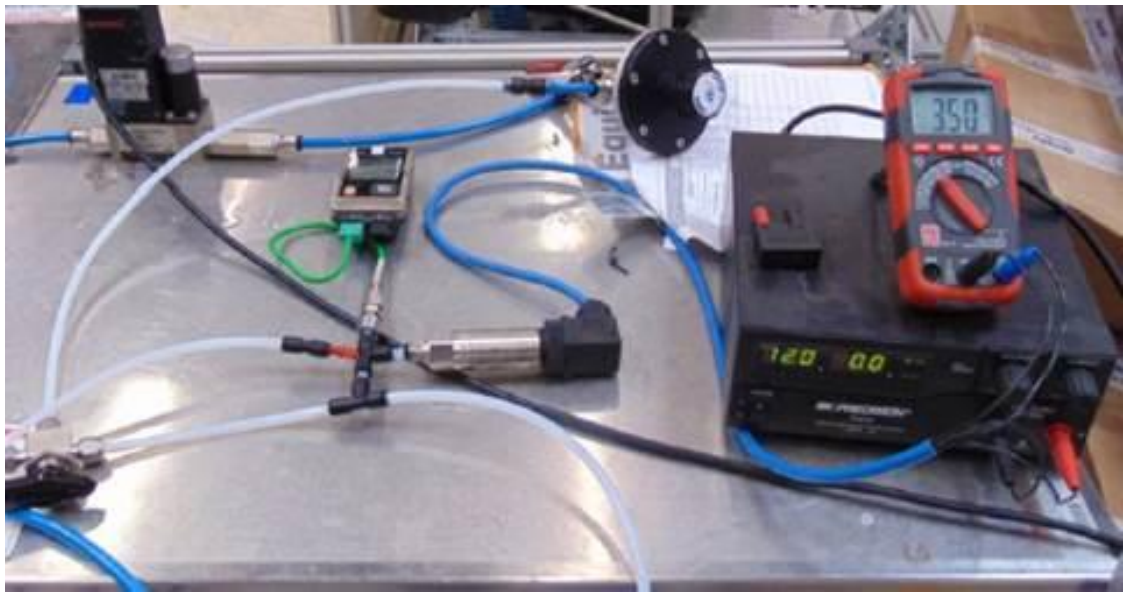


Fig. 33: "Set up" sense tanc

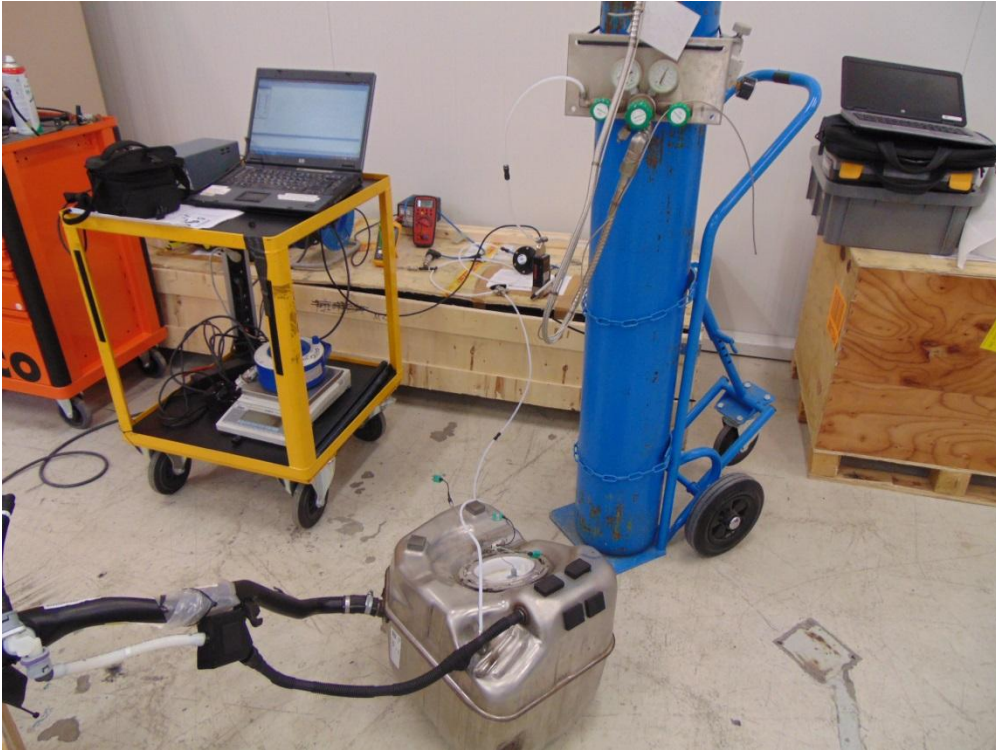


Fig. 34: "Set up" amb tanc PHEV (tanc segellat)



Fig. 35: "Set up" amb tanc "confidencial"

5.1.2. ECP (Estació de Càrrega Portàtil)

Per tal de fer servir correctament i prendre dades, així com controlar i mesurar cabals amb el cabalímetre, és necessari un suport electrònic que permeti fer tot aquestes necessitats mitjançant un ordinador. Aquí és on entra l'Estació de Càrrega Portàtil o més coneguda com ECP per les seves síl·labes, es tracta d'un controlador dissenyat per controlar l'obertura dels cabalímetres i la quantitat de gas que hi passa per ells a partir d'un programa anomenat SmartControl (Fig.36).

El cabalímetre es connecta a aquesta unitat de control mitjançant un cable amb una connexió especial. Un cop connectat, s'executa el programa SmartControl i es configura per el cabalímetre que es vol utilitzar, hi han diverses configuracions depenent la mida de lectura del cabalímetre, en el nostre cas seleccionarem la del $23,2 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ de nitrogen ja que és el que farem servir. A partir d'aquí es té que obrir la vàlvula (setpoint) per permetre que el gas passi per dintre del cabalímetre i així poder calcular el cabal que hi passa cap al tanc, posteriorment es té que establir controlant la pressió. Si hi ha una potencial fuga el cabal seguirà corrent per el cabalímetre i aquest calcularà el cabal que s'està escapant per el tanc. Com més gran sigui el percentatge que hi apareix en la programari més gran serà el cabal, amb aquest tant per cent es pot calcular la fuga coneixent els paràmetres del nostres instruments (Figures 37 i 38).



Fig. 36: Ordinador amb programa SmartControl i controlador

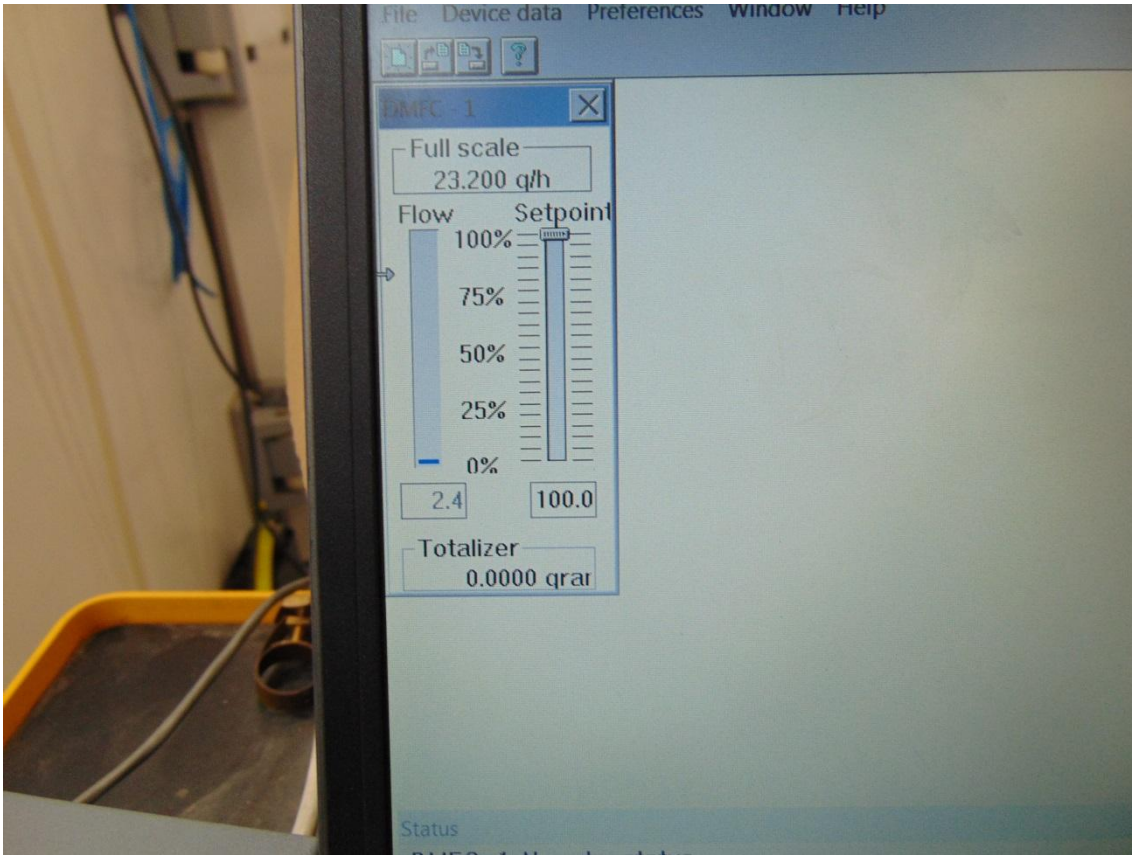


Fig. 37: Exemple de cabal detectat a condicions determinades

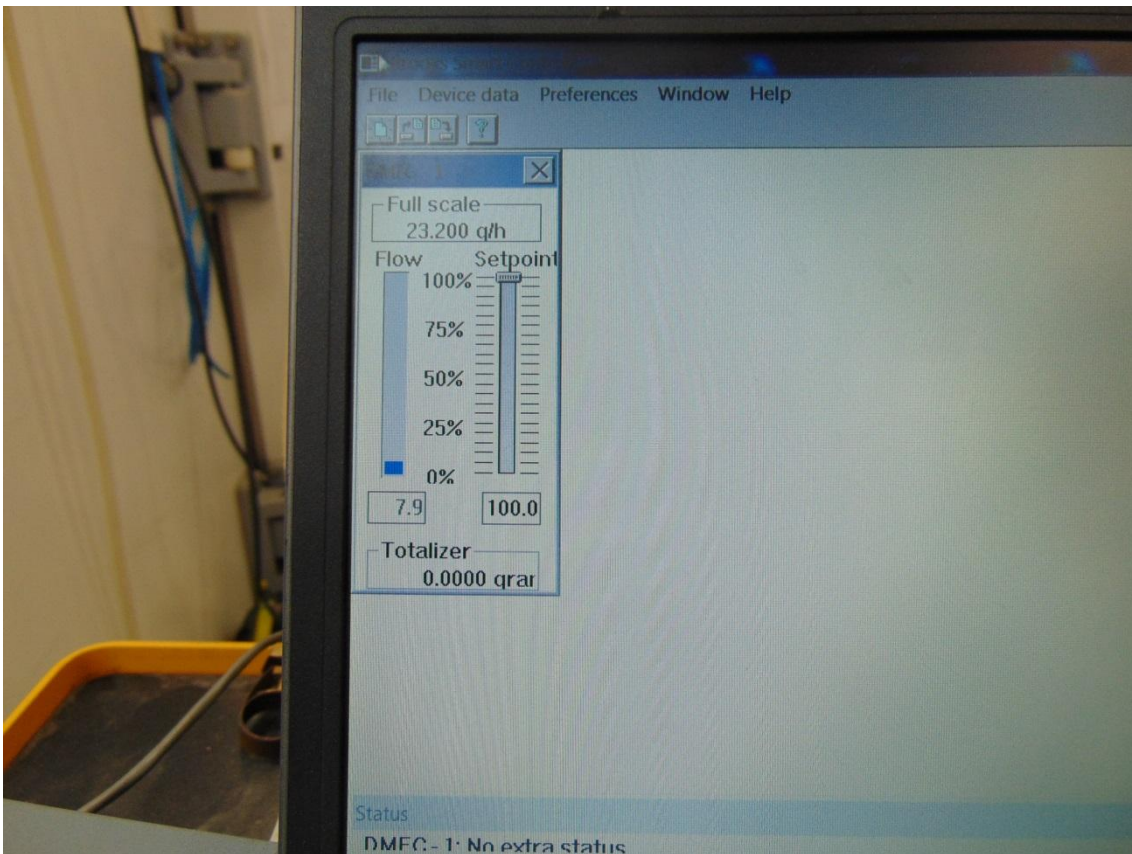


Fig. 38: Exemple de major cabal detectat a condicions determinades

5.2 "Set up" Assaig caiguda de pressió



Bombona N₂
200 bars



Reductor bombona N₂
Entrada: 200 bars
Sortida: 2 bars (regulable)



Cabalímetre
Regular cabal



Manoreductor AirLiquide
Entrada: entre 0 mbars i 100 mbars
Sortida: 100 mbars



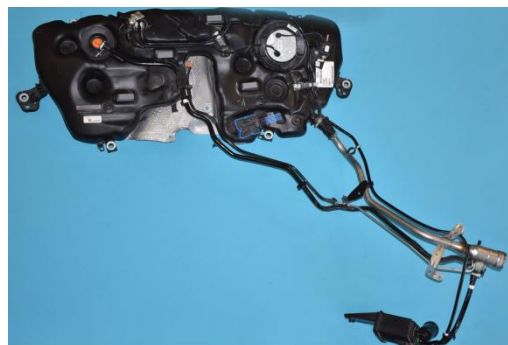
Vàlvula 3/2



Sensor de temperatura
Lectura temperatura (Tipus K)



Transductor de pressió
Lectura pressió



Tanc de combustible

5.2.1. Funcionament “set up” en caiguda de pressió (Fig. 39)

Per l'assaig de caiguda de pressió, la “set up” que s'utilitza requereix menys instruments de mesura i s'aprofita part de la “set up” utilitzada en l'assaig EPA, així s'estalvia temps i material.

Igual que en el muntatge de la “set up” anterior, s'ha fet les pertinents comprovacions de les connexions amb la solució aquosa per evitar potencials fuites no visibles a simple vista i evitar errors ens els resultats.

La configuració és pràcticament la mateixa però en aquest cas es gira la vàlvula per tal de segellar el circuit un cop a passat la quantitat necessària de nitrogen per tal d'arribar als 100 mil·libars de pressió que és la necessària per portar a terme l'assaig en aquest cas el circuit seria: vàlvula 3/2 → sensor de temperatura (no s'utilitza en cap cas però es deixa muntat ja que va inclòs en la “set up” de l'assaig EPA i no molesta en el funcionament del circuit) → sensor de pressió → Tanc. El canister no va inclòs en aquesta configuració així que es va treure del circuit eliminant un element que pot ser susceptible a tenir alguna fuga (no és el nostre cas).

La maneta del manoreductor també este que manejar amb cura i molta precaució ja que en aquest cas la pressió no varia en tot l'assaig si que pot ser que un petit moviment pugui canviar la pressió i ja no sigui 100 mil·libars

A partir d'aquí es té que anar vigilant el multímetre que és juntament amb el transductor de pressió l'encarregat de veure la caiguda de pressió i anar apuntant els valors del voltatge per després passar-los a pressió amb la corba característica del transductor (Taula 2). Els valors no variaran massa si el tanc es troba en bones condicions, en canvi si trobem que la pressió ha disminuït força una potencial fuga por ser descoberta

Primer de tot un cop arribat als 100 mil·libars és fa una estabilització de 10 minuts per tal de d'aconseguir aquest valor de pressió i que el nitrogen també estigui estable i no vagui recorrent el tanc d'un costat a l'altre. A continuació es fa una fase de lectura i de pressa de dades d'una duració de 10 minuts però apuntant el valor del voltatge cada minut per tant obtindrem 10 dades de pressió que utilitzarem per treure les conclusions i resultats utilitzant les formules i anotacions necessàries.



Fig. 39: "Set up" amb tanc "confidencial"

6. RESULTATS

Aquesta secció presenta els resultats dels experiments i simulacions dels processos que s'han seguit per avaluar l'estat dels tancs i així, aportar una prova de la fiabilitat dels mètodes emprats. Al final d'aquest capítol es presenten els anàlisis de sensibilitat dels dos processos on s'han canviat els paràmetres per investigar la influència sobre la caiguda de pressió i sobre l'ús del nitrogen en la detecció de fuites.

6.1. Mínim forat calculable per el procediment EPA

Per tal de tenir unes mesures de cabal exactes o molt properes a la realitat s'ha calculat el mínim forat que es pot arribar a llegir amb els nostres instruments i posteriorment s'ha intentat trobar aquest forat mitjançant el cabal corresponent a aquest diàmetre. Per fer-ho es necessita trobar primer paràmetre conegut com a "turndown ratio". En la mesura del cabal, la proporció de tendència indica el rang de flux que un mesurador de cabal és capaç de mesurar amb una precisió acceptable. És conegut també com a estabilitat de mesurament. Per al nostre cabalímetre el turndown ratio es de 50:1 això vol dir que el mínim que el cabalímetre pot arribar a llegir és un 2 % de la seva capacitat nominal. Els càlculs per trobar el mínim cabal són els següents:

Cabalímetre 0,28 l/min--> turndown ratio 50:1 = (0,28/50) = 0,0056 l/min → $9,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$

El mínim cabal que permet llegir el nostre mesurador de cabal és d'aproximadament de $1 \cdot 10^{-7}$ litres/segon si arrodonim el valor aconseguit. En el nostre assaig la mínima pressió aplicable és de 24 mbar o 2,4 kPa per tant el mínim forat el trobarem a aquesta pressió, ja que a menys pressió el cabal serà més petit i ens interessa el cabal més petit que el nostre cabalímetre pugui llegir. Són valors tan petits de cabal que no s'arribarà mai a aconseguir, almenys amb la configuració que tenim. En la Taula 1 es mostren els resultats amb diferents diàmetres i subratllat en vermell el valor del cabal més petit detectable i el seu diàmetre equivalent.

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T (25 ^o) (K)	SG _{N2}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
2,4	205,05	0,02	298,15	0,967	0,564	0,0094	0,2256
2,4	205,05	0,015	298,15	0,967	0,319	0,0053	0,1277
2,4	205,05	0,01	298,15	0,967	0,143	0,0024	0,0573
2,4	205,05	0,005	298,15	0,967	0,036	0,0006	0,0145
2,4	205,05	0,004	298,15	0,967	0,023	0,0004	0,0094
2,4	205,05	0,001	298,15	0,967	0,00150	0,0000251	0,00060

Taula 3: Cabals de fuita a 2,4 kPa en funció del diàmetre i mínim forat calculable

On:

P.in-P.atm: pressió interna del tanc menys la pressió externa (kPa)

P.in+P.atm: pressió externa del tanc més la pressió externa (kPa)

Ø: diàmetre del forat de la fuga (polsades)

T: temperatura en graus Kelvin (K)

SG N₂: constant de gravetat del nitrogen, en aire a 101,325 kPa i a 15,5 °C

Q N₂: caudal resultant de la fuga en litres/minut (l·min⁻¹), litres/segon (l·s⁻¹) i metre cúbic/segon (m³·s⁻¹)

0,001 polsades és equivalent a 0,025 mil·límetres, es a dir, un forat petitíssim. El cabal equivalent a aquest forat és de $6 \cdot 10^{-4}$ mbar·l·s⁻¹, comparat amb el turndown ratio és unes 6 vegades més gran que el cabal que realment el instrument pot arribar a mesurar però ens quedarem amb el valor d'aquest diàmetre ja que 0,001 polsades es un 0,5 % de 0,02 polsades que és el límit que ens marca la normativa i no arribarem mai a un valor tant petit per que a partir de menys del 2 % del rang de lectura es consideraria com a lectura no segura ja que la fiabilitat del cabalímetre començaria a no ser exacte.

6.2. Es pot trobar aquest forat amb la caiguda de pressió?

Calcularem amb la formula de la caiguda de pressió el forat de la fuga però ara necessitem saber el temps en que es produirà la fuga. Posarem una pèrdua de pressió de 4 mbar ja que començarem a 24 mbar , que és la mínima pressió aplicable al nostre assaig, fins a una pressió final de 20 mbar. El tanc serà de 50 litres que és una capacitat estàndard. Amb la formula de caiguda de pressió modificada per obtenir el temps del assaig tenim que:

Pf (mbar)	Pi (mbar)	Volum (l)	temps (s)	Q (mbar·l·s ⁻¹)
20	24	50	333333,3	0,0006

Taula 4: Paràmetres utilitzats a l'assaig de caiguda de pressió

$$t = \frac{(P_i - P_f) \cdot V}{Q}; \quad t = \frac{(24 - 20) \cdot 50}{6 \cdot 10^{-4}} = 333333,33 \text{ s} = 92,6 \text{ h}$$

Fig. 40: Càlcul del temps estimat en un assaig de caiguda de pressió

Com a resposta a la pregunta podríem dir: No, ja que es necessitaria un temps estimat de unes 92,6 hores amb un tanc de 50 litres i un forat de 0,001 polsades que té una fuita de $6 \cdot 10^{-4}$ mbar·l·s⁻¹ a una pressió de inicial 2,4 kPa (24 mbar) i una pressió final de 2 kPa (20 mbar). El fet que sigui possible poder llegir una fuita d'aquesta mida amb el mètode de caiguda de pressió no justifica el fet de esperar casi 93 hores per veure aquesta decrement de pressió, per tant podem dir que és possible però no és rentable fer un assaig de caiguda de pressió si sabem que un tanc tindrà un forat molt petit.

Queda demostrat que per a cabals molt petits el mètode de caiguda de pressió no és adequat per el temps necessari per dur a terme l'assaig. Dit això és possible trobar una fuita amb aquest diàmetre de forat però és molt poc probable que s'utilitzi l'assaig de caiguda de pressió per tal d'esbrinar la fuita

6.3. Comprovació del cabal per la correcta lectura

Per tal d'obtenir uns resultats correctes, s'ha plantejat la incorporació d'un element de control de cabal. Aquest instrument és conegut com a "calibrated orifice", RUBI és el nom donat per la empresa ATEQ on s'ha obtingut el instrument, es tracta d'un element que té en consideració la temperatura, la pressió i el cabal a uns determinats rangs per tal de poder treure la fuita que ja ha estat calculada i que equival a un forat de diàmetre conegut. Un cop conegut el diàmetre del forat, el que s'ha fet per comprovar la "set up" ha sigut substituir el "calibrated orifice" en el lloc del tanc per tal de simular un fuita de diàmetre conegut. A partir d'aquí es mesura la fuita amb el cabal, la pressió de sortida i la temperatura del nitrogen per tal de d'esclarir el nivell de fuita i veure si es correspon amb la del "calibrated orifice". Els resultats es poden observar en la següent taula.

RUBI+TANC CONFIDENCIAL 60 LITRES

	Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	∅ (polsades)	∅ (mm)
Tanc	296,15	2	204,65	0,967	2,00E-08	0,0009	0,023
RUBI (0°C)	273,15	2	204,65	0,967	4,54E-06	0,0142	0,360
RUBI (20°C)	293,15	2	204,65	0,967	4,25E-06	0,0135	0,343
Tanc+RUBI	296,65	2	204,65	0,967	5,00E-06	0,0150	0,379

Taula 5: Taula de comprovació del cabal

On:

Pressió : pressió interna del tanc menys la pressió externa (kPa)

Pressió total: pressió interna del tanc més la pressió externa (kPa)

Ø: diàmetre de la fuga (polsades)/(mm)

Temp: temperatura en graus Kelvin (K)

SG N₂: constant de gravetat del nitrogen, en aire a 101,325 kPa i a 15,5 °C

Cabal: cabal resultant de la fuga en metre cúbic/segon (m³·s⁻¹)

Com es pot veure, el forat calculat a una temperatura de 20 °C és un 6,7% més gran que el forat real del instrument (veure Annex I), és força acurat encara que no és igual, això pot ser degut a les petites interferències entre els instruments de mesura ja que el diàmetre del forat calibrat en el nostre assaig és considerat com una fuga no menyspreable i que estaria prop del límit del diàmetre que marca la normativa de la EPA, tot i així estaria dintre del que marca la norma, no superant les 0,02 polsades. A 0°C ,condicions de referencia, cal dividir el valor del diàmetre a 20 °C per un factor de 1,07 ja que és la diferencia entre el nitrogen a 0°C i a 20 °C, es tradueix com un 7 % del total i en aquest cas la desviació és casi nul·la, donat un valor del 0,3% respecte el forat real del RUBI.

En la següent taula es pot observar la fuga que ens trobaríem si en algun tanc de combustible hi hagués la fuga d'un diàmetre igual al del "calibrated orifice" segons la formula de la normativa de EPA. Apareix en vermell la fuga corresponent a la generada pel RUBI. Cal remarcar que la prova de la fuga del esta feta a una pressió de 20 mbar que és la mateixa pressió en la que s'ha dissenyat i calculat el forat RUBI quan es demanar a la fàbrica.

P.in-P.atm (kPa)	P.in+P.atm (kPa)	Ø (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)	Q N ₂ (m ³ ·s ⁻¹)
2	205,05	0,02	293,15	0,967	0,519	0,00865	0,1730	0,0000087
2	205,05	0,0134	293,15	0,967	0,235	0,00392	0,0784	0,000004
2	205,05	0,01	293,15	0,967	0,132	0,00220	0,0439	0,0000022
2	205,05	0,005	293,15	0,967	0,033	0,00056	0,0112	0,0000006
2	205,05	0,004	293,15	0,967	0,022	0,00036	0,0072	0,0000004
2	205,05	0,003	293,15	0,967	0,012	0,00020	0,0041	0,0000002
2	205,05	0,002	293,15	0,967	0,005	0,00009	0,0018	0,0000001

Taula 6: Fuita produïda per el Master Jet RUBI

On:

P.in-P.atm: pressió interna del tanc menys la pressió externa (kPa)

P.in+P.atm: pressió interna del tanc més la pressió externa (kPa)

Ø: diàmetre del forat de la fuga (polsades)

T: temperatura en graus Kelvin (K)

SG N₂: constant de gravetat específica del nitrogen, en aire a 101,325 kPa i a 15,5 °C

Q N₂: cabal resultant de la fuga en litres/minut (l·min⁻¹), litres/segon (l·s⁻¹) i metre cúbic/segon (m³·s⁻¹)

6.4. Factor de correcció per el vapor de benzina

La benzina és un compost derivat del petroli. Al ser una gran suma d'hidrocarburs la seva formulació química no esta gens clara ja que la cada gasolina té més o menys quantitat d'hidrocarburs que una altre depenen de les quantitats d'elements com el etanol, benzè, sofre... . És per aquesta raó que per simplificar càlculs s'ha decidit que els vapors resultants de la gasolina tinguin la formulació química del butà (C_4H_{10}).

A l'interior del dipòsit, els vapors que queden estan compostos per un 50% d'aire i un 50% per vapors de gasolina, dins d'aquests vapors del 50%, al voltant d'un 30% són causats per gasolina, així que mantenim aquest número com a referència.

Després de fer el procediment complet amb gasolina i introduir una pressió de 20 mbar, el cabal mitjà de prova és del 54,28%, a partir d'aquest flux es calcula el diàmetre efectiu, donant un diàmetre de 0,01129 polzades. El procediment amb nitrogen proporciona un diagrama de flux del 80,5% i un diàmetre de 0,0134 polzades.

Sembla que hi ha una diferència entre el procediment complet vers el procediment sense gasolina i sense soak, si es comparen aquests resultats amb els realitzats al laboratori sense condicionar el dipòsit (sense gasolina ni remull), es pot observar que les fuites al complet el procediment és inferior a les filtracions calculades en el procediment de verificació de filtracions (només mesuren fuites sense benzina fins al 40%, remull, etc.). Això pot ser perquè en el procediment complet quan s'utilitza gasolina, les molècules de benzina + aire + N_2 són més grans (tenen una mida més gran) que les d'aire + N_2 , per tant, és més difícil que passin per un forat determinat. la diferència d'una fuga a una altra es deu als vapors que la gasolina allibera i es barregen dins del dipòsit.

A continuació es pot observar la massa molecular de les dues reaccions que es formen a dins del tanc, la primera utilitzant la gasolina i el procediment complet i la segona només amb nitrogen i sense procediment.

$$\text{Butà: } C_4H_{10} = 48 + 10 = 58 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Molècula gasolina} = C_4H_{10} = 48 + 10 = 58 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Molècula nitrogen} = N_2 = 28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Fig. 41: Pes molecular benzina i nitrogen

Com s'observa les molècules de la barreja aire+butà són força més grans que la de aire+nitrogen, aquesta és una de les causes per la qual la detecció de fuites varia dependent de com estigui condicionat el tanc.

És clar que la relació entre el butà (vapors de gasolina), nitrogen i aire es diferent de la de aire i nitrogen, es comporta diferent dintre del tanc de combustible. Per calcular correctament s'ha establert el següent factor de correcció (9):

$$F = \frac{0,0134}{0,01129} = 1,19$$

(9)

Una vegada calculat aquest factor, es té que multiplicar per els valors del diàmetre calculat per obtenir el verdader diàmetre que és emmascarat per les molècules del vapor de gasolina residual. La següent taula es mostra el diàmetre autèntic de la fuga un cop aplicat el factor de correcció.

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	Ø forat (polsades)	Ø forat · F(1,19)
291,15	2	204,65	0,967	3,43E-06	0,01236	0,0147
291,15	2	204,65	0,967	2,90E-06	0,01136	0,0135
291,15	2	204,65	0,967	2,74E-06	0,01104	0,0131
291,25	2	204,65	0,967	2,85E-06	0,01126	0,0134
292,15	2	204,65	0,967	2,74E-06	0,01105	0,0131
292,75	2	204,65	0,967	2,79E-06	0,01115	0,0132
291,65	2	204,65	0,967	2,85E-06	0,01126	0,0134
291,15	2	204,65	0,967	2,87E-06	0,01129	0,0134

Taula 7: Assaig procediment EPA complet+RUBI+Factor de correcció

Nota: la marca groga mostra la mitjana ponderada de les proves que s'han dut a terme per tal d'extraure el factor de correcció i estudiar com actuen el vapors.

6.5. Comprovació de la fuga calculada equivalent amb benzina

Com s'ha vist en la anterior secció, la fuga que es trobada utilitzant nitrogen com a gas d'assaig en un tanc de combustible buit és diferent a una fuga generada per els vapors de la gasolina en un tanc preconditionat amb gasolina i haver-lo deixat fent un "soak" de unes 24 hores aproximadament.

Per calcular la nova fuga es necessita la següent fórmula (10):

$$Q_{gas} = Q_{n2} \times \frac{\eta_{n2}}{\eta_{gas}} \times \frac{P^2_{gasInt} - P^2_{gasExt}}{P^2_{n2Int} - P^2_{n2Ext}} \times \frac{P_{parcial}}{P_{gasInt}} \quad (10)$$

On cada una de les seves variables són:

Q_{gas} : fuita de benzina a les condicions de test (mbar·l·s⁻¹)

Q_{n2} : fuita de nitrogen a les condicions de test (mbar·l·s⁻¹)

η_{n2} : viscositat dinàmica del nitrogen (bar·s)

η_{gas} : viscositat dinàmica de la gasolina (bar·s)

P_{gasInt}: pressió de la benzina al interior del tanc (bar)

P_{gasExt}: pressió exterior benzina(bar)

P_{n2Int}: pressió del N₂ al interior (bar)

P_{n2Ext}: pressió N₂ exterior (bar)

P_{parcial}: pressió parcial del tanc(bar)

Com es pot observar en la següent taula (Taula 8), per al nostre RUBI, el diàmetre és de 0,0134 polzades on hauríem de tenir un cabal de fuita de 0,0784 mbar·l·s⁻¹ utilitzant nitrogen com a gas traçador, el cabalímetre detecta un cabal del 80,5% sobre el total del cabalímetre. Quan condicionem el dipòsit amb gasolina, la velocitat de fuites disminueix, així que quan calculem la fuita real per al procediment complet, tenim un cabal mitjà del 54,28% equivalent a 0,005283 l·s⁻¹ que el multipliquem per la pressió que es de 20 mbar. Això és igual a 0,05735 mbar·l·s⁻¹, aquesta és la veritable fuita que tenim quan fem el procediment complet amb benzina. Així doncs, necessitem un càlcul per a la fuita de combustible equivalent mitjançant la fórmula de dalt.

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	Ø (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
2	205,05	0,02	293,15	0,967	0,519	0,00865	0,1730
2	205,05	0,0134	293,15	0,967	0,235	0,00392	0,0784
2	205,05	0,01	293,15	0,967	0,132	0,00220	0,0439
2	205,05	0,005	293,15	0,967	0,033	0,00056	0,0112
2	205,05	0,004	293,15	0,967	0,022	0,00036	0,0072
2	205,05	0,003	293,15	0,967	0,012	0,00020	0,0041
2	205,05	0,002	293,15	0,967	0,005	0,00009	0,0018

Taula 8: Taula de treball del RUBI "calibrated orifice"

La fórmula quedaria de la següent manera (9):

$$Q_{gas} = 0,0784 \times \frac{1,8 \cdot 10 - 10}{7,23 \cdot 10 - 11} \times \frac{1,03325^2 - 1,01325^2}{1,03325^2 - 1,01325^2} \times \frac{0,3 \cdot 1,01325}{1,01325} \quad (9)$$

On tenim que:

$$Q_{gas} = 0,05855 \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$$

Com es pot observar el resultat entre el calculat experimentalment i el resultat utilitzant la formula amb els paràmetres (9) és pràcticament el mateix, això ens assegura que la formula que s'ha utilitzat és correcte.

7. PRESSUPOST

En aquest capítol es mostra el preus del procediment complet amb tots el material utilitzats per la fabricació, eines emprades, hores de disseny de la “set up” i calculacions pertinents. Es presentaran 2 pressupostos, un per el primer assaig (EPA) i l’altre per l’assaig de caiguda de pressió.

S’ha intentat sempre trobar el material idoni per el treball mirant sempre que sigui el més econòmic possible però sense reduir qualitat dels instruments.

El material de laboratori com els instruments de mesura ha estat calibrat prèviament per tal d’assegurar el correcte funcionament i la correcta lectura de les dades obtingudes. Tot el material calibrat té la seva fulla de calibratge interna del Departament de calibració d’Applus IDIADA.

7.1. Material de la “set up” procediment EPA

Material utilitzat per dur a terme el muntatge de la set up. Alguns instruments no s’han comprat ja que els ha proporcionat Applus IDIADA del seu inventari.

Material	Unitats	Preu unitat (€)	TOTAL(€)
Manoreductor Air Liquide	1	378,55	378,55
Cabalímetre Brooks	1	249,95	249,95
Master Jet RUBI	1	350	350
Transductor de pressió	1	139,99	139,99
Termòmetre digital FLUKE	1	120	120
Sonda termòmetre	1	10,99	10,99
Multímetre digital	1	80	80
Canister (confidencial)	1	ND	ND
Tanc de combustible (confidencial)	1	ND	ND
Tubs TYGON	1(10 metres)	1,49	1,49
Unions estanques per a tubs	6	0,12	0,72
Ampolla nitrogen 200 bars	1	175,23	175,23
ECP (ordinador+terminal)	1	700	700
TOTAL			2206,92

Taula 9: Material per el procediment EPA

7.2. Pressupost disseny configuració EPA

En aquest subapartat es mostra el número d'hores aproximat empleat per dur a terme el disseny de la "set up" per el determinar fuites segons la normativa EPA. S'ha tingut en compte aproximadament, i com a referència, el preu de la hora d'un enginyer d'Applus IDIADA que realitza un assaig i el tècnic que monta tota la "set up". En les hores s'inclou el propi disseny, els càlculs necessaris, contactes amb proveïdors, etc.

Concepte	Hores	Preu hora	TOTAL (€)
Disseny set up	40	40	1600
Muntatge set up	1	40	40
TOTAL			1640

Taula 10: Preu disseny configuració EPA

7.3. Material procediment caiguda de pressió

Material necessari per dur a terme el procediment de caiguda de pressió. La gran majoria del material i la instrumentació ha estat utilitzat també en la detecció de fuites i s'ha pogut aprofitar i no ha calgut comprar res nou a part dels tubs i els tancs a assajar aportats per Applus IDIADA.

Material/Instruments	Unitats	Preu unitat (€)	TOTAL(€)
Manoreductor Air Liquide	1	378,55	378,55
Transductor de pressió	1	139,99	139,99
Termòmetre digital FLUKE	1	120	120
Sonda termòmetre	1	10,99	10,99
Multímetre digital	1	80	80
Canister (confidencial)	1	ND	ND
Tanc de combustible 1 (confidencial)	1	ND	ND
Tanc de combustible 2 (confidencial)	1	ND	ND
Tanc de combustible 3 (confidencial)	1	ND	ND
Tubs TYGON	1(5 metres)	0,75	0,75
Unions estanques per a tubs	2	0,12	0,24
Ampolla nitrogen 200 bars	1	175,23	175,23
TOTAL			905,75

Taula 11: Material procediment caiguda de pressió

7.4. Pressupost disseny caiguda de pressió

Fase de disseny i muntatge de la "set up" del assaig caiguda de pressió. Igual que el pressupost del disseny de la "set up" anterior, el mateix preu de la hora del tècnic i del enginyer ha estat seleccionat. Al ser un disseny senzill no han calgut masses hores d'estudi i de disseny per a una aplicació que la seva funció és fer lectures de pressió.

Concepte	Hores	Preu hora	TOTAL (€)
Disseny "set up"	5	40	200
Montatge "set up"	1	40	40
TOTAL			240

Taula 12: Preu disseny configuració caiguda de pressió

L'assaig de caiguda de pressió és més econòmic per el simple fet que s'utilitza menys instrumentació, requereix menys temps tant d'investigació per treure resultats com a temps de muntatge de la pertinent configuració.

7.5 Pressupost total

El pressupost total per a un assaig segons la normativa americana EPA seria la suma del dos pressuposts anteriors en el apartat EPA, el del disseny de la configuració de instruments de l'assaig i el del material necessari per portar a terme tot el procediment. El valor total de l'assaig seria de 3846,92 euros. En aquest pressupost no estan inclosos el tancs de combustible ja que vindria donat per un potencial client, però si es desitja adquirir un tanc per fer l'assaig el preu pujaria una quantitat que pot anar des de els 200 euros fins als 500 depenent del tanc.

En l'assaig de caiguda de pressió el preu és força més petit ja que realment no són necessaris tants instruments per veure un decrement la de pressió, per tant el pressupost total seria, com en el cas anterior, la suma de la configuració i disseny de instruments més el material necessari. La suma total equival a 1145, 75. Igual que en el pressupost total de l'assaig EPA els tanc no estan inclosos per tant es tindrien que sumar les quantitats corresponents al pressupost total.

8. ESTUDI DEL IMPACTE MEDIAMBIENTAL

En aquest apartat s'explicarà com afecta al medi ambient la realització del treball en les seves fases de disseny, experimentació i en portar a terme les proves de detecció de fuites. Aquest estudi s'ha fet ja que l'ús de combustible és evident i es té que tenir controlat per evitar filtracions tant líquides com evaporatives.

8.1. Disseny de la “set up”

Per aquesta fase l'impacte és pràcticament nul, no s'han utilitzat ni prototips ni s'han fet proves de materials per determinar com quin tipus de tubs, per exemple, són millors o pitjors. S'ha estudiat els diferents manoreductors per tal de trobar el ideal. El propi disseny de la set up ha estat 100 % fet per ordinador així que l'electricitat és l'energia utilitzada en aquest apartat i es podria considerar com a impacte ambiental zero.

8.2. Muntatge i experimentació

Alhora de portar a terme les primeres proves de la set up i comprovar el correcte funcionament de tot el material emprat es pot dir que igual que a l'apartat del disseny, la contaminació que es pot ocasionar és negligible. El nitrogen és l'únic material que s'utilitzarà en aquest procediment ja que és el gas traçador utilitzat, el fet de que el 78 % del aire que respirem està compost per nitrogen i que és molt abundant en la natura fan que per aquesta raó no es considera qualsevol alliberament de nitrogen a l'atmosfera com a contaminació o que pugui tenir un impacte ambiental significatiu.

8.3. Procediment complet

Aquesta fase és la més crítica de les tres que s'estudien ja que és aquí on entra en acció el procediment complet marcat per la normativa i per tant l'assaig amb la benzina a dins del tanc. Per començar, la benzina utilitzada estava a dintre d'un bidó especial per a contenir carburants, així s'evita des de el començament qualsevol tipus de filtració al ambient tant d'emissions evaporatives com fuites líquides, aquesta benzina es va introduir al tanc de combustible amb una mànega especial per omplir tancs molt semblant a les que tenen a les benzineres, omplint un 40 per cent de la capacitat nominal del tanc.

A continuació es va fer un “sniff”, consisteix en passar prop del tanc un aparell que mesura els hidrocarburs de la zona on esta localitzat, per comprovar si hi havia emissions significatives per alguna part del tanc, el pic màxim d'emissions es va trobar al coll d'entrada del combustible justo on s'havia ficat la mànega per posar-hi la benzina, el valor mesurat pel sniffer va ser de 10 ppm, una quantitat molt petita d'emissions. Un cop es va fer el “soak” del tanc es va tornar a passar el sniffer per tal

de veure com havien evolucionat les emissions al cap de 24 hores de la posada de benzina, el resultat va ser molt semblant al del dia anterior, 8 ppm va ser el resultat del sniff al mateix lloc on es va detectar la quantitat més alta de concentració d'hidrocarburs.

Durant els dies de l'experimentació la benzina del tanc no es va tocar, ni es va reomplir ni buidar-lo per tant no hi va haver-hi contaminació. El fet de que l'assaig es comencés a la pressió més baixa i que anés pujant gradualment per tal d'estudiar les fuites a diverses pressions fins arribar a un màxim de 100 mbar, feia que al finalitzar els assajos el tanc fos alliberat de la pressió interna mitjançant la tapa de gas. Tot i que no eren més de 5 segons que la tapa de gas estava oberta per disminuir la pressió es va fer un sniff per tal de mesurar les emissions expulsades al ambient. El resultat va ser aproximadament de 30 ppm d'hidrocarburs, una quantitat alta, però no significativa ja que s'esperaven resultats més elevats.

9. CONCLUSIONS

Les proves realitzades faciliten el procés de detecció d'una fuga en cas de sol·licitar-la en algun procés, desenvolupament d'un dipòsit o altres casos, això implica que qualsevol dels dos mètodes assajats es pot aplicar depenent de determinats casos tècnics a estudiar. En aquest estudi hem realitzat el control de fuites per EPA i una verificació per caiguda de pressió.

Es van fer unes quantes proves per determinar l'estat dels dipòsits, primer es van realitzar unes primeres proves de nitrogen a diferents pressions per avaluar el funcionament de la configuració en el mètode del tanc "confidencial" sense condicionar la gasolina. A més, es va avaluar un tanc segellat hermèticament d'un cotxe PHEV donant valors de fuites menors, cosa que té sentit ja que al ser tancats a pressió, el límit de fuites és molt menor que en els dipòsits normals. Posteriorment, les veritables proves es van dur a terme seguint tot el procediment marcat per la normativa nord-americana, en aquestes proves es va observar que la mida de les fuites era diferent de les filtracions trobades a la primera prova.

Es van presentar resultats positius en vers l'estanqueïtat dels tancs assajats. La conclusió que es pot extreure és que els vapors de gasolina influeixen en la detecció de fuites, cosa que fa que la combinació de vapors creats dins del dipòsit sigui una mida molecular més gran que el nitrogen i no es pugui filtrar cap a l'exterior fàcilment, cobrint realment la fuga que hi podria haver al dipòsit. Per tant, les proves de nitrogen són una part prèvia del procediment i poden ajudar a trobar fuites ràpidament mentre que la prova real completa amb benzina i el preconditionament del dipòsit és la prova real perquè és com funciona i com actua la gasolina en els cotxes en la vida real.

S'ha demostrat que la funcionalitat de la instal·lació és eficaç per detectar fuites als dipòsits de combustible, també és eficaç per a la detecció de fuites en canisters. La configuració es podria implementar per a futurs projectes de detecció de fuites i ser una bona opció per mesurar el cabal d'aquestes.

Una de les conclusions més importants és que amb la instrumentació desenvolupada en el projecte els cabals inferiors al 2% són poc fiables. Els orificis mínims detectables són superiors a 0,03 mil·límetres, que es van assolir alguns exemples a pressions de 7 kPa i superiors.

Tot i que les taxes de fuga màximes corresponen a un orifici de 0,5 mm o 0,02 polzades (norma EPA) no les hem trobat en els tancs avaluats, però podem assegurar que la instrumentació desenvolupada és capaç de llegir aquesta fuga correctament ja que s'han pogut llegir valors molt més petits de fuites.

AGRAIMENTS

En primer lloc m'agradaria agrair al Doctor Josep Anton Picas Barrachina per el seu suport i implicació des del el primer dia en el projecte tot i ser un tema difícil i no haver tocat mai el tema de tancs de combustible per a cotxes (igual que jo mateix) ens hem sortit força bé. També agrair al senyr Johan Bryuninx per haver-me donat la idea de fer el projecte del tema de la detecció de fuites durant la meva estada com a alumne en pràctiques en IDIADA Applus ajudant-me en tot moment en l'enteniment i per tal de fer els assaigs pràctics amb el seu coneixement i experiència en el món de l'automoció.

En segon lloc és important agrair als professors que he tingut durant la meva etapa universitària en que m'han dotat dels coneixements per portar a terme el projecte d'una manera ordenada i coherent, en especial els del departament de materials i el de mecànica de fluids, entre d'altres amb conceptes que he utilitzat durant el desenvolupament d'aquest treball.

Per últim, agrair a la meva família per tot el suport donat ens aquets anys universitaris i fer que no em rendís encara que les condicions fossin adverses i difícils, també a les amistats que he fet durant tot aquest temps que han fet més fàcil el meu camí per la UPC.

Gràcies a tots.

10. BIBLIOGRAFIA

[1] Basics of OBD2 Scan Tools-Ultimate guide for Getting and Using OBD2 Scanners <https://www.totalcardiagnostics.com/learn/basics-obd2-ultimate-guide-getting-using-obd-2-scan-tools/> (Juliol 2019)

[2]Evaporative Emission Control (EVAP) System <https://www.fixdapp.com/blog/evap-system> (Juliol 2019)

[3] 2007 PCED On Board Diagnostics PDF. Section 1 Description and operation. Evaporative Emission (EVAP) Leak Check Monitor & Parts. (Octubre 2019)

[4] Carbon Materials for Advanced Technologies Edited by Timothy D. Burchell. Oak Ridge, National Laboratory. Oak Ridge TN 37831-6088 U.S.A. (Octubre 2019)

[5] Carbon Materials for Advanced Technologies Edited by Timothy D. Burchell. Oak Ridge, National Laboratory. Oak Ridge TN 37831-6088 U.S.A. (Octubre 2019)

[6] Carbon Materials for Advanced Technologies Edited by Timothy D. Burchell. Oak Ridge, National Laboratory. Oak Ridge TN 37831-6088 U.S.A. (Octubre 2019)

[7] Volkswagen Group (2013). Assessing the Effect of Five Gasoline Properties on Exhaust Emissions from Light-Duty Vehicles certified to Tier-2 Standards: Analysis of Data from EPA ct Phase 3 (V2/E-89). Final Report. EPA-420-R-13-002. Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, Ann Arbor, MI. April, 2013 (Septembre 2019)

[8] Vacuum Engineering. Leak Testing Methodologies. PDF num 22. www.vac-eng.com (Octubre 2019)

[9] PDF from IDIADA Applus Automotive HQ ENG. S/N (confidential) (Juliol 2019)

[10] PDF from IDIADA Applus Automotive HQ ENG. S/N (confidential) (Juliol 2019)

[11] MSA Reference Manual 4th Edition. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. ISBN#: 978-1-60-534211-5. (Septembre 2019)

[12] Vacuum Engineering. Leak Testing Methodologies. PDF num 22. Pressure decay. www.vac-eng.com (Septembre 2019)

[13] ODS and F-gas Series: Summary Guide to the New Leak Checking Requirements. July 2015. "Guidance Note for Operators of Equipment Containing F-gases and ODS" and "Guidance Note for Contractors of Equipment Containing F-gases and ODS". EPA National Waste Prevention Program PDF. (Octubre 2019)

[14] Vacuum Engineering. Leak Testing Methodologies. PDF num 22. Pressure decay. www.vac-eng.com (Septembre 2019)

[15] ODS and F-gas Series: Summary Guide to the New Leak Checking Requirements. July 2015. "Guidance Note for Operators of Equipment Containing F-gases and ODS" and "Guidance Note for Contractors of Equipment Containing F-gases and ODS". EPA National Waste Prevention Program PDF. (Novembre 2019)

[16] Leaks and Leak Detection Methods PDF (confidential). Bubble Method Formula. Telstar Technologies, S.L. Terrasa, Barcelona. www.telstar.eu (Juny 2019)

[17] Leaks and Leak Detection Methods PDF (confidential). Bubble Method Formula. Telstar Technologies, S.L. Terrasa, Barcelona. www.telstar.eu (Juny 2019)

[18] Leaks and Leak Detection Methods PDF (confidential). Bubble Method Formula. Telstar Technologies, S.L. Terrasa, Barcelona. www.telstar.eu (Juny 2019)

[19] Simbol EPA (Environmental Protection Agency) U.S.A.. <https://www.epa.gov/> (Maig 2019)

[20] **40 CFR § 1066.985 - Fuel storage system leak test procedure.** [79 FR 23823, Apr. 28, 2014, as amended at 80 FR 9124, Feb. 19, 2015; 81 FR 74215, Oct. 25, 2016] <https://books.google.es/books?id=HN0owvH5kMAC&pg=PA378&lpg=PA378&dq=%C2%A71066.985+Fuel+storage+system+leak+test+procedure&source=bl&ots=hfzqGe5t8x&sig=ACfU3U10OCYaF9rLNpOu2il42TH9hMJ9kw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewitvleA55LnAhUR8uAKHShwCrYQ6AEwA3oECAgQAQ#v=onepage&q=%C2%A71066.985%20Fuel%20storage%20system%20leak%20test%20procedure&f=false> (Maig 2019)

[21] Leaks and Leak Detection Methods PDF (confidential). Calculating the equivalent helium (or other gas) leak rate. Telstar Technologies, S.L. Terrasa, Barcelona. www.telstar.eu (Juny 2019)

ANNEXES

ANNEX I: ASSAIGS I CÀLCULS

