

# ESTUDI D'EMISSIONS EVAPORATIVES

## EN TANCS DE COMBUSTIBLE

Jordi De Fez Martínez – 43565202-M

Grau en Enginyeria Mecànica – Departament de Ciència i Enginyeria de Materials.  
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

**Resum.** L'objectiu d'aquest projecte és determinar com actuen els vapors de benzina que es produeixen a dins del tanc i avaluar les possibles fuites evaporatives que aquets puguin tenir per tal d'evitar que tancs en mal estat contaminin l'atmosfera.

Per estudiar els vapors perjudicials i evitar-los, primer tenim que conèixer com actua el sistema de combustible d'un cotxe, sistema EVAP, començant per les seves parts més amagades com són: el canister, el PCM, el sensor de pressió, bomba de combustible, etc., fins arribar al tanc de combustible que és l'element que s'estudiarà i s'avaluarà en els assaigs pràctics.

S'ha fet diversos assaigs amb diferents mètodes de detecció de fuites per tal de veure si el tanc és o no apte per el seu us. En els assaigs s'ha utilitzat nitrogen i s'ha determinant la mida de la fuga per tal d'avaluar si el tanc compleix amb la norma americana que s'ha seguit.

**Paraules clau:** Fuites, Detecció, Vapors, sistema EVAP, Tancs, Combustible.

**Abstract.** The main purpose of this project is to determine how the gasoline vapours that occur inside the tank act and evaluate the possible leaks that these may have in order to prevent wrong tanks from polluting the atmosphere.

To study the dangerous vapours and prevent them, first need to know the car's fuel system works: EVAP System, starting with its most hidden parts such as the canister, the PCM, the pressure sensor, etc. Until reach the fuel tank which is the element that has been studied and evaluated in the practical tests.

Various test has been performed with different leak detection methods to see if the tank is suitable for use. In the tests nitrogen has been used and the size of the leak has been calculated in order to evaluate if the tank complies with American standards.

**Key words:** Leaks, Detection, Vapors, EVAP system, Tanks, Fuel.

## 1. Introducció

En el projecte s'ha portat a terme diversos assaigs de detecció de fuites amb el propòsit d'avaluar els tancs de combustible i així poder donar un valor que permeti complir la normativa, la qual restringeix l'ús de tancs amb paràmetres de fuites superiors als 0,5 mil·límetres.

Els objectius del projecte són:

- Comprendre com actua el sistema de combustible d'un cotxe i com aquest permet fer lectures amb el OBD II per tal de detectar potencials fuites en el sistema.
- Avaluar els possible assaigs que es podrien fer per detectar fuites en els tancs combustible.
- Posar en pràctica els assaigs corresponent i estudiar i avaluar els resultats d'aquests.

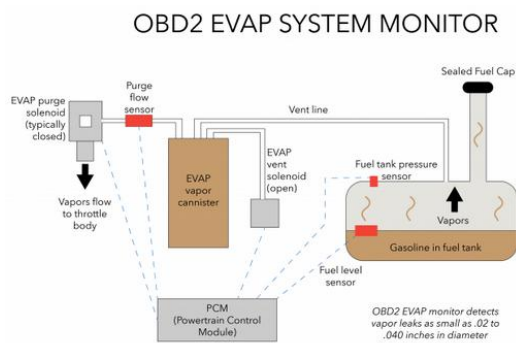
## 2. Background

Per començar hem de parlar sobre el sistema de combustible d'un cotxe, més concretament sobre el sistema EVAP (Evaporative Emission Control Sistem) (Fig.1) que és l'encarregat de prevenir que escapin els vapors resultants del sistema de combustible a l'atmosfera, juntament amb el OBD II (On Board Diagnostic), que és l'encarregat d'avisar al conductor d'algun error en el sistema [1].

Si el sistema de combustible està descontrolat és ben segur que les emissions contingudes en aquest escaparan a l'atmosfera, cosa que es té que evitar. Per això disposem d'un seguit d'elements que permeten controlar-les i avisar en cas de error. Els principals elements són:

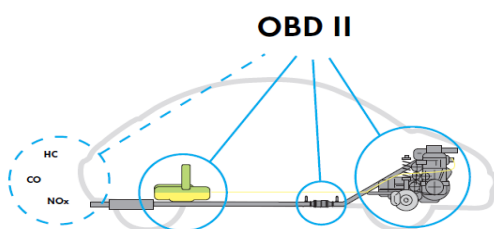
- Tanc de combustible: element d'emmagatzematge de la benzina.
- Bomba de combustible: element encarregat de portar la benzina del tanc al motor per a la seva combustió.
- Tapa del dipòsit: element que serveix per obrir el dipòsit per omplir-lo de benzina i segellar el sistema.
- Sensor de pressió del tanc: permet tenir un control de la benzina dins del tanc.
- PCM (Powertrain Control Module): element electrònic que controla la integritat del sistema EVAP.
- Coll d'entrada del combustible: element en forma de tub que va des de la tapa del dipòsit al tanc.
- Línies de combustible: tubs encarregats de portar la benzina al motor, també porten els vapors de benzina cap al canister per ser cremats durant la combustió.
- Canister: recipient de carbó actiu que emmagatzema els vapors resultants del tanc per la seva posterior eliminació.

- Vàlvula de purga: vàlvula que controla el procés de purga del canister, quan allibera tots els hidrocarburs guardats per portar-los al motor.
- Bomba de detecció de fuites: element encarregat de fer proves de pressió en el sistema per tal de trobar potencials fuites [2].



**Fig.1 Sistema EVAP**

Sobre l' OBD II (Fig. 2) podem dir que és una versió evolucionada del ODB ja que la primera generació (OBD) només detectava errors simples com una mala combustió o una pèrdua de pressió en el sistema. OBD II és l'encarregat de, que si en el sistema hi ha una fuga potencial, fer un diagnòstic de tot el sistema i enviar al conductor, mitjançant un codi DTC, una senyal lluminosa al panell indicant on està la fuga per la seva posterior reparació.



**Fig.2 Esquema simplificat OBID2**

Parlem ara sobre els diferents mètodes de detecció de fuites per a tancs de combustible que podríem fer servir per detectar-les. Per començar en els nostres assaigs hem utilitzat nitrogen ( $N_2$ ) per portar-los a terme ja que les propietats d'aquest gas el fan idoni per a la detecció de fuites al ser un gas inert i que no reacciona amb els materials amb els que es treballa, a més serveix de protecció per el sistema.

A continuació es detallen diversos assaigs que es podrien fer:

- Assaig de caiguda de pressió: Assaig que consisteix en posar a dintre del tanc una pressió superior a l'atmosfèrica i després controlar la pèrdua d'aquesta controlant el temps que tarda en arribar a una determinada pressió.
- Assaig de pujada de pressió: Assaig invers a la caiguda de pressió, la pressió de dins el tanc es inferior a l'atmosfèrica, per tant es controla qualsevol augment de pressió per quantificar la fuga.
- Assaig de bombolles: Assaig en el qual es capbussa el tanc en aigua i s'observa les possibles bombolles que hi surten per tal d'avaluar la potencial fuga.
- Mesuradors sensibles a certs gasos: Assaig principalment per a objectes que treballen en buit.
- Assaig amb heli: La mida dels àtoms d'heli el fa perfecte per la detecció de fuites ja que és susceptible d'introduir-se per

forats on el nitrogen no seria capaç de passar. S'utilitza bastant a nivell industrial degut a la gran inversió d'elements i maquinaria necessària i resulta un dels millors mètodes per la detecció de fuites.

### 3. Assaigs experimentals

Alhora de posar en pràctica els mètodes de detecció hem de tenir en compte la normativa vigent. Per aquesta raó s'ha decidit fer un assaig seguint la normativa d'un dels òrgans més importants a nivell mundial en vers la lluita per el medi ambient, l'EPA (Environmental Protection Agency), la qual és una agència americana del Govern General del Estats Units d'Amèrica encarregada de la protecció del medi ambient i de la salut de les persones.

S'ha decidit agafar aquesta normativa americana ja que les lleis i regulacions en els Estats Units són més restrictives que les europees.

Aquest tipus d'experimentació es regirà per la normativa establerta per **Govern Publishing Office (US)** 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.** [3]

El procediment es farà controlant diversos paràmetres com la pressió, la temperatura i el cabal de nitrogen per avaluar la potencial fuga i donar la mida d'un forat equivalent de la fuga amb una fórmula donada per aquest òrgan.

En la memòria es pot veure més en detall la norma completa i el procediment a seguir per fer l'assaig de detecció de fuites.

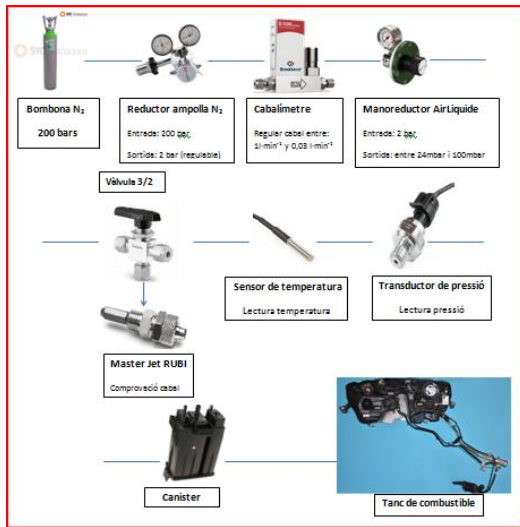
A més d'aquest assaig, es farà un assaig de caiguda de pressió per veure com actuen els dos mètodes de detecció i fer una comparació entre ells.

Per fer l'assaig, seguint la normativa americana EPA, és necessari l'ús d'un seguit d'instruments i elements (Fig.3 i 4) per tal de controlar tots el paràmetres anomenats anteriorment:

- Bombona de nitrogen
- Cabalímetre
- Manòmetre reductor
- Sensor de temperatura
- Transductor de pressió
- Multímetre
- Font d'alimentació 12 V
- Vàlvula 3/2
- Master Jet RUBI
- 2 Tancs de combustible (un normal i l'altre segellat hermèticament)
- Canister
- Benzina
- Connexions de tubs

Amb tots aquest elements es conforma una "set up" o configuració de instruments per tal de llegir i quantificar les possibles fuites que els tancs puguin

tenir i així determinar si el tanc és apte o no per el se ús.



**Fig.3 "Set up" assaig EPA**

A part de tots els elements de la configuració és necessari un programari que permeti llegir les quantitats de cabal que s'escapen per la fuites per tal de quantificar-les, és aquí on entra la ECP (Estació de Càrrega Portàtil) que permet fer servir i regular el cabalímetre per avaluar el cabal de nitrogen.

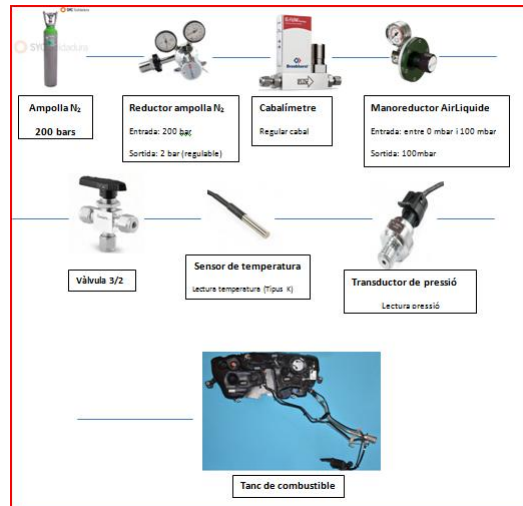


**Fig.4 "Set up" assaig EPA**

L'altre mètode que es farà servir serà una de la caiguda de pressió per tal de comparar-la amb el mètode EPA i veure si hi ha alguna relació entre els diferents mètodes.

Per a la "set up" utilitzada (Fig. 5 i 6) per fer l'assaig de caiguda de pressió s'ha utilitzat molts dels elements de la configuració EPA:

- Bombona de nitrogen
- Cabalímetre
- Manoreductor
- Transductor de pressió
- Multímetre
- Font d'alimentació 12 V
- 4 Tancs (3 tancs més el tanc "confidencial" de l'assaig EPA)
- Tubs de connexió
- Vàlvula 3/2



**Fig.5 "Set up" assaig caiguda de pressió**



**Fig.6 "Set up" assaig caiguda de pressió**

#### 4. Resultats experimentals

Dintre dels dos assaigs que s'han fet s'han desenvolupat diversos sub-apartats conforme s'anava investigant amb els dos mètodes. Una d'aquestes petites investigacions ha sigut la comprovació de la lectura dels instruments, en concret el cabalímetre, mitjançant el Master Jet RUBI (Assaig EPA). Aquest element té un forat que simula un cabal de fuga a una determinada temperatura i pressió. El que s'ha fet és simular una fuga coneguda i aleshores amb els instruments, llegir la fuga produïda per el RUBI per comprovar que la lectura dels instruments és correcte i així corroborar que estan correctament calibrats. En la Taula 1 es pot observar la fuga produïda per el RUBI i en la Taula 2 s'observa la posterior comprovació del cabal.

P <sub>inh</sub> -P <sub>atm</sub> (kPa)	P <sub>inh</sub> -P <sub>atm</sub> (kPa)	φ (polsades)	T[20°C] K	SG <sub>N<sub>2</sub></sub>	Q <sub>N<sub>2</sub></sub> (l/min <sup>2</sup> )	Q <sub>N<sub>2</sub></sub> (l/s <sup>2</sup> )	Fuga Q (mbar·l/s <sup>2</sup> )	Q <sub>N<sub>2</sub></sub> (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> )
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 1. Fuga produïda per el RUBI

	Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG <sub>N<sub>2</sub></sub>	Cabal (m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> )	φ (polsades)	φ (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 2. Taula de comprovació del cabal

Cal esmentar que el RUBI ha estat fabricat a 20 °C i el cabalímetre llegeix valors a 0 °C per tant s'ha tingut que fer els càlculs pertinents per passar-ho a la mateixa temperatura. Un altre sub-apartat de la investigació ha sigut la creació d'un factor de correcció en vers el procediment EPA no complet (sense condicionar el tanc amb benzina) i el procediment EPA complet (seguint la normativa completa: omplir 40% de la capacitat del tanc, fer una estabilització de 6 a 24 hores,...). S'ha observat que els valors a la mateixa pressió en l'assaig no complet són diferents del de l'assaig complet. Això es deu a que els vapors de benzina són molt diferents dels vapor formats només per nitrogen i el seu comportament és diferent també. La mida de les fuites a una mateixa pressió no és la mateixa en el procediment no complet que en el procediment complet. El forat de la fuga en el no complet és més gran que en el procediment complet. La causa principal està en les molècules que formen cada vapor, en l'assaig complet els vapors de la benzina es consideren com a butà, ja que és l'element més pròxim a la benzina. La benzina és una suma de diferents d'hidrocarburs i la seva formulació química no esta clara. Si comparem la mida de les molècules de butà (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) i de nitrogen (N<sub>2</sub>) (Fig.7) s'observa que les del butà són força més grans, és per això que el nitrogen dona fuites més grans ja que es susceptible de passar per llocs on els vapors de benzina no podrien passar i això es té en compte en el total de les fuites acumulades per treure el diàmetre de la fuga equivalent.

Butà:  $C_4H_{10} = 48+10 = 58 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$   
 Molècula gasolina =  $C_4H_{10} = 48+10 = 58 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$   
 Molècula nitrogen =  $N_2 = 28 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

**Fig.7 Pes molecular butà i nitrogen**

Per tal d'aconseguir calcular el cabal dels vapors de butà s'ha establert una formula (1) que permet calcular la fuita sense tenir que condicionar el tanc.

$$Q_{gas} = Q_{n2} \times \frac{\eta_{n2}}{\eta_{gas}} \times \frac{P^2_{gasInt} - P^2_{gasExt}}{P^2_{n2Int} - P^2_{n2Ext}} \times \frac{P_{parcial}}{P_{gasInt}} \quad (1)$$

Amb aquesta equació es pot calcular la fuita equivalent de benzina en un assaig on el tanc no ha estat condicionat prèviament.

Ens els assaigs de caiguda de pressió s'han utilitzat diferents tancs per tal d'avaluar el mètode. Els resultats han sigut satisfactoris donant cabals de fuites molt baixos per aquest assaig. La intenció principal és la de comparar el mètode EPA amb el mètode de caiguda de pressió assajant amb el tanc "confidencial" que ha estat sotmès als dos assaigs. Els resultats han sigut positius donant una fuita una mica més gran en l'assaig de caiguda de pressió que en el de l'EPA però que podríem considerar iguals ja que la mida de la fuita detectada per caiguda és de 0,1 mm mentre que la obtinguda per el procediment EPA és de 0,08 mm. La qüestió aquí són els cabals de la fuita. És pot observar que el cabal de la fuita produïda per la caiguda de pressió es quasi el doble que la produïda en l'assaig EPA, això és degut a que el mètode de caiguda de pressió és més rudimentari que el del procediment EPA, ja que no

utilitza instruments per quantificar el cabal sinó que només té en compte la pressió, en canvi el mètode EPA és més fiable alhora de trobar el diàmetre efectiu de la fuita .

## 5. Pressupost

El pressupost variarà segons l'assaig que es vulgui portar a terme, l'assaig amb procediment EPA serà el més car ja que es necessiten un seguit d'instruments per poder llegir tots el paràmetres necessaris i avaluar les possibles fuites que hi puguin haver. El pressupost total del disseny de la "set up" i tots els seus instruments és de 3846,92 euros.

El pressupost del assaig de caiguda de pressió és molt més econòmic per el simple fet de que no són necessaris tants elements com a l'assaig anterior, El pressupost total és de 1145,75 euros.

Cal esmentar que en el pressupost no estan inclosos els tanc de combustible, ja que no s'han comprat, si es necessitessin el pressupost augmentaria entre 200 euros i 500 euros per tanc aproximadament.

## 6. Conclusions

Després de la finalització dels assaigs i proves pertinents es poden treure les següents conclusions:

- El millor mètode per detectar fuites, dels dos provats, és l'assaig seguint la normativa americana EPA ja que té en compte diversos paràmetres

claus en la detecció de fuites com són la temperatura i el cabal de la fuga.

- La caiguda de pressió permet detectar fuites més grans del normal ja que el decrement de pressió és constant i fàcil de veure a més de localitzar-ne la fuga.
- La “set up” dissenyada és perfectament funcional i adequada per detectar fuites tant en tancs de combustible com en canisters, ja que també es va provar amb els recipients de carboni actiu donant resultats positius en el cas de fuga. Això indica que no cal tenir un gran recipient com un tanc per portar a terme l’assaig.
- Si bé es van trobar fuites, no es va trobar cap tanc que la seva fuga superés els 0,5 mm o 0,02 polsades de diàmetre de fuga, per tant aquets tancs de combustible estarien correctes segons la normativa americana EPA.
- En algun cas d’assaigs a baixes pressions amb el procediment EPA, el cabalímetre detectava cabals inferior al 2 % de la seva capacitat nominal, quant això passava significava que el cabal de fuga és tant petit que es considera com que no hi ha una fuga ja que el cabalímetre està treballant al seu límit de la capacitat (Full Scale) i els resultats no són massa fiables quan es treballa amb un rang de

cabal tant petit i a baixes pressions.

- S’ha comprovat que la benzina és més restrictiva com s’ha vist en la comparació entre els tancs condicionats amb benzina i els que no han estat condicionats. Això vol dir que si es fa un assaig sense condicionar i no es troba una fuga superior a 0,5 mm o 0,02 polsades és pràcticament segur que quant es faci l’assaig complet amb condicionament previ el tanc passarà la prova de detecció de fuites.

Aquets mètodes són una bona eina per la detecció de fuites en tancs de combustible, prioritzant l’assaig EPA sobre l’assaig de caiguda de pressió ja que presenta resultats més fiables però també és un assaig força més car que el de caiguda de pressió degut a tota la instrumentació necessària.

## 7. Bibliografia

[1] [aa1car.com/library/evap\\_system.htm](http://aa1car.com/library/evap_system.htm) (Septembre 2019)

[2] Automotive Actuators and EVAP system Testing (Diagnostic Strategies of Modern Automotive Systems Book 2) Kindle Edition ( Septembre 2019)

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