

Estudi d'emissions evaporatives en tancs de combustible

Annex I Assaigs i Càlculs

INDEX ANNEX I

A.1 DETECCIÓ DE FUITES MITJANÇANT PROCEDIMENT EPA	6
A.1.1. Límit inferior i superior del rang de pressions	6
A.1.2. Verificació dels instruments amb Master Jet RUBI	9
A.1.3. Comprovació cabal amb Master Jet RUBI	10
A.1.4. Assaig procediment EPA no complet (tanc buit).....	11
A.1.5. Assaig amb tanc de combustible segellat PHEV.....	14
A.1.6. Assaig procediment EPA complet	15
A.1.7. Assaig procediment EPA complet + RUBI	18
A.1.8. Comparació procediment complet vs no complet.....	19
A.2. CAIGUDA DE PRESSIÓ	22
A.2.1. Assaig tanc numero 1.....	22
A.2.2. Assaig tanc numero 2.....	23
A.2.3. Assaig tanc numero 3.....	24
A.3. COMPARACIÓ PROCEDIMENT EPA vs CAIGUDA DE PRESSIÓ EN EL MATEIX TANC	25

LLISTA DE FIGURES I GRÀFIQUES

Gràfica 1. Evolució del cabal dia 15/11	12
Gràfica 2. Evolució del cabal dia 17/11	13
Gràfica 3. Evolució del cabal dia 22/11	13
Gràfica 4. Diàmetre vs pressió dia 1	16
Gràfica 5. Diàmetre vs pressió dia 2	17
Gràfica 6. Diàmetre vs pressió del forat dia 3 assaig no complet	20
Gràfica 7. Diàmetre vs pressió en assaig complert.....	21
Gràfica 8. Evolució de la pressió Tanc 1	22
Gràfica 9. Evolució de la pressió Tanc 2	23
Gràfica 10. Evolució de la pressió Tanc 3	24
Gràfica 11. Evolució de la pressió Tanc confidencial	25

LLISTAT DE TAULES

Taula 1. Pressió 2,4 kPa	6
Taula 2. Pressió 3 kPa.....	7
Taula 3. Pressió 4 kPa.....	7
Taula 4. Pressió 5 kPa.....	7
Taula 5. Pressió 6 kPa.....	7
Taula 6. Pressió 7 kPa.....	8
Taula 7. Pressió 8 kPa.....	8
Taula 8. Pressió 9 kPa.....	8
Taula 9. Pressió 10 kPa.....	8
Taula 10. Paràmetres llegits en la prova de comprovació RUBI.....	9
Taula 11. Conversió nitrogen de 0 °C a 20 °C	9
Taula 12. Assaig comprovació cabal amb RUBI	10
Taula 13. Primer assaig EPA no complet	11
Taula 14. Paràmetres primer assaig EPA no complet	11
Taula 15. Assaig tanc segellat PHEV.....	14
Taula 16. Pujada de pressió assaig PHEV	14
Taula 17. Procediment complet EPA dia 1	15
Taula 18. Paràmetres utilitzats per calcular forat dia 1	15
Taula 19. Procediment complet EPA dia 2	16
Taula 20. Paràmetres utilitzats per calcular forat dia 2.....	17
Taula 21. Assaig procediment complet amb Master Jet RUBI	18
Taula 22. Paràmetres procediment complet amb Master Jet RUBI.....	18

Taula 23. Procediment no complet dia 2	19
Taula 24. Procediment no complet dia 3	19
Taula 25. Procediment EPA complet	20
Taula 26. Paràmetres tanc 1	22
Taula 27. Dades caiguda de pressió tanc 1	22
Taula 28. Paràmetres tanc 2	23
Taula 29. Dades caiguda de pressió tanc 2	23
Taula 30. Paràmetres tanc 3	24
Taula 31. Dades caiguda de pressió tanc 3	24
Taula 32. Paràmetres tanc confidencial	25
Taula 33. Dades caiguda de pressió tanc confidencial	25
Taula 34. Diàmetre calculat de la fuga per caiguda de pressió	26
Taula 35. Paràmetres extrets del dia 17/10	26
Taula 36. Fuita calculada en funció del forat trobat.....	26

A.1 DETECCIÓ DE FUITES MITJAÇANT PROCEDIMENT EPA

A.1.1. Límit inferior i superior del rang de pressions

Sabem que al nostre procediment es té que treballar a un rang de pressions determinat per tal d'avaluar i estudiar com evolucionen les fuites en determinades pressions. El mínim permès és de 2,4 kPa o 24 mbar, no podem posar menys pressió d'aquesta ja que és la pressió mínima que la norma ens diu, en algun cas como la comprovació i verificació dels instruments ens interessarà baixar fins als 2 kPa o 20 mbar ja que l'instrument encarregat de dur aquesta verificació treballa a 20 mbar. La pressió màxima serà de 10 kPa o 100 mbar, aquesta pressió ha estat imposada per tal de no sobrecarregar el tanc fins al seu límit, ja que depenen del tanc a assajar i aquesta pressió màxima estaria propera al límit a la que es sotmeten els tancs en assajos de detecció de fuites a nivell industrial.

A continuació es presenten les taules del cabal de fuites calculat per un rang de pressions que va des de els 2,4 kPa fins els 10 kPa, anant pujant amb un increment de 1 kPa (del primer rang al segon salta de 2,4 kPa a 3 kPa) fins arribar al límit, corresponents a un forat de diàmetre conegut. El valor de les fuites s'ha calculat utilitzant la següent formula (1):

$$Q = \left(\left(\frac{Def}{7,844} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{P \cdot Pt}{SG_{N_2} \cdot T}} \right)^{0,5057} \right)^{\frac{1}{0,5057}}$$

On:

(1)

Q: cabal resultant produït per la fuga, en $m^3 \cdot s^{-1}$

Def: diàmetre suposat de la fuga, en polsades (polsades)

P: pressió aplicada al tanc de combustible, en kPa

Pt: pressió total de l'assaig (suma de la pressió atmosfèrica més la pressió total del tanc), en kPa

SG N₂: gravetat específica del nitrogen a 101,325 kPa i a 15,5 °C = 0,967

T: temperatura ambient, en K

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20°) 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	293,15	0,967	0,569	0,00948	0,2274
2,4	205,05	0,015	293,15	0,967	0,322	0,00537	0,1288
2,4	205,05	0,01	293,15	0,967	0,144	0,00241	0,0578
2,4	205,05	0,005	293,15	0,967	0,037	0,00061	0,0147
2,4	205,05	0,004	293,15	0,967	0,024	0,00039	0,0094
2,4	205,05	0,003	293,15	0,967	0,013	0,00022	0,0053
2,4	205,05	0,002	293,15	0,967	0,006	0,00010	0,0024

Taula 1: Pressió 2,4 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
3	205,65	0,02	293,15	0,967	0,637	0,01061	0,318
3	205,65	0,015	293,15	0,967	0,360	0,00601	0,180
3	205,65	0,01	293,15	0,967	0,162	0,00269	0,081
3	205,65	0,005	293,15	0,967	0,0411	0,00068	0,021
3	205,65	0,004	293,15	0,967	0,026	0,00044	0,013
3	205,65	0,002	293,15	0,967	0,01	0,00017	0,005

Taula 2: Pressió 3 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
4	206,65	0,02	293,15	0,967	0,737	0,01228	0,4913
4	206,65	0,015	293,15	0,967	0,417	0,00695	0,2781
4	206,65	0,01	293,15	0,967	0,187	0,00312	0,1248
4	206,65	0,005	293,15	0,967	0,048	0,00079	0,0317
4	206,65	0,004	293,15	0,967	0,031	0,00051	0,0204
4	206,65	0,002	293,15	0,967	0,008	0,00013	0,0052

Taula 3: Pressió 4 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
5	207,65	0,02	293,15	0,967	0,826	0,01376	0,688
5	207,65	0,015	293,15	0,967	0,468	0,00779	0,390
5	207,65	0,01	293,15	0,967	0,210	0,00350	0,175
5	207,65	0,005	293,15	0,967	0,053	0,00089	0,044
5	207,65	0,004	293,15	0,967	0,034	0,00057	0,029
5	207,65	0,002	293,15	0,967	0,009	0,00014	0,007

Taula 4: Pressió 5 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
6	208,65	0,02	293,15	0,967	0,907	0,01511	0,9069
6	208,65	0,015	293,15	0,967	0,513	0,00856	0,5134
6	208,65	0,01	293,15	0,967	0,230	0,00384	0,2303
6	208,65	0,005	293,15	0,967	0,058	0,00097	0,0585
6	208,65	0,004	293,15	0,967	0,038	0,00063	0,0376
6	208,65	0,002	293,15	0,967	0,010	0,00016	0,0096

Taula 5: Pressió 6 Kpa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
7	209,65	0,02	293,15	0,967	0,982	0,01636	1,146
7	209,65	0,015	293,15	0,967	0,556	0,00927	0,649
7	209,65	0,01	293,15	0,967	0,249	0,00416	0,291
7	209,65	0,005	293,15	0,967	0,063	0,00106	0,074
7	209,65	0,004	293,15	0,967	0,041	0,00068	0,048
7	209,65	0,002	293,15	0,967	0,010	0,00017	0,012

Taula 6: Pressió 7 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
8	210,65	0,02	293,15	0,967	1,052	0,01754	1,4029
8	210,65	0,015	293,15	0,967	0,596	0,00993	0,7943
8	210,65	0,01	293,15	0,967	0,267	0,00445	0,3563
8	210,65	0,005	293,15	0,967	0,068	0,00113	0,0905
8	210,65	0,004	293,15	0,967	0,044	0,00073	0,0582
8	210,65	0,002	293,15	0,967	0,011	0,00018	0,0148

Taula 7: Pressió 8 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
9	211,65	0,02	293,15	0,967	1,119	0,01864	1,6780
9	211,65	0,015	293,15	0,967	0,633	0,01056	0,9500
9	211,65	0,01	293,15	0,967	0,284	0,00473	0,4261
9	211,65	0,005	293,15	0,967	0,072	0,00120	0,1082
9	211,65	0,004	293,15	0,967	0,046	0,00077	0,0696
9	211,65	0,002	293,15	0,967	0,012	0,00020	0,0177

Taula 8: Pressió 9 kPa

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (polsades)	T(20º) K	SG _{N₂}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
10	212,65	0,02	293,15	0,967	1,182	0,0197	1,9699
10	212,65	0,015	293,15	0,967	0,669	0,0112	1,1153
10	212,65	0,01	293,15	0,967	0,300	0,0050	0,5002
10	212,65	0,0055	293,15	0,967	0,092	0,0015	0,1534
10	212,65	0,004	293,15	0,967	0,049	0,0008	0,0817
10	212,65	0,002	293,15	0,967	0,0124	0,0002	0,0207

Taula 9: Pressió 10 kPa

Nota: Q N₂: Cabal de nitrogen produït per el forat corresponent. S'informa que la fórmula és treu el cabal en m³·s⁻¹ però en aquestes taules s'ha passat directament a l·min⁻¹ i a l·s⁻¹ fent els càlculs pertinents per tal de mostrar la fuita en les unitats estandaritzades (mbar·l·s⁻¹).

A.1.2. Verificació dels instruments amb Master Jet RUBI

Per verificar i assegurar que els nostres instruments i el conjunt de la “set up” estan correctament calibrats i son capaços de llegir les potencials fuites, s’ha dissenyat un sistema que simula una fuga de corresponent a un diàmetre conegut. Aquest orifici calibrat ha estat obtingut per validar la el procediment i ha estat adquirit a l’empresa ATEQ especialista en aquest tipus de instruments.

Aquest forat correspon a un diàmetre de 342 micròmetres , que a 20 mbar de pressió té una fuga de 16,3 litres en una hora. El nostre cabalímetre treu valors a 0°C i el Master Jet RUBI ha estat fabricat i dissenyat a 20 °C per tant es farà una conversió per extreure el valor real de la fuga.

. Els resultats de calcular la fuga amb els nostres aparells són els següents.

Master Jet RUBI 16,3 l·h⁻¹

MASTER JET RUBI AMB CABALÍMETRE DE 0,317 l·min⁻¹ (Full Scale)

Temperatura d'assaig	Pressió d'assaig	Cabal resultant
T=23,5 °	20,03 mbar (V= 2,375 v)	Q= 80,5 %

Taula 10: Paràmetres llegits en la prova

GAS1	Formula	Densidad 0°C	Gas factor	Min	Max	Unidad	Conversion
Massflow calibrado para	N2	1,251	1	0	100	lpm0°C	1
GAS2	Formula	Densidad 0°C	Gas factor	Min	Max	Unidad	Conversion
Massflow USADO para	N2	1,251	1	0	107,3219843	lpm20°C	1,073219843

Taula 11: Conversió nitrogen de 0 °C a 20 °C

El cabalímetre llegeix un 80,5 % de la seva capitat de lectura.

80,5 % de 0,317 l/min --> 0,255 l/min --> 15,31 l/h ;

El valor 15,31 es té multiplicar per 1,07 ja que és la diferencia entre el nitrogen calculat a 0°C i a 20°C, i es tradueix com un 7% del valor llegit.

Per tant la fuga que llegim és: 15,31 l/h * 1,07 = 16,38 l/h

Desviació total en %: 0,5

Amb aquesta comprovació s’observa que el cabal de fuga trobada per la nostre “set up” és igual al cabal que realment hi passa pel RUBI, per tant el nostre conjunt de instruments per detectar fuites és fiable.

A.1.3. Comprovació del cabal amb Master Jet RUBI

En aquest apartat es comprova el cabal real en un tanc de combustible format per el forat calibrat RUBI, on aquest ha estat muntat en la línia de ventilació del tanc simulant una fuga de mida coneguda. El tanc utilitzat és l'anomenat Tanc Confidencial 60 litres, què és el mateix amb el que s'han fet la majoria dels assaigs. Els resultats són els següents.

RUBI+TANC CONFIDENCIAL 60 LITRES

	Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal(m ³ ·s ⁻¹)	Ø (polsades)	Ø (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	4,00E-06	0,0126	0,320
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 12: Assaig comprovació cabal amb RUBI

Resultats:

Diàmetre RUBI: 342 micròmetres = 0,0134 polsades = 0,342 mil·límetres

(20°C): 0,0135 polsades= 0,343 mil·límetres ; desviació en %: 0,3

(0°C): 0,0126 polsades = 0,320 mil·límetres ; desviació en %: 6,7

Al calcular la fuga equivalent del tanc al que ha estat muntat el RUBI, és força clar que la lectura de la fuga és la mateixa que la generada pel RUBI.

La diferència principal és la temperatura, ja que l'extreta a 0°C és la lectura que fa el cabalímetre que ha estat programat per treure valors a aquesta certa temperatura, en canvi el RUBI ha estat fabricat a una temperatura de 20°C per tant es té que fer la conversió de 0°C a 20°C. Aquesta diferència es tradueix com un 7 % del valor total, així doncs, el valor extret a 0°C es multiplica per 1,07 i obtenim un forat de diàmetre de 0,0135 polsades o 0,343 mm.

Aquest resultat assegura que els nostres instruments llegeixen correctament i que ens podem fiar de les lectures de cabal per calcular el diàmetre de la fuga equivalent.

A.1.4. Assaig procediment EPA no complet (tanc buit)

A continuació es mostren els resultats obtinguts de fer assaigs amb un mateix tanc però en dies diferents. En aquest assaig només es va dur a terme amb el tanc de combustible (tanc confidencial 60 litres) *sense condicionar* amb benzina (buit) i *sense fer un soak* (procés d'estabilització de la benzina) *designat per la norma*.

	Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	Ø(polsades)	Ø(mm)
Dia 14/10	296,95	2,695	205,345	0,967	1,50E-07	0,00235	0,060
Dia 15/10	297,15	3,91	206,56	0,967	2,80E-07	0,00293	0,074
Dia 17/10	297,05	2,76	205,41	0,967	1,05E-07	0,00195	0,050
Dia 22/10	297,05	3	207,09	0,967	1,20E-07	0,00204	0,052
	297,15	5	209,11	0,967	1,60E-07	0,00207	0,053
	297,15	8,38	211,03	0,967	3,80E-07	0,00281	0,071
	296,95	2,44	205,09	0,967	1,90E-07	0,00272	0,069
	296,95	4,44	207,09	0,967	2,69E-07	0,00278	0,071
	296,85	7,44	210,09	0,967	3,60E-07	0,00282	0,072
	296,95	10,44	213,09	0,967	4,32E-07	0,00283	0,072
	297,25	10	212,65	0,967	4,30E-07	0,00285	0,072
	297,75	10	212,65	0,967	4,11E-07	0,00279	0,071
	296,35	10	212,95	0,967	4,75E-07	0,00300	0,076
	297,05	10	212,95	0,967	4,48E-07	0,00291	0,074

Taula 13: Primer assaig EPA no complet

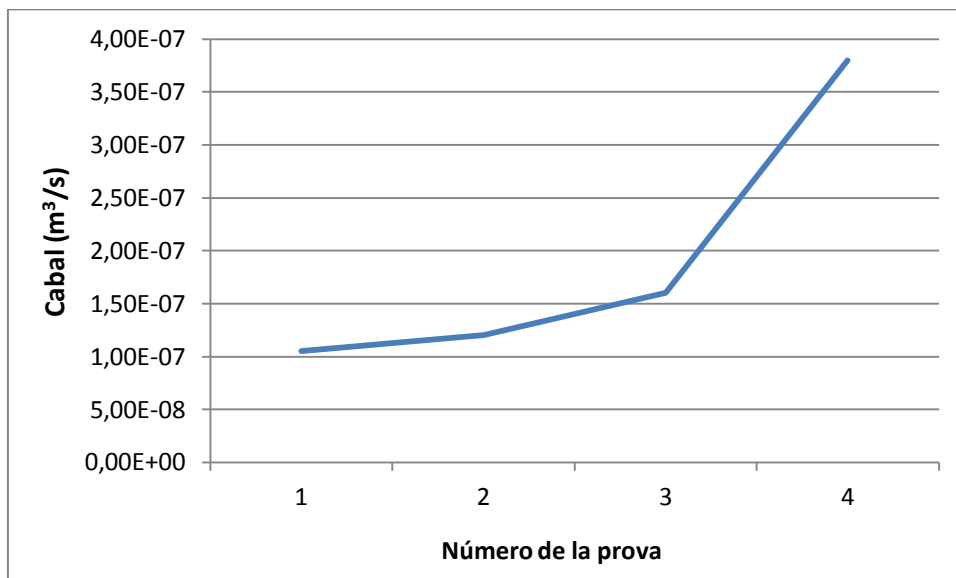
Temp (°C)	Cabal (%)	Voltatge(V)
24	5	3,65
23,8	0,3	2,8
23,9	1	2,9
23,9	2,1	3,1
24	3,1	4,4
24	7,2	6,6
23,8	3,6	2,65
23,8	5,2	4
23,7	7	6
23,7	7,9	7,71
24,1	8,2	7,71
24,4	7,9	7,72
23,2	8,9	7,72
23,9	8,5	7,75

Taula 14: Paràmetres primer assaig EPA no complet

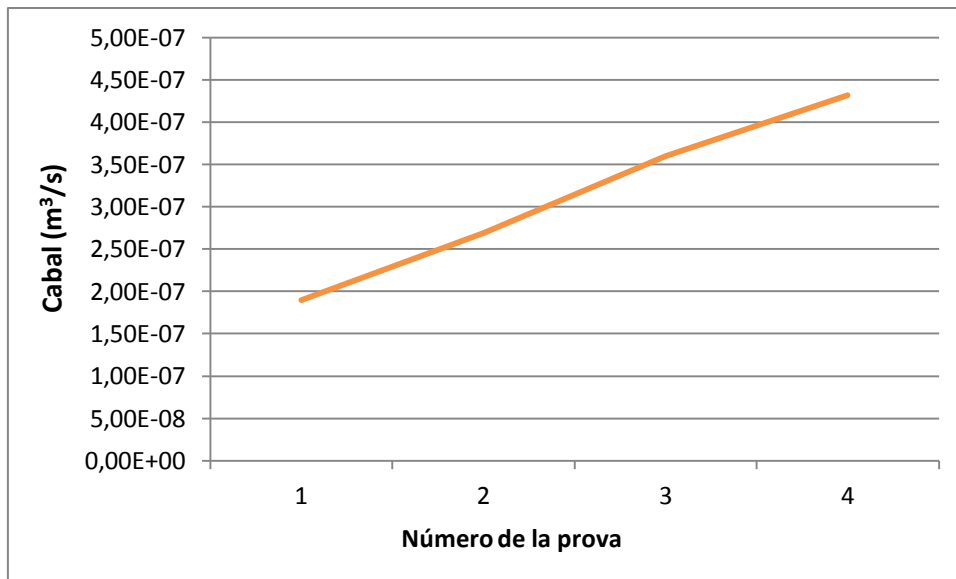
L'assaig es va fer en diversos dies degut a diverses raons, com per exemple, la disponibilitat dels instruments necessaris per dur a terme l'experiment.

El primer dia només va donar temps a fer dos lectures a baixa pressió. El segon dia i tercer dia es va testear des de baixes pressions fins a altes només arribant al límit de 100 mbar el tercer dia . El quart dia es va pujar la pressió fins al límit posat per nosaltres i es va dur a terme les proves. Es pot observar que els valors varien en petites quantitats d'un dia a l'altre, això és degut a que dintre del laboratori es poden experimentar petites variacions de temperatura degut principalment a l'entrada i sortida de vehicles que tenen que assajar-se en les càmeres climàtiques del departament.

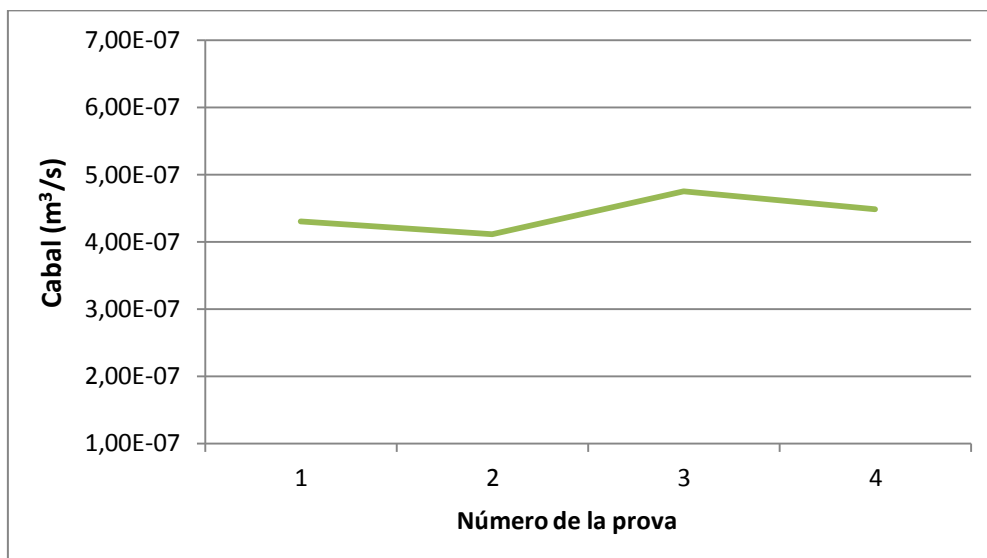
Els resultats mostren que el tanc assajat no presenta fuites significatives ja que el valor calculat del diàmetre de la fuga no supera el límit de la norma que es 0,02 polsades o 0,5 mil·límetres de diàmetre. En el pitjor dels casos calculats, el forat supera un 10 % de la fuga permesa (10 % de 0,02 = 0,002 polsades o 0,05 mm), per tant es pot assegurar que el tanc no presenta fuites significatives amb aquest procediment.



Gràfica 1: Evolució del cabal dia 15/10



Gràfica 2: Evolució del cabal dia 17/11



Gràfica 3: Evolució del cabal dia 22/10

Com es pot observar de les gràfiques superiors el cabal va pujant a mesura que la pressió va augmentant, la gràfica 1 mostra una progressió no lineal degut a que la “set up” estava encara en fase d’experimentació en la que es provaven diferents elements com els tubs i les unions per tal d’assegurar la perfecte estanqueïtat de la configuració dels instruments i es va decidir fer una prova per tal de comparar i avaluar resultats. La gràfica 2 mostra una evolució de la fuga que té més sentit ja que la progressió és més lineal i és raonablement correcte un cop es va trobar la manera correcta de fer les proves. La tercera gràfica és l’assaig del tanc a màxima pressió repetit 4 vegades, els valors del cabal són força semblants, també els valors del diàmetre del forat.

A.1.5. Assaig amb tanc de combustible segellat PHEV

Aquest apartat tracta sobre un assaig de fuites en un tanc de combustible segellat hermèticament per tal de comprovar i comparar les diferències entre altres tanc anteriors. PHEV correspon a Plug-in Hybrid Electrical Vehicle, que són els cotxes híbrids que per carregar la bateria elèctrica s'endollen a la corrent en les estacions de servei o a casa de l'usuari. El tanc correspon a un BMW 225xe de 36 litres de capacitat. No ha estat condicionat amb gasolina segons la norma, és a dir, que el tanc està en les mateixes condicions que el estudiat en el apartat A.1.4.. A partir d'aquí es pretén fer una comparativa entre les fuites en un tanc segellat i un no segellat.

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	Ø (polsades)	Ø (mm)
293,25	2,4	205,05	0,967	4,20E-08	0,0013	0,032
294,25	2,94	205,59	0,967	6,80E-08	0,0015	0,039
294,35	4,44	206,69	0,967	7,90E-08	0,0015	0,038
295,05	5,94	208,59	0,967	1,05E-07	0,0016	0,041
295,05	7,44	210,09	0,967	1,42E-07	0,0018	0,045
295,05	8,94	211,59	0,967	1,95E-07	0,0020	0,050
295,05	10	212,65	0,967	2,11E-07	0,0020	0,050

Taula 15: Assaig tanc segellat PHEV

Segons a la pressió a la que està sotmès el tanc, s'ha observat una pujada de pressió en els minuts d'estabilització. En alguns casos quan la fuga detectada és menys del 2% de la lectura feta per el cabalímetre la pressió comença a pujar molt lentament fins estabilitzar-se, pujant uns pocs mil·libars per sobre la pressió de test. Aquesta sobrepressió es deguda al fet que el tanc està segellat i un cop la pressió i el cabal de nitrogen estan estabilitzats pugen una mica degut a aquest segellament hermètic. Si es comparen aquests resultats amb els del apartat A.1.4. s'observa que les fuites són més petites en el tanc segellat, raonament que té sentit ja que el segellat té la condició de ser hermètic reduint així la possibilitat de fuites en la carcassa principal. L'augment de pressió en comparació amb la pressió inicial es pot observar en la següent taula.

1 Pressió inicial: 2,4 kPa (2,65 v)	1 Pressió final: 2,56 kPa (2,75 v)
2 Pressió inicial: 2,94 kPa (3 v)	2 Pressió final: 3,03 kPa (3,06 v)
3 Pressió inicial: 4,44 kPa (4 v)	3 Pressió final: 4,5 kPa (4,043 v)
4 Pressió inicial: 5,94 kPa (5 v)	4 Pressió final: 6,51 kPa (5,047 v)
5 Pressió inicial: 7,44 kPa (6 v)	5 Pressió final: 7,48 kPa (6,03 v)
6 Pressió inicial: 8,94 kPa (7 v)	6 Pressió final: 8,97 kPa (7,021 v)
7 Pressió inicial: 10 kPa (7,71v)	7 Pressió final: 10,07 kPa (7,755 v)

Taula 16: Pujada de pressió assaig PHEV

A.1.6. Assaig procediment EPA complet

A continuació es presenten els resultats del assaig de detecció de fuites amb el procediment complet (omplir un 40 % de la capacitat nominal del tanc, fer un “soak” de 6 a 24 hores dintre d’un rang de temperatures comprés entre 20 i 30 °C amb una tolerància de ± 2 °C, purgar qualsevol pressió residual, etc.)

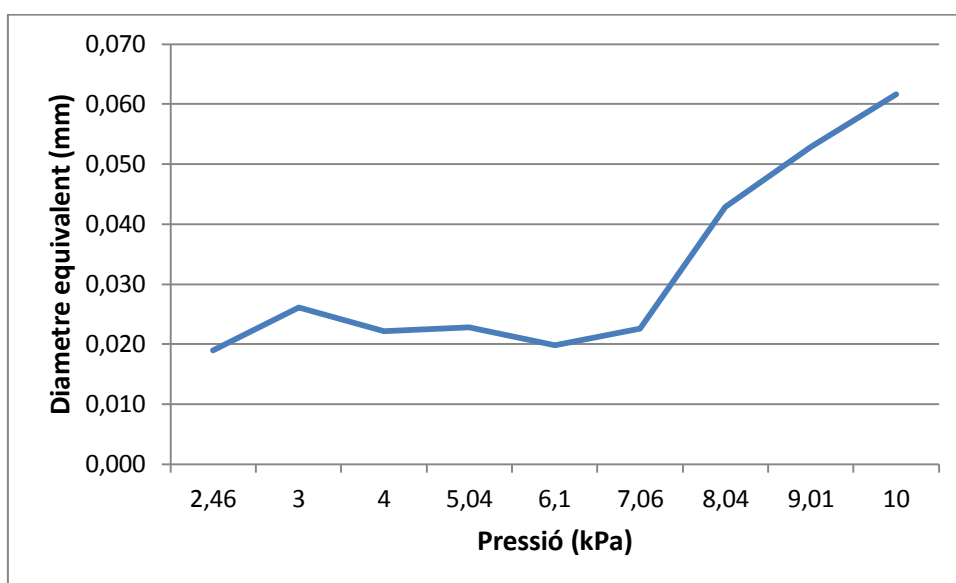
DIA 1 (14/11)

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	\varnothing (polsades)	\varnothing (mm)
291,15	2,46	205,11	0,967	1,50E-08	0,0007	0,019
291,15	3	205,65	0,967	3,10E-08	0,0010	0,026
291,15	4	206,65	0,967	2,60E-08	0,0009	0,022
291,35	5,04	207,69	0,967	3,10E-08	0,0009	0,023
291,35	6,1	208,76	0,967	2,60E-08	0,0008	0,020
291,45	7,06	209,71	0,967	3,60E-08	0,0009	0,023
291,35	8,04	210,69	0,967	1,37E-07	0,0017	0,043
291,35	9,01	211,66	0,967	2,21E-07	0,0021	0,053
291,35	10	212,65	0,967	3,16E-07	0,0024	0,062

Taula 17: Procediment complet EPA dia 1

Temp (°C)	Cabal (%)	Voltatge(v)
18	0,3	2,68
18	0,6	3,1
18	0,5	3,76
18,2	0,6	4,41
18,2	0,5	5,1
18,3	0,7	5,75
18,2	2,6	6,37
18,2	4,2	7,05
18,2	6	7,71

Taula 18: Paràmetres utilitzats per calcular forat dia 1



Gràfica 4: Diàmetre vs pressió Dia 1

Els cabals inferiors al 2 % són menyspreables i no es tenen que agafar com a referència, quan apareixen aquests valors es pot assegurar que el tanc no té fuga. → El mínim forat detectable és a partir de 0,025 mil·límetres, on en aquest exemple s'ha arribat a aquest valor sobre els 7 kPa en endavant.

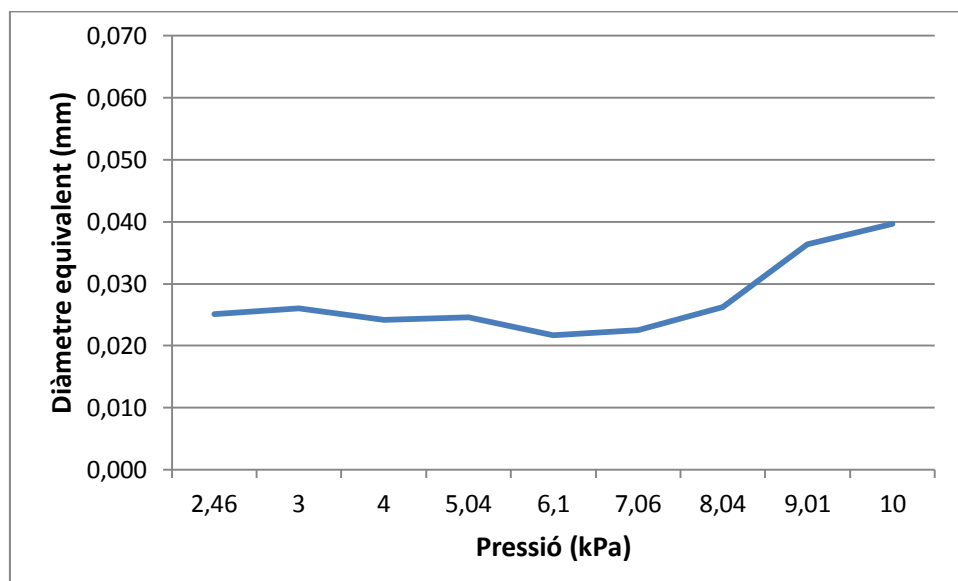
DIA 2 (15/11)

Temp (K)	Pressió(kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	Ø (polsades)	Ø (mm)
291,25	2,46	205,11	0,967	2,6E-08	0,0010	0,025
291,15	3	205,65	0,967	3,1E-08	0,0010	0,026
291,15	4	206,65	0,967	3,1E-08	0,0010	0,024
291,25	5,04	207,69	0,967	3,6E-08	0,0010	0,025
291,45	6,1	208,76	0,967	3,1E-08	0,0009	0,022
291,45	7,06	209,71	0,967	3,6E-08	0,0009	0,023
291,55	8,04	210,69	0,967	5,2E-08	0,0010	0,026
291,55	9,01	211,66	0,967	1,05E-07	0,0014	0,036
291,55	10	212,65	0,967	1,32E-07	0,0016	0,040

Taula 19: Procediment complet EPA dia 2

Temp (°C)	Cabal (%)	Voltatge(v)
18,1	0,5	2,65
18	0,6	3,1
18	0,6	3,76
18,1	0,7	4,41
18,3	0,6	5,1
18,3	0,7	5,72
18,4	1	6,37
18,4	2	7,05
18,4	2,5	7,71

Taula 20: Paràmetres utilitzats per calcular forat dia 2



Gràfica 5: Diàmetre vs pressió Dia 2

Pel que fa a les pressions que són baixes, no hi ha diferències en el càlcul del forat equivalent, el cabalímetre detecta valors molt baixos de cabal compresos entre el 0,3 % i el 0,7 %, quan marca valors més baixos del 2 % és pot assegurar que no hi ha fuga ja que si baixa més d'aquest valor no és capaç de detectar valors fiables i fa una estimació ja que el rang de lectura no és segura quan el cabal és més petit que un 2 %, per tant la fuga és nul·la o pràcticament inexistente. Es pot observar una diferència significativa en el rang de altes pressions, donant un diàmetre més petit el segon dia del assaig ja que el cabal que es llegeix és menor el segon dia que el primer, igual que el apartat A.1.4 el primer dia ha sigut experimentació per tal d'esbrinar com aconseguir resultats fiables.

A.1.7. Assaig procediment EPA complet + RUBI

Aquest assaig consta de dues parts fonamentals ja utilitzades anteriorment però aquesta vegada es presenten juntes. Una part té el tanc completament condicionat per el procediment EPA i l'altre és el Master Jet RUBI. El que s'ha assajat aquí és la combinació de les dues parts, els resultats es presenten en la següent taula.

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	Ø (polsades)	Ø (mm)
291,15	2	204,65	0,967	3,43E-06	0,0124	0,314
291,15	2	204,65	0,967	2,90E-06	0,0114	0,288
291,15	2	204,65	0,967	2,74E-06	0,0110	0,280
291,25	2	204,65	0,967	2,85E-06	0,0113	0,286
292,15	2	204,65	0,967	2,74E-06	0,0110	0,281
292,75	2	204,65	0,967	2,79E-06	0,0112	0,283
291,65	2	204,65	0,967	2,85E-06	0,0113	0,286
291,55	2	204,65	0,967	2,87E-06	0,0113	0,287

Taula 21: Assaig procediment complet amb Master Jet RUBI

Temp (°C)	Cabal (%)	Voltatge(V)
18	60	2,38
18	55	2,38
18	52	2,37
18,1	54	2,36
19	52	2,36
19,6	53	2,37
18,5	54	2,38
18,45	54,285	2,375

Taula 22 : Paràmetres utilitzats procediment complet amb Master Jet RUBI

Els valors subratllats amb color groc és la mitjana ponderada de les lectures fetes anteriorment en els apartats de temperatura, cabal i pressió. Aquets valors s'han agafat per fer la comparativa de del tanc condicionat vs el tanc sense condicionar, els resultats d'aquesta comparativa apareixen en la memòria en el sub-apartat "Factor de correcció per el vapor de benzina" del apartat RESULTATS.

A.1.8. Comparació procediment complet vs no complet

En aquest apartat es comparen els resultats de dos assaigs. El primer és l'assaig utilitzant el tanc de combustible sense gasolina i sense condicionament previ (assaig no complet), el segon és l'assaig complet seguint la normativa especificada per l'organisme EPA (omplir 40 % de la capacitat nominal del tanc, fer un "soak" de 6 a 24 hores en un rang de temperatures comprés entre 20 °C i 30 °C amb una tolerància de ± 2 °C, portar a pressió ambient el tanc per eliminar la pressió residual, segellar les entrades del canister, pressuritzar el tanc a una pressió mínima de 2,4 kPa, llegir potencials fuites a diferents rangs de pressió).

Es farà un comparació entre el dies dos i tres del assaig normal comparant-los amb els resultats extrets del assaig amb el procediment EPA al complet. Per fer més visual els resultats, les taules dels assaigs normals i la taula de l'assaig procediment complet es mostren tot seguit. Per fer les gràfiques s'han agafat les dades del tercer dia en l'assaig no complet ja que els resultats d'aquell dia són més coherents.

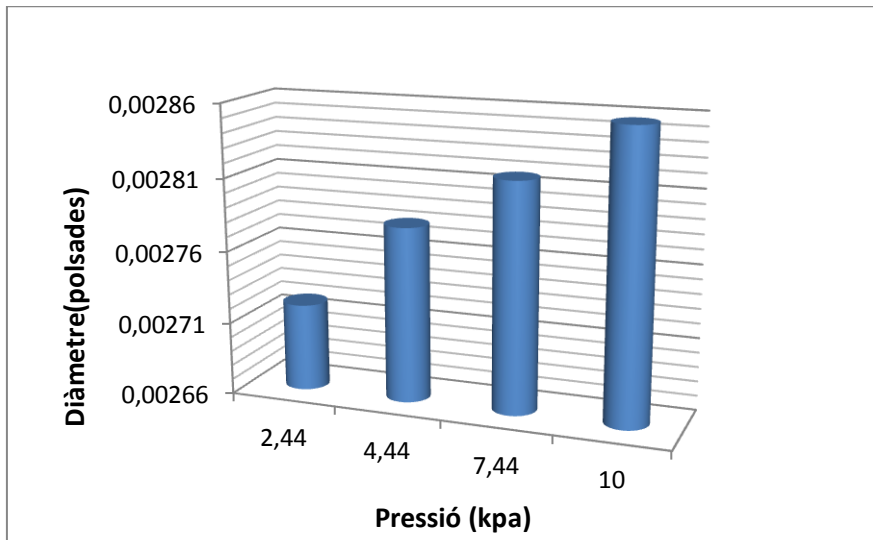
Procediment no complet

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	\emptyset (polsades)	\emptyset (mm)
297,05	2,44	205,41	0,967	1,05E-07	0,00195	0,050
297,05	3	207,09	0,967	1,20E-07	0,00204	0,052
297,15	5	209,11	0,967	1,60E-07	0,00207	0,053
297,15	8,38	211,03	0,967	3,80E-07	0,00281	0,071

Taula 23: Procediment no complet dia 2

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	\emptyset (polsades)	\emptyset (mm)
296,95	2,44	205,09	0,967	1,90E-07	0,00272	0,069
296,95	4,44	207,09	0,967	2,69E-07	0,00278	0,071
296,85	7,44	210,09	0,967	3,60E-07	0,00282	0,072
296,95	10	213,09	0,967	4,32E-07	0,00283	0,072

Taula 24: Procediment no complet dia 3



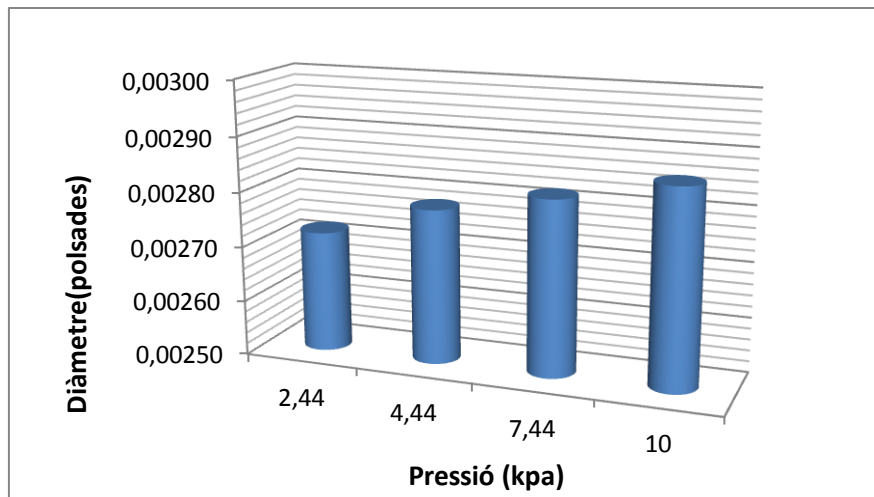
Gràfica 6: Pressió vs diàmetre del forat Dia 3 assaig no complet

La variació del diàmetre és degut a la fórmula EPA, ja que en cas de que hagués una fuita el forat d'aquesta no varia!!

Procediment complet

Temp (K)	Pressió(kPa)	Pressió total (kPa)	SG Nz	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	Ø (polsades)	Ø (mm)
291,25	2,46	205,11	0,967	2,60E-08	0,00099	0,025
291,15	3	205,65	0,967	3,10E-08	0,00103	0,026
291,15	4	206,65	0,967	3,10E-08	0,00095	0,024
291,25	5,04	207,69	0,967	3,60E-08	0,00097	0,025
291,45	6,1	208,76	0,967	3,10E-08	0,00085	0,022
291,45	7,06	209,71	0,967	3,60E-08	0,00089	0,023
291,55	8,04	210,69	0,967	5,20E-08	0,00103	0,026
291,55	9,01	211,66	0,967	1,05E-07	0,00143	0,036
291,55	10	212,65	0,967	1,32E-07	0,00156	0,040

Taula 25: Procediment EPA complet



Gràfica 7: Pressió vs diàmetre en assaig complet

A partir d'aquest dos experiments es pretén comparar el procediment complet i el procediment no complet, avaluant els resultats de la mida de les fuites i de la pressió a la que ha estat sotmès el tanc. A altes pressions és evident que el cabal de la fuga augmentarà i a baixes pressions aquest cabal serà inferior, també es evident que la mida de la fuga no variarà en el temps de que dura l'assaig, per tant per que varia el diàmetre de la fuga durant tot l'assaig?

Es pot observar que la mida del diàmetre de la fuga és superior en els assaigs on el tanc **no** ha estat condicionat prèviament, en canvi al procediment complet la mida del forat és més petit. Això es degut principalment a la formació de vapors que es crea a dins del tanc fent un condicionament previ marcat per la norma. La raó principal per la qual no es detecta el mateix diàmetre de fuga en un tanc on s'ha assajat amb nitrogen sense condicionar i un que si que ha estat condicionat amb benzina i haver seguit un procés de condicionament és per la mida de les molècules que componen els vapors a dintre del tanc. En un tanc buit la mescla de gasos al seu interior és pràcticament aire que esta constituït per nitrogen, oxigen, diòxid de carboni, argó i altres gasos amb molt poc percentatge del total. Al injectar nitrogen la mescla no varia en res la seva composició química, no es pot dir el mateix en un tanc que conté benzina. Els gasos resultants del condicionat previ del tanc són els causants del resultats obtinguts, la mescla de vapors que s'ha creat a dins del tanc és totalment diferent de les condicions que hi ha a l'assaig no complet. Per facilitar i entendre el que passa a dins del tanc , s'han avaluat els vapors resultants com si fos gas butà (C_4H_{10}). La raó de que es consideri com a butà la mescla de vapors creada en el tanc és que en el mateix departament es fan assaigs de cicles de duració amb canisters de vehicles i per fer envelliment d'aquests s'utilitza butà ja que els vapors creats per el butà són molt semblants als creats a dintre del tanc. Altres factors com la temperatura d'assaig, o si fa bon o mal dia (baixa o alta pressió) poden influir en el càlcul de la fuga.

A.2. CAIGUDA DE PRESSIÓ

En aquest apartat es presenten els càlculs resultants de fer una caiguda de pressió a tres tancs de combustible i posteriorment calcular la fuga generada per aquesta diferència de pressió.

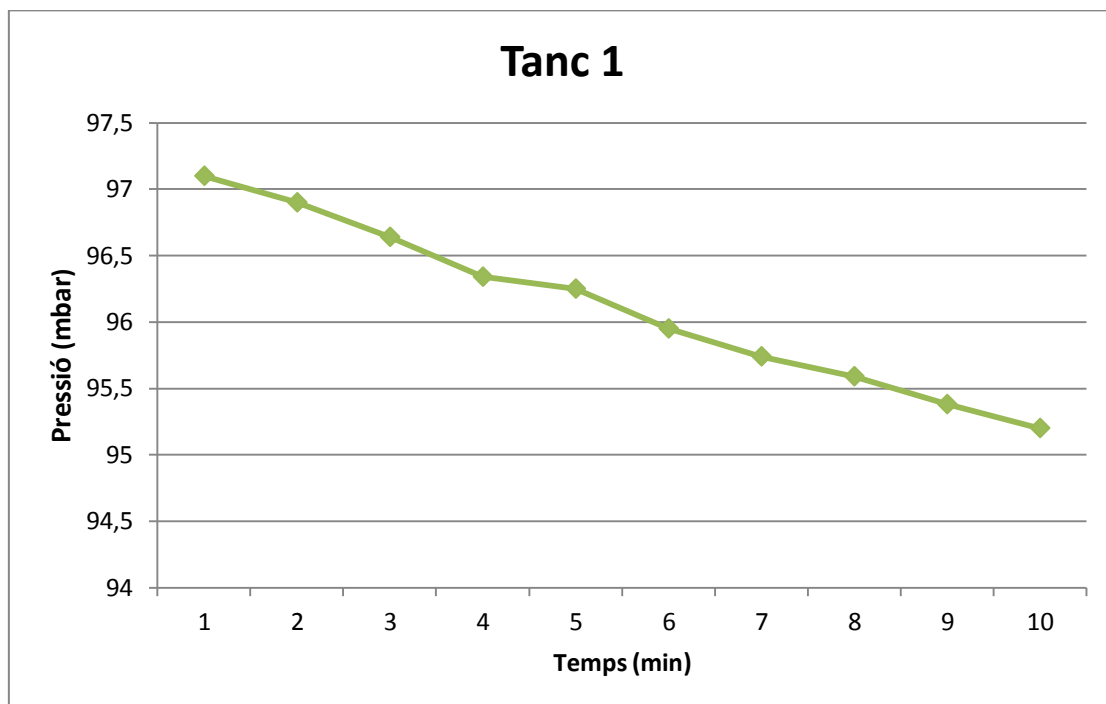
A.2.1. Assaig tanc numero 1

Tanc número 1	Inici estabilització (mbar)	Final estabilització (mbar)
Vol: 50 l	100,1	97,4

Taula 26: Paràmetres tanc 1

Temps (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressió (Mbar)	97,1	96,9	96,64	96,34	96,25	95,95	95,74	95,59	95,38	95,2

Taula 27: Dades caiguda de pressió tanc 1



Gràfica 8: Evolució de la pressió Tanc 1

Amb les dades preses podem esbrinar la fuga total que té el tanc, agafant els valors de volum del tanc, pressió inicial, pressió final i temps de l'assaig obtenim que:

$$Q = \frac{(97,1 - 95,2) \cdot 50}{600} \rightarrow \text{Fuga detectada: } Q = 0,158 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$$

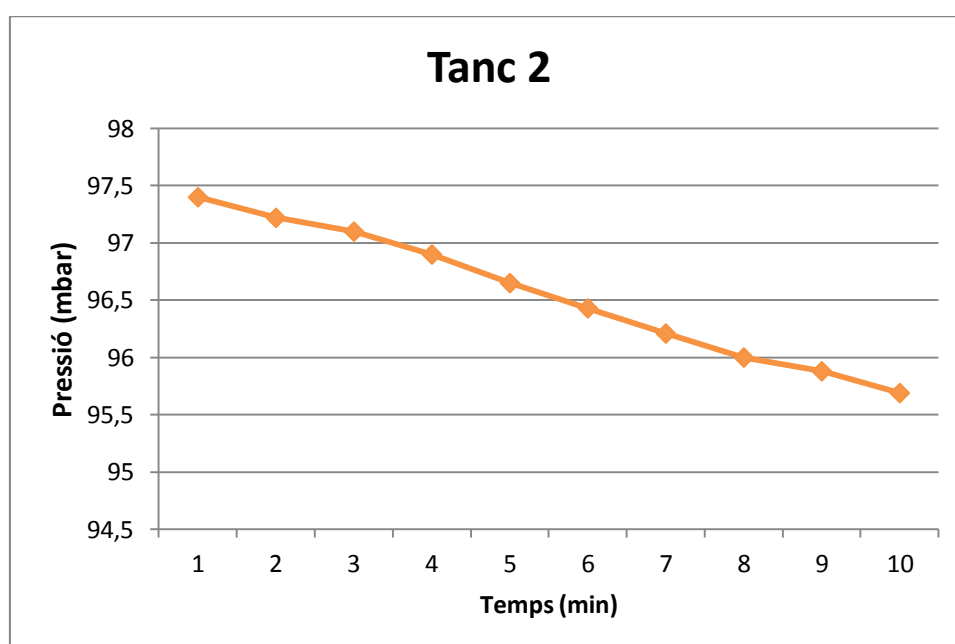
A.2.2. Assaig tanc numero 2

Tanc número 2	Inici estabilització (mbar)	Final estabilització (mbar)
Vol: 43 l	100,6	97,6

Taula 28: Paràmetres tanc 2

Temps (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressió (Mbar)	97,4	97,22	97,1	96,9	96,65	96,43	96,21	96	95,88	95,69

Taula 29: Dades caiguda de pressió tanc 2



Gràfica 9: Evolució de la pressió Tanc 2

Pressió aplicada al tanc: 100 mbar

$$Q = \frac{(97,4 - 95,69) \cdot 43}{600} \rightarrow \text{Fuita detectada: } Q = 0,122 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$$

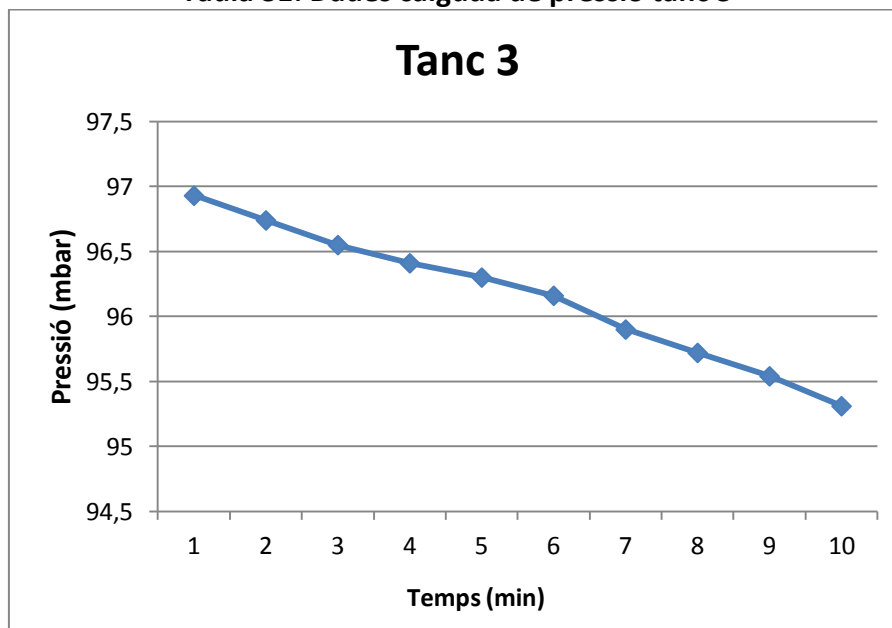
A.2.3. Assaig tanc numero 3

Tanc número 3	Inici estabilització (mbar)	Final estabilització (mbar)
Vol: 43 l	100,48	97,15

Taula 30: Paràmetres tanc 3

Temps (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressió (Mbar)	96,93	96,74	96,55	96,41	96,3	96,16	95,9	95,72	95,54	95,31

Taula 31: Dades caiguda de pressió tanc 3



Gràfica 10: Evolució de la pressió Tanc 3

Pressió aplicada al tanc: 100 mbar

$$Q = \frac{(96,93 - 95,31) \cdot 43}{600} \rightarrow \text{Fuita detectada: } Q = 0,116 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$$

Els 3 tancs estan en un baix rang de cabal de fuites. Si estudiem les fuites amb la fórmula EPA i calculem el diàmetre de la fuita equivalent obtenim els següents resultats:

Tanc 1: 0,0056 polsades o 0,14 mm;

Tanc 2: 0,0049 polsades o 0,12 mm;

Tanc 3: 0,0048 polsades o 0,12 mm

Comparant amb el procediment EPA els valors de cabal són una mica superiors, tot i això els valors del diàmetre són molt petits i es pot assegurar que no presenten fuites significatives.

A.3. COMPARACIÓ PROCEDIMENT EPA vs CAIGUDA DE PRESSIÓ EN EL MATEIX TANC

Aquesta secció presenta els resultats en el mateix tanc del dos mètodes de detecció de fuites . Primer es presenten els resultats de la caiguda de pressió i a continuació els del procediment EPA.

TANC CONFIDENCIAL 60 LITRES

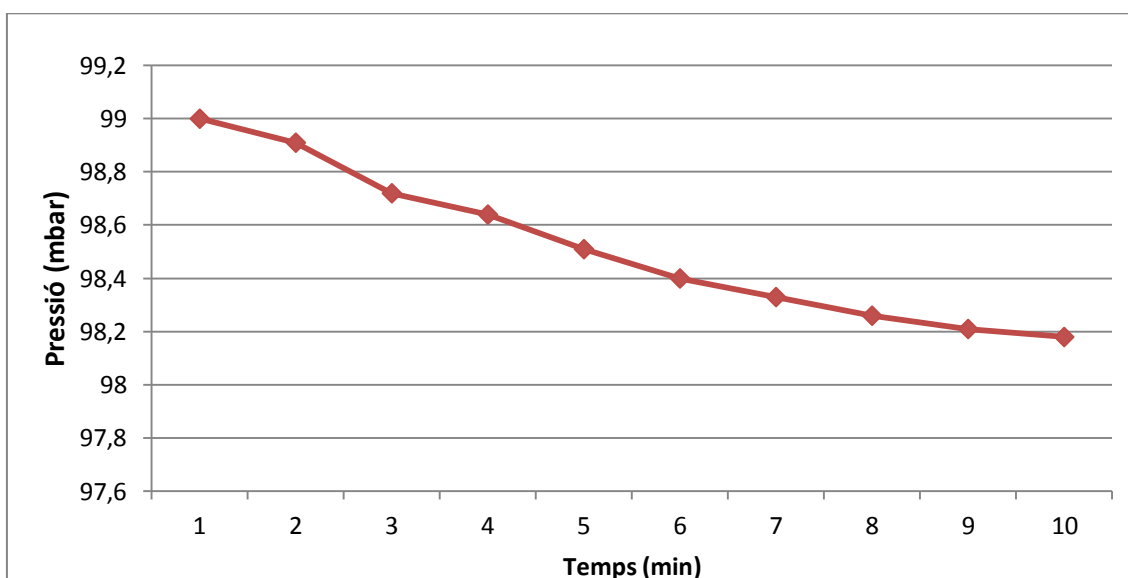
CAIGUDA DE PRESSIÓ

Tanc CONFIDENCIAL	Inici estabilització(mbar)	Final estabilització(mbar)
Vol:60 l	100,92	99

Taula 32: Paràmetres tanc confidencial

Temps (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressió(Mbar)	99	98,91	98,72	98,64	98,51	98,4	98,33	98,26	98,21	98,18

Taula 33: Dades caiguda de pressió tanc confidencial



Gràfica 11: Evolució de la pressió Tanc "confidencial"

$$Q = \frac{(99-98,18) \cdot 60}{600} \rightarrow \text{Fuita detectada: } Q = 0,082 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$$

La fuita calculada té un cabal equivalent de 0,082 mbar·l·s⁻¹, és un cabal molt petit equivalent a una fuita de diàmetre de 0,004 polsades o 0,1mm. El diàmetre s'ha trobat a partir de les calculacions del rang de pressions i el cabal equivalent amb un determinat forat.

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (mm)	T(20º) K	SG _{N2}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
10	212,65	0,10	293,15	0,967	0,049	0,0008	0,0817

Taula 34: Diàmetre calculat amb la fuita obtinguda per caiguda de pressió

TANC CONFIDENCIAL 60 LITRES

PROCEDIMENT EPA

Temp (K)	Pressió (kPa)	Pressió total (kPa)	SG N ₂	Cabal (m ³ ·s ⁻¹)	∅ (polsades)
293,15	10,2	213,09	0,967	4,32E-7	0,00283

Taula 35: Paràmetres extrets del dia 17/10

P.in-P.atm(kPa)	P.in+P.atm(kPa)	∅ (mm)	T(20º) K	SG _{N2}	Q N ₂ (l·min ⁻¹)	Q N ₂ (l·s ⁻¹)	Fuita Q (mbar·l·s ⁻¹)
10	212,65	0,08	293,15	0,967	0,0247	0,0004	0,0412

Taula 36: Fuita calculada en funció del forat

En aquest procediment s'ha calculat el forat equivalent a una pressió de 100 mil·libars, mateixa pressió que s'ha fet l'assaig de la caiguda de pressió per tal de comparar els resultats.

Per l'assaig de caiguda de pressió hem obtingut un cabal de fuita de 0,082 mbar·l·s⁻¹ que és equivalent a un forat de 0,004 polsades o 0,1016 mil·límetres.

Per l'assaig EPA hem obtingut un forat de aproximadament 0,003 polsades o 0,0762 mil·límetres.

Es pot observar que el forat calculat amb la caiguda de pressió és una mica més gran que el calculat amb la formula EPA però tot i no ser idèntics són pràcticament molt semblants i es poden considerar com a iguals. El més curiós és el cabal de la fuita, donat gairebé el doble en la caiguda de pressió comparat amb la metodologia EPA, això significa que no per tenir el doble de cabal el forat serà el doble de gran, és possible que es degui a que un mètode com la caiguda de pressió sigui més per avaluar cabals i la metodologia EPA per mesurar fuites equivalents, són dos mètodes diferents. El fet de que en l'assaig de caiguda, el cabal doni una mica més gran que l'assaig EPA es degut principalment a una suma entre el calibratge dels instruments i a tot el que s'ha comentat anteriorment.

