



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

Títol: SIMULACIÓ MITJANÇANT TÈCNIQUES CFD D'UNA CULATA PEL MOTOR DE BAIX CONSUM "ÀLIGA-EPS-UDG"

Document: MEMORIA I ANNEXOS

Alumne: Daniel Pérez Puig

Director/Tutor: Martí Comamala i Laguna

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: M.M.T.

Convocatòria (mes/any): SETEMBRE/2007

Taula de contingut

1.- MEMÒRIA

1.- INTRODUCCIÓ.....	6
1.1.- Antecedents.....	6
1.2.- Objecte.....	7
1.3.- Abast.....	7
2.- TEORIA DELS MOTORS 4T D'ENCESA PER GUSPIRA.....	8
2.1.- Introducció.....	8
2.2.- Dinàmica de fluids en una culata d'un motor quatre temps	9
2.3.- Coeficient de descàrrega.....	11
3.- GEOMETRIA I PARTS FONAMENTALS DE LES CULATES DE MOTORS 4T.....	13
3.1.- Geometria dels conductes.....	13
3.2.- Geometria de les vàlvules.....	15
4.- MESURES EXPERIMENTALS PER L'ESTUDI DE CULATES.....	17
4.1.- Mètodes tradicionals de mesura.....	17
4.2.- Introducció a l'adaptació del Banc de Flux al CFD.....	18
4.2.1.- Elecció del programa CFD.....	18
4.2.2.- Adaptació del Banc de flux al CFDesign.....	19
4.2.2.1.- Element a estudiar i tovera d'adaptació.....	19
4.2.2.2.- Tanc d'estabilització i conductes del banc.....	20
4.2.2.3.- Elements de mesura.....	21
4.2.2.4.- Sistema de bombeig.....	21
5.- ESTUDI/SIMULACIÓ AMB CFDESIGN.....	23
5.1.- Estudi i creació de la geometria.....	23
5.2.- Condicions de contorn aplicades al CFD.....	24
5.3.-Assignació del materials.....	24
5.4.- Moviment.....	25
5.5.- Mallat.....	26
5.6.- Anàlisis o càlcul.....	26
5.7.- Presa de dades.....	26

6.- ANÀLISI DE LA CULATA DEL MOTOR HONDA GX35.....	27
6.1.- El sistema d'admissió.....	27
6.1.1.- Geometria del Sistema.....	28
6.1.2.- Simulació i presa de dades.	31
6.1.3.- Resultats gràfics i numèrics.....	32
6.1.4.- Proposta i estudi de les millores.....	34
6.1.5.- Comparació dels resultats.....	40
6.2.- El sistema d'escapament.....	44
6.2.1.- Geometria del Sistema.....	44
6.2.2.- Simulació i presa de dades.....	45
6.2.3.- Resultats gràfics i numèrics.....	46
6.2.4.- Proposta i estudi de les millores.....	47
6.2.5.- Comparació dels resultats.....	49
7.- CONCLUSIONS.....	50
8.- RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	51
9.- BIBLIOGRAFIA.....	52
2.- ANNEXOS	
A.- ESQUEMES.....	53
A.1.- Fluid del sistema d'admissió de sèrie.....	54
A.2.- Vàlvula d'admissió de sèrie.....	55
A.3.- Fluid del sistema d'admissió modificat 1.....	56
A.4.- Fluid del sistema d'admissió modificat 2.....	57
A.5.- Vàlvula d'admissió modificada.....	58
A.6.- Fluid del sistema d'escapament de sèrie.....	59
A.7.- Vàlvula d'escapament de sèrie.....	60
A.8.- Fluid del sistema d'escapament modificat.....	61
A.9.- Vàlvula d'escapament modificada.....	62

B.- CONEIXEMENTS BÀSICS DELS MOTORS 4T.....	63
B.1.- Introducció als motors 4T.....	63
B.2.- Els quatre temps del motor de combustió interna.6.....	63
B.3.- El cicle Otto.....	66
C.- CÀLCUL GEOMETRIA FONAMENTAL DE LA CULATA.....	69
C.1.- Conductes.....	70
C.2.- Vàlvules.....	72
C.2.1.- Valors d'obertura inferiors a Llim.....	74
C.2.2.- Valors d'obertura superiors a Llim.....	74
C.3.- Càlculs de les geometries.....	76
C.3.1.- Geometria del sistema admissió de sèrie.....	76
C.3.2.- Geometria del sistema d'admissió modificat 1 i 2.....	78
C.3.3.- Geometria del sistema d'escapament de sèrie.....	80
C.3.4.- Geometria del sistema d'escapament modificat.....	82
D.- PROCÉSOS D'ADMISSIÓ I ESCAPAMENT EN UN MOTOR 4T.....	84
D.1.- Introducció.....	85
D.2.- Principals efectes en els processos d'admissió i escapament.....	87
D.3.- Variació de l'eficiència volumètrica.....	89
E.- GUIA PER LA REALITZACIÓ DE SIMULACIONS DE CULATES AMB EL CFDESIGN.....	91
E.1.- Introducció.....	92
E.2.- Descripció i creació de la geometria.....	92
E.3.- Importació al CFDesign.....	94
E.4.- Comandaments bàsics de navegació i selecció d'unitats.....	95
E.5.- Condicions de contorn.....	96
E.5.1.- Entrada.....	96
E.5.2.- Sortida.....	97
E.6.- Definició del mallat.....	98
E.6.1.- Mallat per volums.....	98
E.6.2.- Mallat per cares.....	98
E.6.2.- Mallat resultant.....	99
E.7.- Definició dels materials.....	99
E.8.- Moviment.....	100

E.9.- Opcions.....	100
E.10.- Anàlisi.....	100
E.11.- Resultats a temps real.....	101
E.11.1.- Creació dels talls.....	101
E.11.2.- Aparença.....	103
E.11.3.- Resultats numèrics.....	103
E.12.- Resultats post anàlisi.....	103
E.12.1.- Resultats numèrics.....	104
E.12.2.- Gràfics XY.....	105
E-12.3.- Línies de flux.....	105
F.- DADES EXPERIMENTALS DELS ESTUDIS DEFINITIVS.....	106
F.1.- Dades experimentals.....	107
F.1.1.- Admissió motor de sèrie.....	107
F.1.2.- Admissió modificada 1.....	107
F.1.3.- Admissió modificada 2.....	107
F.1.4.- Escapament motor de sèrie.....	108
F.1.5.- Escapament motor modificat.....	108
F.2.- Resultats numèrics.....	108
F.2.1.- Admissió de sèrie.....	108
F.2.2.- Admissió modificada 1.....	109
F.2.3.- Admissió modificada 2.....	109
F.2.4.- Escapament motor de sèrie.....	109
F.2.5.- Escapament motor modificat.....	110
F.3.- Resultats Gràfics comparatius.....	110
F.3.1.- Sistemes d'Admissió.....	110
F.3.2.- Sistemes d'Escapament.....	112

1.- INTRODUCCIÓ

Document format de dues parts molt diferenciades, la memòria i els annexos.

La primera és la memòria, document que ens permetrà descriure el conjunt de l'estudi de la simulació mitjançant tècniques CFD d'una culata pel motor de baix consum del vehicle "ALIGA-EPS-UdG", de manera planera i sense entrar en molts detalls tècnics.

La segona part del document són els annexos, que aquests si que contenen tota la informació de contingut tècnic necessària per la realització de l'estudi.

1.1.- ANTECEDENTS

Des de l'any 2004 l'UdG competeix en la prova contra el consum Eco-Shell amb un vehicle de construcció pròpia denominat ÀLIGA.

Donada la necessitat d'aconseguir uns consums el més baixos possibles, cada membre de l'equip li és assignada una tasca concreta del vehicle amb la finalitat d'aconseguir millorar el rendiment d'aquest.

Actualment s'ha treballat molt en el vehicle pel que fa a xassís, carrosseria i transmissió aconseguint bons resultats, però pel que fa al motor encara no s'hi ha pogut treballar i el vehicle concursa amb un motor Honda el qual és totalment de sèrie.

Amb la finalitat d'aconseguir any rere any millores en el rendiment d'aquest vehicle, sen's planteja la necessitat de millorar el motor actual o bé obrir el camí per aconseguir un motor de fabricació pròpia.

Pel que fa a motors tèrmics 4T com el que utilitzem, una de les parts que determina dràsticament el rendiment del motor és la culata, les restriccions que poden ocasionar les seves geometries internes juntament amb les vàlvules, són les principals causants de les pèrdues de rendiment directament relacionades amb l'augment dels consums.

A primera vista el motor Honda utilitzat sembla un motor poc eficient, amb una geometria totalment anti- aerodinàmica pel que fa als seus conductes i vàlvules.

Des de fa molts anys l'estudi d'aquesta eficiència es realitza mitjançant bancs de flux, en resum la seva finalitat és fer circular un cabal d'aire conegut a través dels conductes de la culata, i mitjançant l'obertura de la vàlvula quantificar les pèrdues que s'hi produeixen.

Actualment gràcies a l'existència dels programes de simulació computacional de fluids, anomenats CFD, es planteja simular les condicions d'un banc de fluxe per poder realitzar els estudis de les culates mitjançant una simulació més ràpida, còmoda i econòmica.

1.2.- OBJECTE

El projecte pretén estudiar i quantificar les restriccions creades al fluid al circular pels conductes d'admissió i escapament de la culata del motor del vehicle Àliga. L'Estudi consta de quatre etapes: a) Estudi de les restriccions actuals dels sistemes d'Admissió i Escapament, b) Anàlisi dels resultats de la culata de sèrie i proposta de millores aplicables al model real, c) Càlcul de les restriccions creades pels models millorats i d) finalment, estudi comparatiu dels resultats obtinguts, interpretant els resultats dels principals paràmetres a anàlitzar.

1.3.- ABAST

L'estudi de la culata del motor Àliga serà realitzada mitjançant la simulació computacional, utilitzant el software Inventor 9.0 per creació de les geometries, i el CFDesign per les etapes de simulació i adquisició de dades.

Les condicions de contorn aplicades per l'estudi d'aquestes restriccions, seran les creades per un banc de flux real. Per tant es realitzarà l'adaptació del banc de flux al software de simulació CFDesign.

Com a finalitat pràctica, es realitzarà la creació d'una eina de treball capaç de simular un banc de fluxe. Aquesta serà utilitzada per la realització de posteriors estudis dedicats a la fabricació d'una culata pròpia per el vehicle Àliga.

2.- CONCEPTES BÀSICS DELS MOTORS 4 TEMPS DE CICLE OTTO

En aquest capítol s'abordarà els aspectes teòrics bàsics dels motors de 4 temps d'encès per guspira, anomenats de cicle Otto, per la comprensió dels passos seguits per l'estudi de la culata. En l'annex B es mostrarà en més detall tant del seu funcionament real.

2.1.- Introducció:

El motor de 4 temps utilitzat en el vehicle Àliga EPS-UdG, és un motor de combustió interna d'encès per guspira, monocilíndric, amb una bugia d'encès, amb l'accés al cilindre controlat per dues vàlvules tipus bolet, governades per una sola lleva. Amb aquestes dades ja podem donar per suposat que el disseny del motor no és pensat per obtenir baixos consums, sinó per obtenir un motor compacte, robust i alhora econòmic.

En el tall d'un motor real hi podem trobar tots els components citats anteriorment, i la seves geometries i ubicacions usuals, tal i com s'observa a la figura 1. Quan el pistó arribi a la part més alta del cilindre, es diu que el pistó ha arribat al *punt mort superior (PMS)*, i quant arriba a la zona més baixa del cilindre es troba al *punt mort inferior (PMI)*.

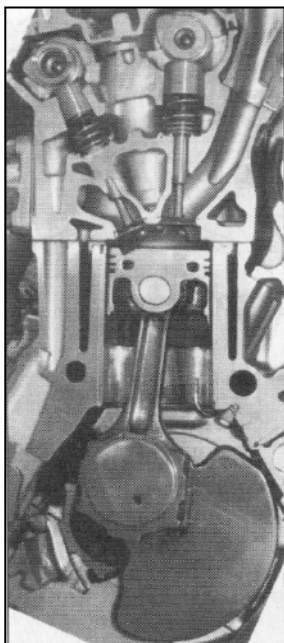


Fig 1.- Tall motor real de combustió interna principals components

Les etapes del cicle Otto, es mostren a la figura 2 i en més detall a l'annex B. En resum el funcionament teòric d'aquest tipus de motors bé donat per quatre passos o temps, a continuació exposats:

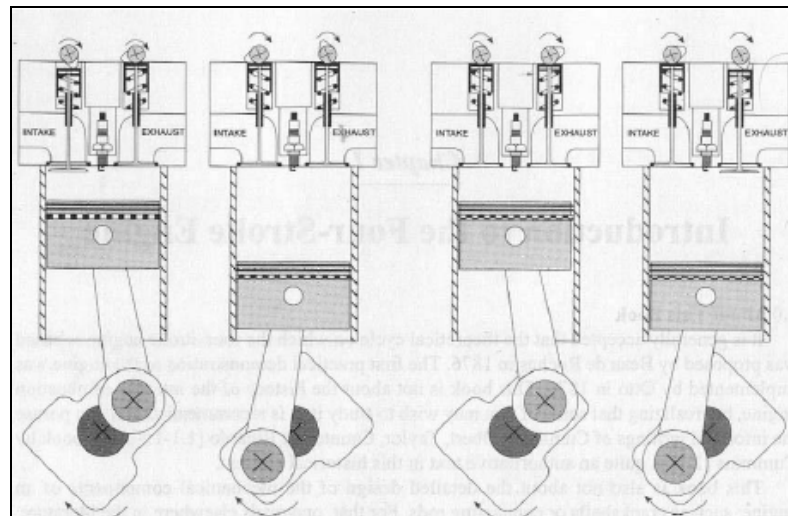


Fig 2.- Etapes del cicle Otto

1.- *Admissió*: l'aire és induït al cilindre, a través de la vàlvula, mitjançant la carrera d'admissió partint del PMS fins PMI, incrementant el volum de la cambra del mínim al màxim.

2.- *Compensió*: es tanca la vàlvula d'admissió, i l'aire atrapat dins el cilindre experimenta una compressió deguda al moviment del pistó, del PMI al PMS. El volum decreix provocant un augment de la pressió i la temperatura de l'aire i el combustible que atrapat dins l'aire es vaporitza. Un cop acabada la cursa de compressió, la combustió del combustible vaporitzat és iniciada per la guspira de la bugia. La pressió dins el cilindra augmenta ràpidament a desenes d'atmosferes i la temperatura a cents de graus.

3.- *Expansió*: El pistó degut a la força creada per la pressió resultant de la combustió, es desplaça del PMS al PMI.

4.- *Escapament*: s'obre la vàlvula d'escapament i el moviment del cilindre del PMI al PMS, força l'extracció del gasos produïts a la combustió. Quan el cilindre queda buit i la vàlvula d'escapament es tanca, es torna a començar de nou el cicle.

Per l'estudi de l'efectivitat en l'emplenat i buidat del cilindre, centrarem tota l'atenció el primer i el quart temps, l'Admissió i l'Escapament.

2.2.- Dinàmica de fluids fonamental en una culata

En l'estudi de la dinàmica de fluids en una culata d'un motor 4T s'ha de diferenciar el dos processos següents, l'admissió i l'escapament. A continuació es mostraran els dos processos, sense entrar en detalls per la comprensió dels següents apartats. A l'Annex D, es mostra en detall aquests processos, així com els principals efectes que s'hi produeixen. Tots aquests ens poden ser molt útils alhora d'interpretar els resultats del posterior estudi.

En l'admissió, el fluid de l'atmosfera, passa per un filtre, un carburador, el port d'entrada de la culata i finalment supera la restricció creada per l'obertura de la vàlvula, i aquest entra al cilindre, en cas de no ser d'injecció que els components varien.

Pel que fa l'escapament el camí seguit és el contrari, els gasos surten del cilindre, superen la restricció creada per la vàlvula, el port d'escapament, tot el sistema d'escapament i finalment a l'atmosfera.

Tal i com observem el fluid pateix moltes restriccions alhora de sortir o entrar al cilindre, però una de les més importants i complexes és la restricció creada dins la culata, i en especial la creada per les vàlvules.

La naturalesa del fluid que travessa la culata es pot examinar, de forma bàsica, en tres alçades d'obertura de vàlvula: petita, mitjan i gran. Agafant com a referència una vàlvula amb arestes filoses, com els típics motors de sèrie i el motor del vehicle a estudiar, es produiran aquests tres casos.

- *Per obertures petites*, el flux tendeix a separar-se de les arestes interiors tant del seient com de la vàlvula, tornant a entrar en contacte amb el seient i la vàlvula, tal i com mostra la figura 3.

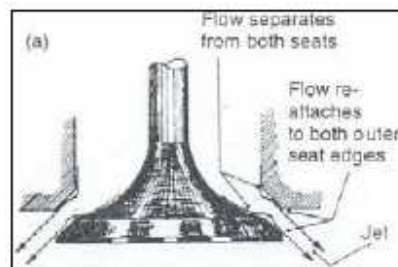


Fig 3.- Comportament del flux amb petites obertures

- *Per obertures mitges*, el fluxe es separa de les arestes interiors tant del seient com de la vàlvula, tornant a entrar en contacte amb el seient i no amb l'aresta externa de la vàlvula, tal i com mostra la figura 4.

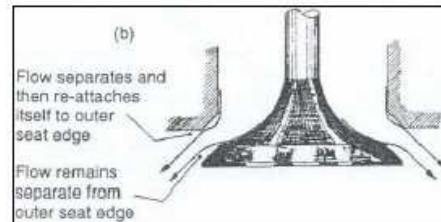


Fig 4.- Comportament del fluxe en obertures mitges

- *Per grans obertures*, el flux es separa de les arestes interiors del seient i de la vàlvula, seguint separats sense tornar a tenir contacte, formant un raig independent d'àrea menor a l'obertura d'aquesta vàlvula, tal i com s'observa a la figura 5.

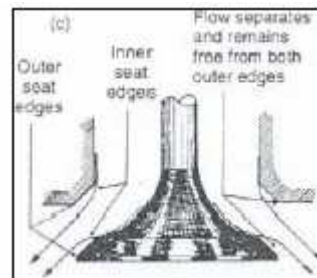


Fig 5.- Comportament del fluxe en grans obertures de vàlvula

Aquest fenomen també es troba en altres tipus de vàlvules, o conductes amb un canvi de secció brusc. La majoria dels casos es troba en arestes afilades, on la inèrcia del propi fluid, no permet que aquest segueixi els contorns. És important observar, que quan s'assoleix una obertura determinada, l'augment de flux màssic que travessa la vàlvula no és l'esperat, ja que aquesta no ocupa totalment l'àrea disponible per fer-ho. Per altre banda, per obertures excessives, l'altre limitació serà l'àrea del port d'entrada, es a dir que àrea de pas que deixa la vàlvula és superior a l'àrea de pas del port d'entrada.

2.3.- Coeficient de descarrega:

La forma més usual de quantificar les pèrdues creades per les geometries internes dels conductes tancats, és el coeficient de descarrega (C_d) o també anomenat coeficient de fluxe..

Podem expressar el coeficient de descarrega, com el quocient entre el cabal màssic real i el cabal màssic ideal que circula a través d'un conducte de secció coneguda a pressió constant, tal i com expressa l'equació 1.

$$C_d = \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{Q}_{ideal}} \quad (\text{Eq.1})$$

Utilitzant la teoria d'un fluid isontròpic i compressible que travessa un orifici sense fregament i sotmès a una depressió constant, es podrà calcular el cabal màssic ideal que el circula a través d'aquest orifici, tal i com s'expressa a l'equació 2.

$$\dot{Q}_{ideal} = \frac{(P_{sortida} \times A_{port} \times C_s)}{\sqrt{R_{gas} \times T_{sortida}}} \quad (\text{Eq.2})$$

On:

$P_{sortida}$ = Pressió de la zona estanca (??) (bar)

A_{port} = Àrea de pas del fluid (mm^2)

C_s = Factor crític del fluid, $= \sqrt{\gamma} \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(1-\gamma)}}$

R_{gas} = Constant del gas (Ru/MW)

$T_{sortida}$ = Temperatura de la zona estanca (K)

El cabal màssic real s'obtindrà a partir de les dades extretes de l'estudi experimental de la culata, per cada obertura de vàlvula, considerant una pèrdua de càrrega constant, mentre que el cabal màssic ideal el trobarem mitjançant l'equació 2. A l'Annex F.2, on tenim les taules els resultats de la simulació, es pot apreciar com per l'estudi es força aquesta pèrdua de càrrega constant.

Els resultats són mostrats en forma de gràfic on es mostra el C_d per les diferents obertures de vàlvula, tal i com es mostra a la figura 6, el coeficient de descarrega de la culata del sistema d'admissió del motor Honda Gx35 de sèrie

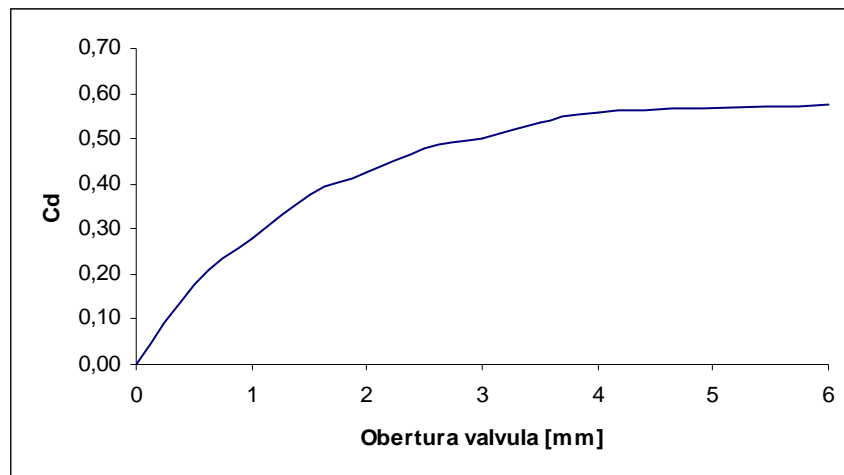


Fig 6.- Gràfic de coeficient de descàrrega en funció de l'obertura de la vàlvula

Si aconseguim augmentar aquest coeficient de descàrrega, el que s'aconseguirà serà un augment en el cabal màssic que entra al cilindre per una mateixa obertura. Com major sigui la massa introduïda dins el cilindre, major serà el seu rendiment volumètric i major la seva potència. O el que seria el mateix, si tenim una major eficiència volumètrica, s'aconseguirà la mateixa potència a menors revolucions.

El mitjà més eficaç per incrementar el cabal màssic que introduïm dins el cilindre, és la sobrealimentació, aconseguint valors superiors a 1, no obstant en motor aspirats, com el cas del motor de l'Àliga, també es pot aconseguir augmentar el rendiment volumètric gràcies a una bona geometria dels ports i les vàlvules, i a una bona elecció en els temps d'obertura de les mateixes.

En l'Annex B, observarem els coneixements bàsics d'un motor 4T, i a l'Annex D, la teoria de dinàmica de fluids dins conductes tancats, que ens ajudaran a entendre i aprofundir sobre el benefici que comportarà un augment del ja conegut coeficient de descàrrega.

3.- GEOMETRIA FONAMENTAL D'UNA CULATA

Una culata d'un motor 4T usualment és formada per dos conductes principals, el conducte d'admissió i el d'escapament, amb les seves corresponents vàlvules tal i com s'observa a la figura 7.

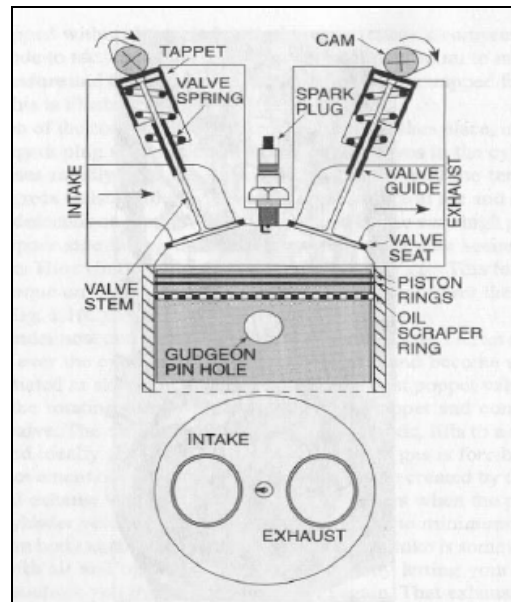


Fig. 7.- Geometria i parts fonamentals d'una culata d'un motor de combustió interna

L'obertura de les vàlvules connecta l'àrea del cilindre amb la dels conductes d'admissió o escapament, i el gas que hi circula depèn de la diferència de pressió entre el cilindre i l'atmosfera, i de l'àrea de pas que té el fluid.

Per aquest motiu, les dues geometries a analitzar per l'estudi de l'efectivitat de l'emplenat i buidat del cilindre són: la geometria dels conductes i la geometria de la vàlvula.

3.1.- Geometria dels conductes:

La geometria d'aquests conductes o ports és una de les causes principals de les restriccions del fluid, al ser dissenyats en molts motors preval l'obtenció d'un motor el més econòmic possible, fet que provoca la recerca de dissenys de fàcil fabricació.

El resultat solen ser geometries poc aerodinàmiques, que provoquen moltes pèrdues al fluid en forma de remolins, friccions, restriccions geomètriques, tal i com observem a la figura 8.

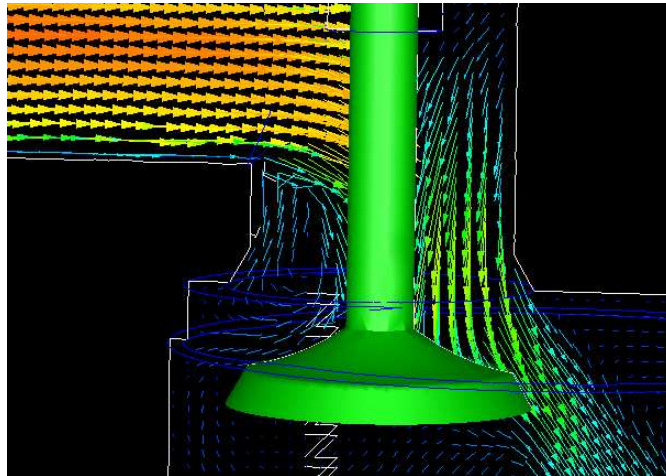


Fig. 8.- Resultats vectorials de la velocitat del fluid en el pas per vàlvula d'admissió del motor Honda Gx 35

A l'Annex C.3 es poden observar els càlculs i explicacions de les àrees totals i efectives de pas dels conductes de la culata, dades necessàries pel posterior estudi aerodinàmic.

3.2.- Geometria de les vàlvules.

La funció de les vàlvules és la restricció total o parcial de l'entrada o sortida del fluid del cilindre. Tal i com observem a la figura 9, en obrir-se la vàlvula es crea una àrea de pas entre els conductes i el cilindre, en forma de con. Gràcies a la diferència de pressions entre l'atmosfera i l'interior del cilindre obtindrem la circulació del fluid.

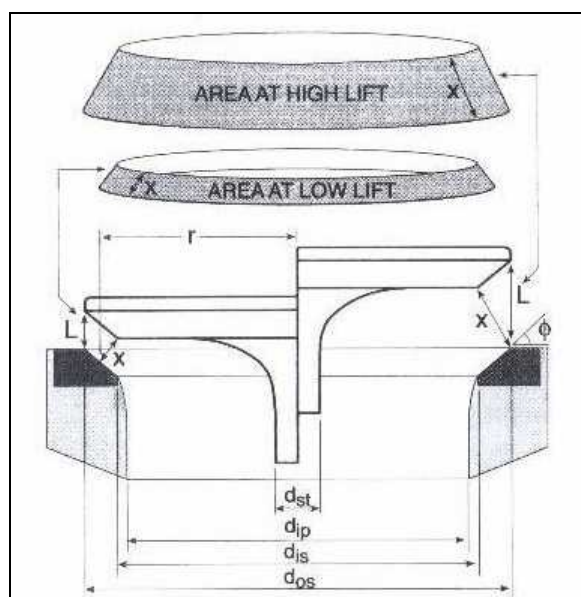


Fig 9.- Àrea de pas creada per grans i petites obertures de vàlvules

A l'Annex C s'hi observa els càlculs geomètrics i explicacions necessàries per l'obtenció de les àrees de pas creades per l'obertura de la vàlvula.

En resum, pel càlcul de les àrees de pas que formaran les obertures de les vàlvules, dividirem l'estudi en dues parts, per obertures petites i per grans obertures. Amb el càlcul d'aquestes àrees juntament amb la dels conductes es podrà obtenir l'àrea mínima de pas que disposarà el fluid en funció de cada obertura de vàlvula.

4.- MESURES EXPERIMENTALS PER L'ESTUDI DE CULATES

Per l'obtenció dels coeficients de descàrrega serà imprescindible l'obtenció de les dades experimentals del fluid, ja que aquestes comparades amb les ideals, ens permetrà obtenir el coeficient de flux de la culata.

4.1.- Mètodes tradicionals de mesura.

Actualment les mesures són realitzades mitjançant un banc de proves anomenat Banc de Flux. La finalitat d'aquest banc, és l'estudi aerodinàmic intern dels conductes o orificis, es podria dir que pertany a la família del famós túnel del vent i es l'encarregat d'estudiar la resistència que pateix un fluid en circular per l'interior d'un element conegut.

El seu funcionament bàsic, és crear una depressió o pressió coneguda i controlada respecte l'atmosfera, que força la circulació d'un cabal a través d'un conducte de geometria coneguda. Aquesta depressió és controlada per aconseguir crear que la pèrdua de càrrega sigui constant. Aquest banc disposa de diferents aparells de mesura, toveres calibrades que juntament amb manòmetres i termòmetres ens permetran conèixer el cabal i les pressions en què circula el fluid a través d'aquest element. Tots aquests elements són representats de forma esquemàtica a la figura 10.

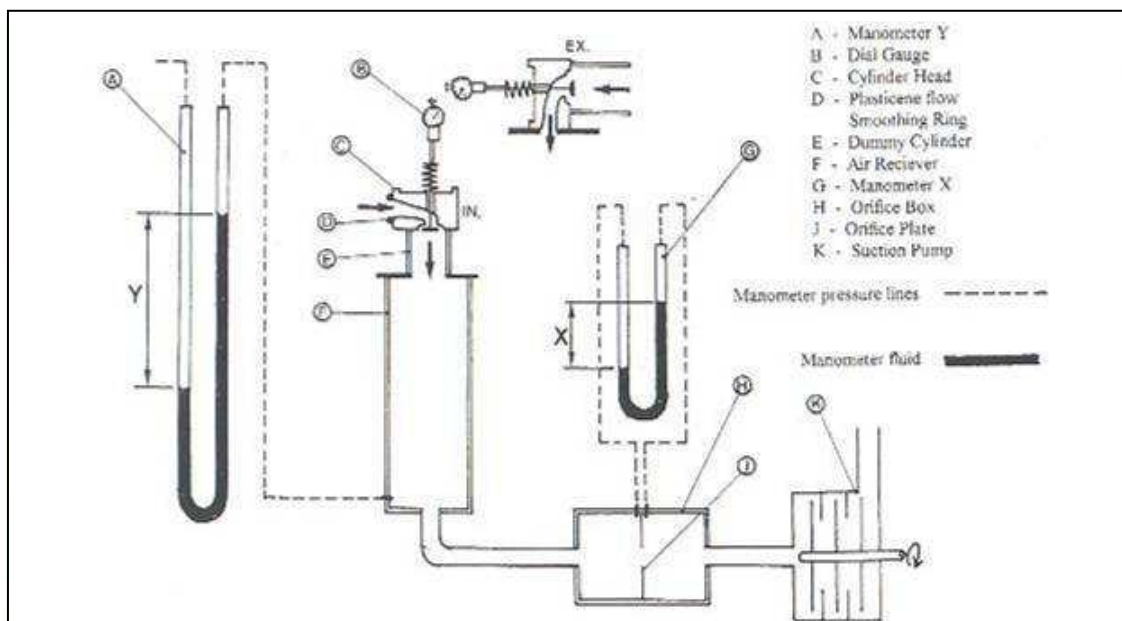


Fig 10.- Esquema dels principals components que formen un banc de fluxe estacionari.

Els bancs de flux són formats per quatre blocs:

- 1.- Element a estudiar i tovera d'adaptació al propi banc de flux.
- 2.- Conductes del banc i el tanc d'estabilització.
- 3.- Aparells de mesura: *Micròmetre*, per controlar l'obertura de la vàlvula de cada estudi. *Tovera normalitzada, termòmetres i manòmetres*, que gràcies a un càlcul senzill, segons la tovera utilitzada, permetrà conèixer el cabal que hi circula en aquell moment.
- 4.- Sistema de bombeig: La bomba de succió instal·lada al banc, permet crear una depressió constant de 28 polsades d'aigua, o el que és el mateix que 0,07 bar. El cabal que hi passarà vindrà donat segons el model que volem estudiar.

Els estudis es realitzen independents per cada obertura de vàlvula, i es van repetint estudis fins a obtenir els valors de totes les obertures que desitgem. Posteriorment, tractant aquesta informació, podrem trobar el Coeficient de descàrrega en funció de cada obertura de vàlvula. Normalment es fan estudis comparatius entre els coeficients de descàrrega, i els cabals.

En un principi els bancs de flux varen ser creats exclusivament per l'estudi de culates, però amb el temps, també son usats per estudiar tot tipus de conductes i vàlvules, les quals interessa veure i quantificar el seu comportament aerodinàmic.

4.2.- Adaptació del Banc de Flux al CFD.

Aprofitant les noves tècniques de simulació de fluids es pretén adaptar l'estudi experimental d'un banc de flux, a una simulació mitjançant un programa CFD. Amb la finalitat d'obtenir les dades experimentals que obtindríem en un banc de flux real.

4.2.1.- Elecció del programa CFD

Entre els diferents CFD que existeixen al mercat, per l'adaptació del banc de flux s'ha escollit el CFDesign, les característiques d'aquest ens encaixen molt amb les necessitats que tenim a l'adaptació del banc de flux.

Els tres grans avantatges que presenta el programa CFDesign per aconseguir una simulació ràpida i el més còmode possible son els següents:

1.- Compatible amb geometries creades pels principals programes MCAD actuals del mercat (Pro-engineer, Catia, UGS, Inventor, SolidWorks y SolidEdge): Aquest fet ens permetrà fer un model 3D en el programa que tinguem més experiència, fet que facilitarà la creació del primer model i les posteriors modificacions.

2.- Permet atribuir característiques diferents a cada volum, fet que ens permetrà diferenciar i crear fàcilment el fluid i els sòlids (culata i vàlvula).

3.- Facilitat de moviment de sòlids, una de les característiques principals per l'elecció, el programa permet el moviment dels volums amb precisió i facilitat, en el nostre cas ens serà molt útil ja que podrem crear les diferents obertures de vàlvula.

4.2.2.- Adaptació de les parts del Banc al CFDesign

L'adaptació s'ha realitzat pensant en les 4 parts o processos bàsics del banc de flux descrits anteriorment: 1.- L'element a estudiar i tovera d'adaptació, 2.- Tanc d'estabilització i conductes del banc. 3.- Elements de mesura. 4.- Sistema de bombeig.

4.2.2.1.-L'element a estudiar i tovera d'adaptació

L'element a estudiar el dibuixarem amb un programa MCAD. Crear el fluid que ompliria el ports i les vàlvules, tal i com s'observa la figura 11.

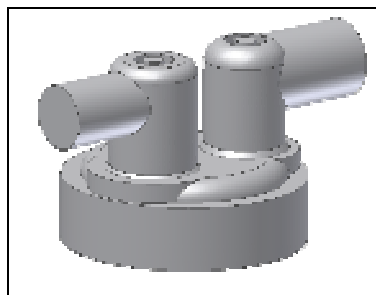


Fig 11.- Àrees de pas dels conductes de la culata del motor Honda Gx35

Per qüestions de temps de càlcul del programa CFD es recomana només dibuixar el fluid i les vàlvules, l'adaptació serà més senzilla i el temps de càlcul també.

Una altra adaptació per fer la simulació en el banc de flux, és dividir el sistema d'admissió i el d'escapament en estudis individuals, és a dir que al analitzar el sistema d'admissió, no cal

tenir ni la vàlvula ni els conductes d'escapament, ja que aquests no els utilitzarem. Per tant, i només per el fet de reduir el temps de càlcul, farem les geometries per separat, la d'admissió, mostrada en la figura 12 i la d'escapament mostrada en la figura 13.

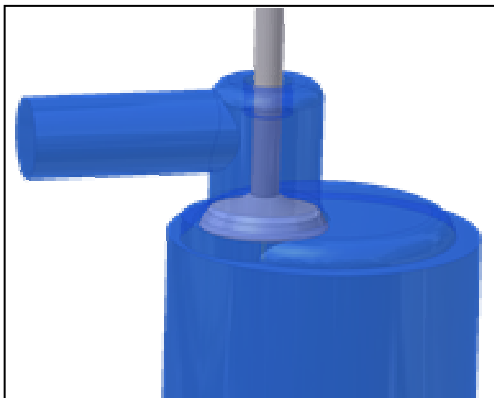


Figura 12.- Sistema d'admissió del motor Honda

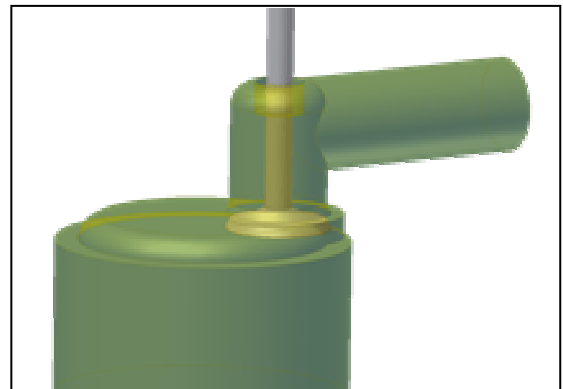


Figura 13.-Sistema escapament del motor Honda

La tovera d'adaptació, aquest element no serà necessari de crear per la simulació, ja que l'element a estudiar i el tanc d'estabilització seran un únic cos com veurem a continuació.

4.2.2.2.- Tanc d'estabilització i conductes del banc:

El tanc d'estabilització, aquest element serà en el moment de dibuixar l'element a estudiar amb l'Inventor. Segons alguns llibres per assegurar l'estabilització del fluid, cal fer les mesures a tres vegades al diàmetre de l'estrenyiment. Per l'adaptació al CFD d'aquest tanc, allargarem el cilindre tres vegades el diàmetre, en el cas de l'estudi de l'Admissió. En sistema d'escapament allargarem tres vegades el diàmetre port de sortida.

Aquestes mesures són orientaves per l'adquisició de dades en models reals, però en anàlisis amb el CFD, podem observar en el punt on tenim el fluid estabilitzat. Per tant si observem que el fluid s'estabilitza avanç d'aquest mesura, es important reduir-la, ja que també reduirem el temps de càlcul. En l'Annex E, s'observa on es fan els talls de mesura i els gràfics que utilitzem per assegurar-nos que prenem les dades en un punt on el fluid està estabilitzat.

4.2.2.3.- Elements de mesura:

Aquest és un dels punts més beneficiosos de l'estudi mitjançant CFD.

- Secció del model amb gràfic de vectors de les variables que desitgem en tot moment.
- Presa de dades ràpida i senzilla, mitjançant tallis en la cara que desitgem, el programa ens fa la mitjana d'aquella cara.
- Presa de dades en punts.
- Gràfics XY
- Línies de recorregut.

Tots aquests avantatges comporten un afegit molt important d'informació respecta a l'estudi del banc flux tradicional. Amb el banc tradicional només podem saber dades concretes de pressió i temperatura en punts determinats del banc. La simulació ens permet obtenir les dades de qualsevol punt de l'estudi, i ens les mostra gràficament, fet que ens ajudarà a detectar ràpidament els punts crítics del disseny i analitzar com s'han d'encarar les possibles modificacions.

4.2.2.4.- Sistema de bombeig:

Al entrar les dades de les condicions de contorn del model en el CFD, només s'haurà d'indicar la posició i el valor de la depressió es vol crear.

Les condicions de contorn i les característiques utilitzades a la simulació per la realització dels estudis, les podem observar en detall en l'Annex F, pel que fa a condicions del sistema de bombeig, s'han aplicat les mateixes que utilitzaria el banc de fluxe i mostrades a continuació.

Sistema d'admissió:

- Depressió relativa de 0,07 bar, aplicada dins el cilindre, fet que ens simularà la succió creada per la bomba en un banc real.
- Pressió de 0 bar relatiu al port d'entrada, ens simularà les condicions de l'atmosfera, al ser sempre pressions relatives, s'ha de tenir en compte a l'hora de realitzar els càlculs.

Sistema d'escapament:

- Es crea una depressió de 0,07 relatiu al conducte d'escapament, així també simulariem exactament les condicions creades per un banc.

- Pressió de 0 bar relatiu dins el cilindre. Els bancs de flux mes usuals, només creen depressions, per tant l'estudi de l'escapament és realitzat creant una depressió a la sortida, tal i com s'observa a la figura 14. Però en el funcionament real del motor, els gasos d'escapament surten del cilindre per la pressió creada pels gasos resultants de la combustió i la carrera d'escapament. Per la simulació en el CFD, utilitzarem les mateixes condicions que en el banc, tot i que es podria realitzar l'estudi aplicant pressió dins el cilindre.

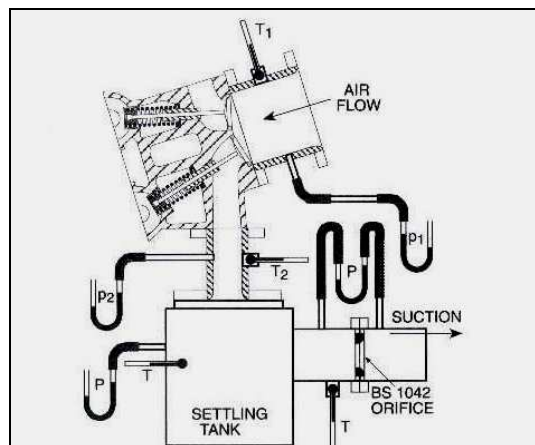


Fig 14.- Esquema de l'estudi del sistema d'escapament de la culata en un banc de flux estacionari

A l'Annex F on es mostra la guia detallada de com es realitza l'estudi de la culata mitjançant el CFDesign, es veu en quins punts i com s'apliquen aquestes pressions, juntament amb les característiques del fluid i el material de la culata.

5.- SIMULACIÓ DE LA CULATA AMB EL CFDESIGN.

Punt on es reflecteixen de forma esquemàtica els passos seguits per la creació de l'estudi/simulació sobre una culata d'un motor 4T amb el programa CFDesign.

Per observar els passos detallats de la creació d'aquest estudi, veure l'annex E, on es mostra un pràctica guiada per la simulació de culates amb aquest programa.

Els passos a seguir són els següents:

5.1.- Estudi i creació de la geometria:

Estudi de la geometria de la culata, hi ha moltes culates que presenten una geometria complicada de conductes, el més usual és realitzar motlles de silicona, que ens permetran veure les geometries internes que descriu el fluid. Tal i com s'observa a la figura 16, tenim el motlle en silicona i les vàlvules del motor Honda a estudiar, ja dibuixades amb el software Inventor.

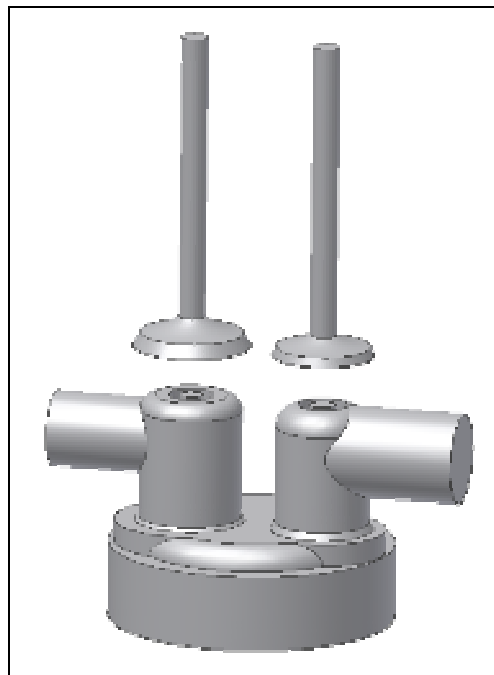


Fig 15.- Imatge del motlle de silicona dels ports del motor Honda i vàlvules de sèrie dibuixades amb Inventor.

5.2.- Condicions de contorn aplicades al CFD

En el nostre cas al simular un banc de flux, ens hem ajustat a fer l'estudi amb les condicions utilitzades per aquest. En la realitat, les condicions de temperatura i pressió dins el cilindre son molt variables en tot moment, fet que provocaria un estudi inviable. Tant per l'obtenció de les condicions de contorn exactes en tot moment, com pel temps de càlcul que necessitaria el CFD.

El resultat esperat és comprovar l'aerodinàmica d'aquests conductes, les condicions atorgades, serà el d'una depressió o pressió fixa, que farà circular la quantitat d'aire semblant al moment del funcionament del motor.

La resta de condicions seran les normalitzades, sempre treballant amb valors relatius, per tant tenir amb compte en el moment dels càlculs.

5.3.-Assignació del materials:

El fluid el considerarem Aire compressible, a temperatura ambient.

El Sòlid serà Alumini.

5.4.- Moviment

El funcionament d'un banc de flux és estudiar la resistència al pas de l'aire a través de la culata en funció d'una obertura de vàlvula fixa, per tant per cada obertura serà un estudi independent. El programa ens permetrà utilitzar el mateix model per cada obertura de vàlvula. Tal i com s'observa a la figura 16, aquest serà el model utilitzat per tots els estudis dels sistema d'admissió, només variant les obertures de la vàlvula.

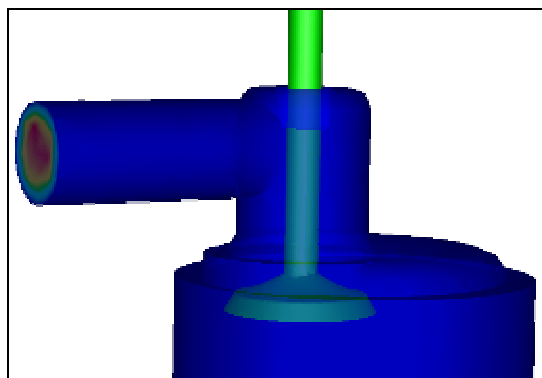


Fig 16.- Imatge del sistema d'admissió amb una obertura de vàlvula de 4 mm extreta del CFD

5.5.- Mallat:

Serà realitzat en dos passos, amb la finalitat d'aconseguir el millor temps de càlcul possible, i juntament amb dades fiables dels punts més crítics per l'estudi.

1.- *Mallat per Volums*, on tindrem el fluid i la vàlvula, aquests els mallarem relativament grans.

2.- *Mallat per cares*, mallarem les zones on el fluid haurà de passar per zones molt estretes, és a dir en la zona de la base de la vàlvula i el seient d'aquesta, tal i com s'observa a la figura 1. En aquestes zones utilitzarem un mallat molt fi.

Tal i com observem a la figura 17, obtindrem un mallat de diferent grandària en funció de l'àrea de pas que disposarà el fluid en circular per cada zona del sistema.

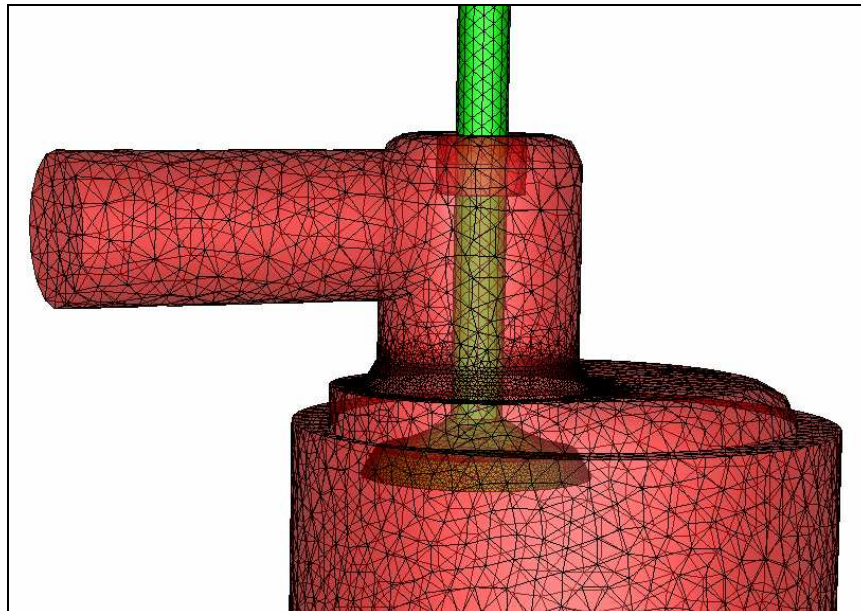


Fig 17.- Mallat del sistema d'admissió amb una obertura de vàlvula de 4 mm estreta del CFD

5.6.- Anàlisis o càlcul

Es realitzarà un anàlisis de 100 iteracions, les iteracions realitzades a cada assaig han de ser el mateix. Per definir el nombre de passos que utilitzarem, ho farem gràcies al gràfic de resultats que ens dona el CFD i que es mostra a la figura 18, aquest gràfic ens mostra tots els paràmetres que intervenen en l'estudi, i podrem considerar que l'estudi és fiable, quan aquests paràmetres estiguin estabilitzats.

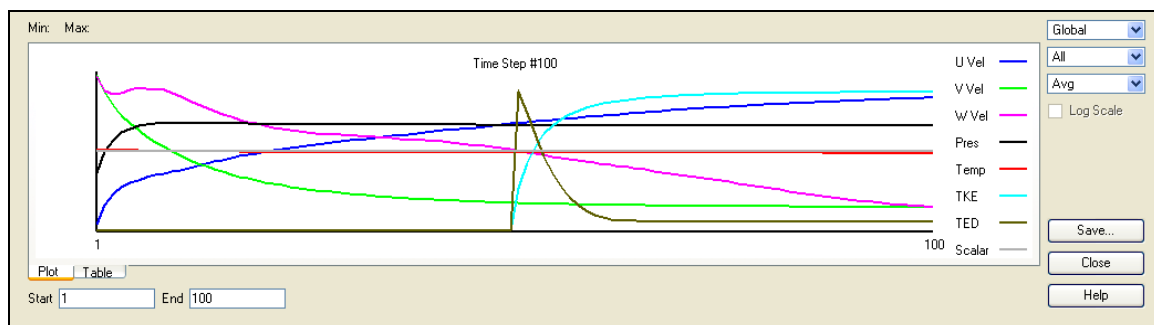


Fig 18- Gràfic de convergència de paràmetres extret del CFD

5.7.- Presa de dades

La gran avantatge dels programes CFD serà aquest pas, la presa de dades. Es un procés còmode, senzill, precís que el podem obtenir en format gràfics i de tots els punts de l'element estudiat. Aquest últim factor ens serà molt important per veure quins son els punts crítics i com es podrien modificar.

En els anàlisis s'utilitza bàsicament un tipus de presa de dades, anomenat tall. Aquest ens permet crear un pla que talla la secció a estudiar, i ens permet veure a temps real els valors mitjos dels paràmetres. Per tant, per al nostre estudi realitzarem tres talls o plans de mesura, un en l'entrada del fluid, el segon en la sortida del fluid, i el tercer serà un pla utilitzat per la visualització dels resultats mitjançant vectors i colors. Tal i com s'observa a la figura 19.

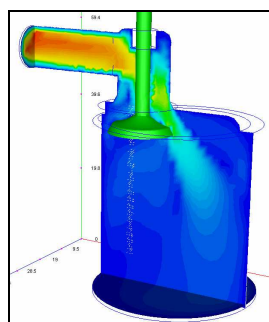


Fig 19.- Visualització dels talls de visualització de resultats del CFDDesign

6.- ANÀLISI DE LA CULATA DEL MOTOR HONDA GX35

En aquest punt es mostra el desenvolupament de la teoria exposada anteriorment, amb el fi d'aconseguir obtenir els valors d'eficiència de la culata, tant en el sistema d'admissió com d'escapament mitjançant les tècniques CFD.

La culata estudiada, és la de l'actual motor Àliga EPS-UdG, model Honga Gx35 sense modificacions importants. Per la realització de l'estudi de la culata, seguirem els passos descrits anteriorment, es dividirà en dues grans parts, amb grans analogies entre elles, el sistema d'admissió, i l'estudi del sistema d'escapament.

6.1.- El sistema d'admissió:

La primera part estudiada serà l'admissió, per la realització d'aquest seguirem 3 passos bàsics, (estudi geomètric, realització de l'estudi i presa de dades amb el CFD, i el càlcul de l'eficiència) tots ells descrits en la memòria i ampliat en els annexos.

1.- Estudi geomètric de la culata actual

2.- Realització de l'estudi i presa de dades

3.- Resultats gràfics i numèrics del sistema d'Admissió

Un cop realitzats aquest tres passos, ja tenim avaluada l'eficiència d'entrada al cilindre de la geometria utilitzada actualment. El següent pas serà l'anàlisi d'aquests resultats per la realització de millores en el model estudiat, aquest seria el quart pas.

4.- Proposta de millores.

Un cop localitzats els punts per millorar el disseny, es modificarà el model i es tornaran a realitzar els 3 passos de l'anàlisi.

5.- Repetició de l'estudi (els 3 passos) per a cada millora.

El cinquè pas es repetirà tantes vegades com sigui possible, fins que creiem que la millores són suficients, i es passarà al sisè pas que serà la comparació dels resultat obtinguts.

6.- Comparació de resultats i elecció del model a utilitzar.

A continuació es desenvolupen els passos descrits, per la realització de l'estudi del sistema d'admissió del motor Honda:

6.1.1.- Estudi de la geometria:

Seguint els passos que es troben a l'Annex C, obtindrem les dades necessàries sobre la geometria de culates i vàlvules necessaris per la realització dels càlculs numèrics del coeficient de descàrrega.

6.1.1.1.- Estudi dels conductes d'Admissió:

El primer pas es la realització del càlcul del coeficient de port (C_m), aquest coeficient ens orienta sobre quina és la relació entre l'àrea del port d'admissió i l'àrea de les diferents vàlvules que aquest port ha d'alimentar.

Actualment els motors disposen d'un port d'admissió, però tenen més d'una vàlvula per alimentar, aquest coeficient ens indicarà quina és la relació entre aquestes dues àrees.

En el cas del motor Honda, només es disposa d'un sol port per la vàlvula d'admissió, esquema del disseny a l'Annex A.1, per tant el coeficient del port el calcularem tal i com s'expressa a l'equació 3. Les dades i el càlcul son mostrats a la taula 1.

$$C_m = \frac{A_{port}}{A_{pt}} \quad (\text{Eq. 3})$$

On: A_{port} : àrea del port entrada.

A_{pt} : àrea efectiva del port just avanç de la vàlvula. => $(\cos - tija)$

Øentrada [mm]	Aport [mm ²]	Dip [mm]	Dst [mm]	Apt [mm ²]	Cm
10,00	78,53	13,60	3,47	135,81	0,58

Taula 1.- Dades geomètriques del port d'Admissió i càlcul del coeficient del port d'admissió de sèrie.

El coeficient menor que 1, ens indica que el port d'entrada és més petit que l'àrea útil abans d'arribar a la vàlvula, aquest fet pot provocar restriccions a l'entrada del fluid, ja que podem tenir una àrea de pas major que la del port d'entrada.

6.1.1.2.- Estudi de la vàlvula d'admissió.

La geometria d'aquesta vàlvula és fonamental, la seva obertura formarà l'àrea de pas disponible pel fluid. Per tant el càlcul d'aquest àrea d'una manera precisa és molt important per quantificar correctament l'eficiència d'aquesta. La vàlvula d'admissió utilitzada en el sistema d'admissió de sèrie la veiem representada a l'Annex A.2.

Hi ha formules aproximades que molts de llibres utilitzen, però no s'aconsella utilitzar-les. Per fer-nos una idea, el càlcul aproximat d'aquestes àrees ens ha donat un error mig aproximat del 50% entre l'àrea real i la calculada aproximadament, error que no ens podem permetre.

L'explicació detallada i els càlculs realitzats es troben a l'annex C. En resum, en obrir-se la vàlvula aquesta deixa una àrea de pas entre ella i la base de la culata. Hi ha una distància en què aquesta àrea és perpendicular a la culata, però superada aquesta, la distància ja no és perpendicular i la fórmula del càlcul canviarà. Aquesta distància l'anomenarem L_{lim} , i per la vàlvula actual del motor Honda és 2,37mm.

Tal i com s'observa a la taula 2, l'àrea de pas que disposarà el fluid en funció de les diverses obertures de vàlvula. Els valors d'obertura en vermell no seran operatius, ja que el motor treballa amb una obertura de vàlvula màxima de 2,97 mm.

L [mm]	At [m2]
0,00	0,00E+00
0,50	1,09E-05
1,00	2,20E-05
1,50	3,36E-05
2,00	4,54E-05
2,50	5,77E-05
3,00	7,34E-05
3,50	7,85E-05
4,00	7,85E-05
4,50	7,85E-05
5,00	7,85E-05
5,50	7,85E-05
6,00	7,85E-05

Taula 2.- Àrees de pas del sistema d'admissió de sèrie en funció de l'obertura de la vàlvula

La figura 21 ens mostra les diferents àrees de pas, A_t , en funció de cada obertura de vàlvula. En color lila s'observa l'àrea real de pas que tindrà el fluid per una obertura de vàlvula de 0 a 6mm.

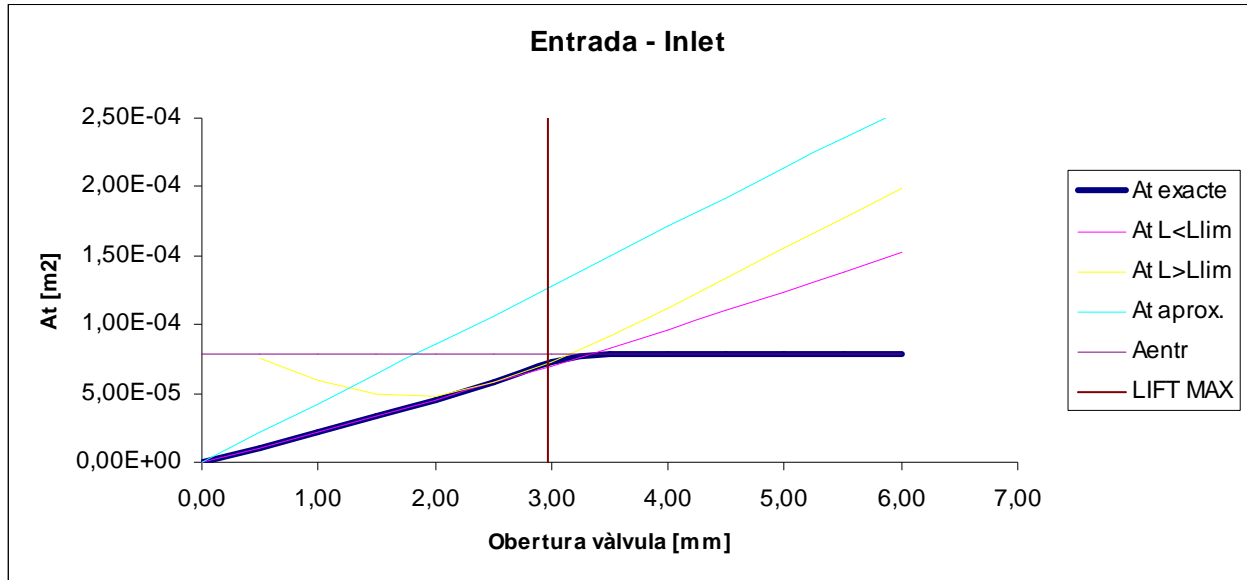


Figura 20.- Àrees de pas del sistema d'admissió de sèrie en funció de l'obertura de la vàlvula

En color turquesa seria utilitzant el càlcul aproximat realitzat a l'annex C.3 de càlculs, com podem observar és totalment inviable utilitzar aquest valors degut al gran error que hi ha.

La línia transversal del dibuix ens mostra l'obertura màxima de vàlvula amb el funcionament del motor Honda, exactament 2,97 mm.

La línia horitzontal ens mostra l'àrea del port d'entrada, aquesta ens diu l'àrea màxima de pas que podrà tenir el fluid. En un primer moment i coneixent el funcionament d'un motor 4T, la gent pensa que amb una obertura superior de vàlvules gràcies a la modificació dels arbres de lleves, obtindran un major rendiment, però no és del tot cert, ja que en moltes ocasions l'àrea màxima de pas serà l'àrea del port d'entrada.

Per tant veient el gràfic, ens mostra que el port d'entrada seria gairebé igual a l'àrea de l'obertura màxima de la vàlvula. Aquest fet ens donaria que el port d'entrada està ben dimensionat, pel rang d'obertures al qual treballa aquest motor.

6.1.2.- Simulació i presa de dades:

Un cop realitzat l'estudi complert, es realitzaran les preses de dades del CFD, per cada una de les obertures de vàlvula estudiades, i es crearà una taula on es mostrin tots els valors extrets ,Tal i com es mostra a taula 4.

L [mm]	Qe [kg/s]	Qs [kg/s]	VFre [m3/s]	VFRs [m3/s]	Ve [m/s]	Vs [m/s]	Te [K]	Ts [K]	Pre [Pa]	Prs [Pa]
S/V	1,30E-02	1,30E-02	1,03E-02	1,15E-02	134	10,20	279	292	-1,36E-15	-7000
0,5	2,98E-03	3,09E-03	2,47E-03	2,76E-03	32	2	292	293,14	-4,78E-17	-7000
1	4,70E-03	4,88E-03	3,87E-03	4,35E-03	51	3,84	290,67	293	-8,72E-17	-7000
1,5	6,43E-03	6,67E-03	5,26E-03	5,95E-03	69	5	289	293,11	-1,30E-16	-7000
2	7,25E-03	7,55E-03	5,90E-03	6,74E-03	77	6	287	293,10	-1,51E-16	-6999
2,5	8,18E-03	8,51E-03	6,62E-03	7,59E-03	87	6,70	286	293	-1,76E-16	-6999
3	8,53E-03	8,88E-03	6,90E-03	7,92E-03	90	7	285	293,08	-1,84E-16	-6999
3,5	9,14E-03	9,51E-03	7,36E-03	8,48E-03	96	7	284	293,08	-2,00E-16	-6999
4	9,59E-03	9,99E-03	7,70E-03	8,91E-03	101	8	283	293,02	-2,11E-16	-6998
6	9,76E-03	9,71E-03	8,02E-03	8,64E-03	104	8	290	299	-2,60E-16	-6998

Taula 4.- Taula dades obtingudes a partir de la simulació amb el CFD de l'admissió de sèrie del motor Honda Gx35

La presa de dades del programa ens vindrà definida pel tall d'admissió, que en aquesta taula seran tots els valors (e) d'entrada, i pel tall dins el cilindre, anomenat (s) de sortida. A la figura 21, es poden veure els talls de presa de mesures.

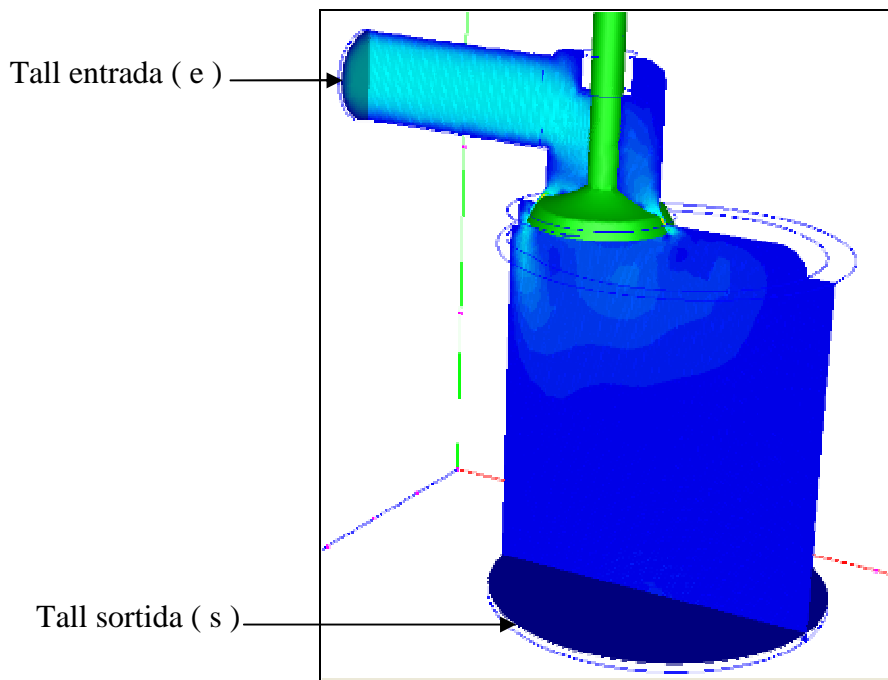


Figura 21.- Talls en el sistema d'admissió utilitzats per la presa de dades

6.1.3.- Resultats gràfics i numèrics del sistema d'Admissió.

Treballant sobre les dades experimentals preses del CFD, combinades amb les dades geomètriques del conductes i les vàlvules. Podrem obtenir el Coeficient de descàrrega de cada geometria en funció de la seva obertura de vàlvula.

El primer pas serà calcular el cabal màssic ideal que circularia per un conducte amb la mateixa àrea de pas que disposa el fluid en el motor, tal i com s'expressa a l'equació 4.

$$\dot{Q}_{ideal} = \frac{(P_{sortida} \times A_t \times C_s)}{\sqrt{R_{gas} \times T_{sortida}}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Un cop calculat aquest cabal, ens quedarà comparar-lo amb el cabal real que circula pel sistema d'admissió per l'obtenció del coeficient de descàrrega, tal i com ens mostra a l'equació 5.

$$Cd = \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{Q}_{ideal}} \quad (\text{Eq. 5})$$

La visualització d'aquests resultats es mostren a la taula 5, on també hi podem veure adjunts els resultats de l'Àrea real de pas que disposa el fluid.

L [mm]	Qid [kg/s]	At [m2]	Cd(id)
S/V	0,017278739	7,85E-05	0,75
0,5	0,01724313	1,09E-05	0,18
1	0,017243453	2,20E-05	0,28
1,5	0,017244042	3,36E-05	0,39
2	0,01724451	4,54E-05	0,44
2,5	0,017244677	5,77E-05	0,49
3	0,017245053	7,34E-05	0,52
3,5	0,017245081	7,85E-05	0,55
4	0,017246967	7,85E-05	0,58
6	0,01707356	7,85E-05	0,57

Taula 5.- Taula resultats efectivitat sistema Admissió de sèrie

Es interessant realitzar l'estudi amb el port sense culata, així ens podrem fer una idea de fins a quin punt influeix la geometria del conducte. A la taula, mostrem aquest resultat amb el valor d'obertura de vàlvula S/V. Analitzant aquest resultat, ja podem veure que la geometria dels ports del motor Honda no són dissenyats per obtenir grans rendiments, ja que el conductes ens provoquen unes pèrdues aproximades d'un 25%, respecte un conducte ideal.

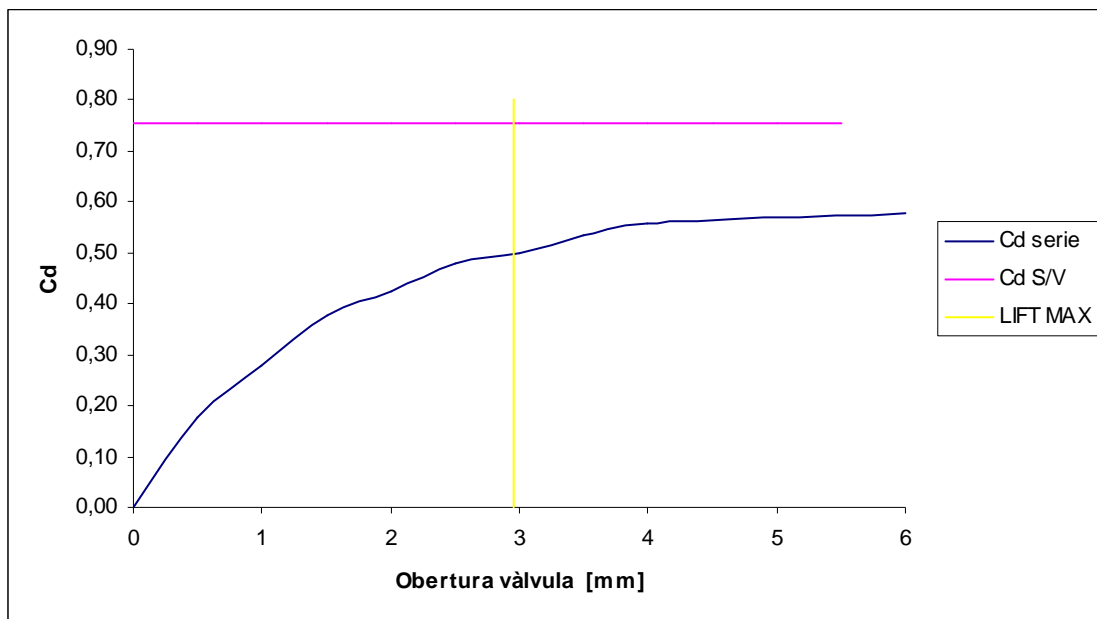


Fig. 22.- Gràfic dels resultats de l'efectivitat del sistema d'admissió de sèrie

Tal i com s'observa a la figura 22, en color blau es mostra el Cd en funció de l'obertura de la vàlvula. En groc, s'observa l'obertura màxima en que treballa el motor, per tant l'eficiència màxima de càrrega d'aquesta culata serà d'un 50%, molt baix comparat amb els motors actuals que aconsegueixen valors del 80-90%.

Una segona conclusió del gràfic, és que amb el sistema actual, no aconseguiríem gairebé millores un cop superada l'obertura màxima amb la que treballa el motor. Els conductes del motor de sèrie Honda tenen una geometria amb un colze de 90°. Aquest fet ja fa pensar que aquest no pot tenir un rendiment gaire alt.

Tal i com mostra la figura 23, el fluid xoca perpendicularment sobre la tija de la vàlvula, es desvia, i la gran part de flux, travessa la vàlvula aprofitant només mitja vàlvula, vist en més detall a la figura 24. Els dissenys dels motors, en que preval molt l'eficiència, els ports son inclinats i les vàlvules també, per afavorir a que no es produeixi una pèrdua tant elevada per aquest motiu.

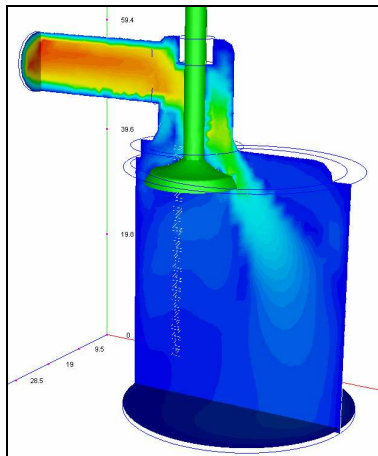


Fig. 23.- Imatge de les carències aerodinàmiques de l'admissió de sèrie

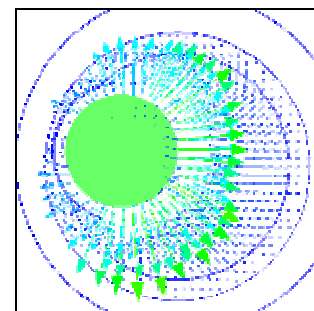


Fig. 24.- Vista en detall de la base de la vàlvula on s'aprecien els vectors de velocitat que travessen la vàlvula

6.1.4.- Proposta i estudi de les millores en el l'Admissió

Estudiarem dues millores, pel que fa als sistema d'Admissió del motor. Una millora serà intentar buscar una major àrea de pas, i la següent buscar una millora aerodinàmica. Totes les geometries s'han fet tenint en compte les restriccions geomètriques que presenta el motor Honda. S'ha de tenir en compte que és un motor molt compacte, i que les modificacions que ens permet realitzar sobre ell son molt petites.

6.1.4.1.-Entrada modificada 1 i vàlvula de sèrie

La primera millora és encarada a aconseguir un coeficient de port igual a 1, i mirar quines diferències de cabals obtenim gràcies a aquest factor. Per l'obtenció del coeficient de port igual a 1, hem de engrandir el port d'entrada fins a 13,5 mm de diàmetre, mentre el port d'entrada del motor de sèrie feia 10 mm.

A l'Annex A.3 es mostra l'esquema de la geometria del conducte d'admissió modificat 1 i la vàlvula de sèrie la podem observar a l'annex A.2. El conjunt utilitzat per la simulació serà tal i com ens mostra la figura 25, on veiem el fluid modificat 1 amb la vàlvula de sèrie.

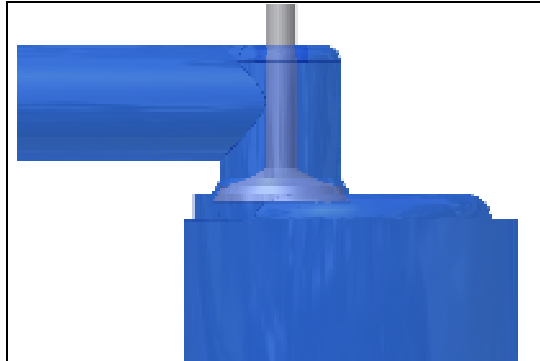


Fig. 25.- Conjunt sistema d'admissió modificat 1, format pel fluid modificat 1 i la vàlvula de sèrie

Es tornen a repetir els passos realitzats amb l'estudi del sistema d'admissió de sèrie, però utilitzant les geometria del sistema d'admissió modificat.

1.- Estudi geomètric de l'admissió modificada 1.

Sense entrar en detalls, tal i com s'observa a la figura 26, en augmentant el port d'entrada aconseguim augmentar l'àrea de pas que disposarà el fluid, però a partir d'obertures superiors al rang d'operació del motor actual. Per tant, aquesta millora, pot ser destinada a ser realitzada si el que es vol fer és augmentar l'obertura màxima de la vàlvula d'admissió.

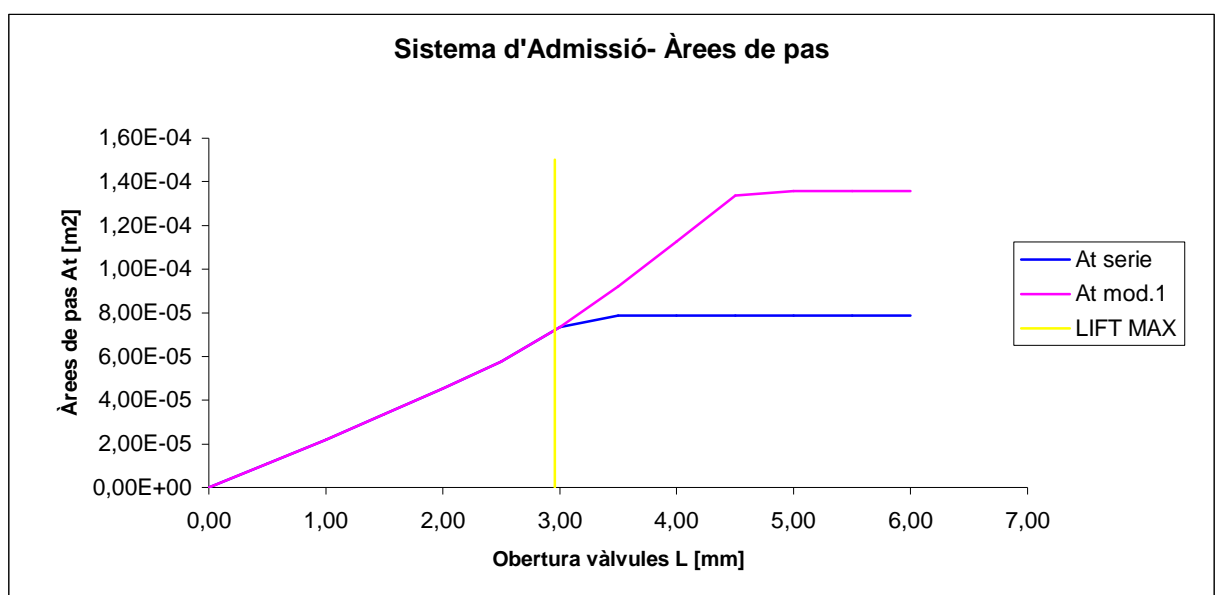


Fig. 26.- Gràfic comparatiu entre les àrees de pas entre els sistemes d'admissió modificat i el de sèrie

2.- Realització de l'estudi i presa de dades.

Les dades experimentals de la simulació, es poden observar a l'Annex F.1.2, on s'exposen tots el resultats dels estudis.

3.- Resultats gràfics i numèrics del sistema d'Admissió

Els resultats numèrics del sistema d'admissió modificat 1, es poden observar a l'Annex F.2.2. En forma gràfica el coeficient de descàrrega del sistema modificat 1 es mostrat a la figura 26. Es pot observar que el coeficient màxim que podem obtenir serà de 0,56, mentre que el coeficient del port de sèrie era de 0,52. Una millora molt discreta, però esperada, per contra per una obertura de 6 mm, obtenim un coeficient de 0,65, mentre que per la mateixa obertura amb el conducte de sèrie dona 0,58.

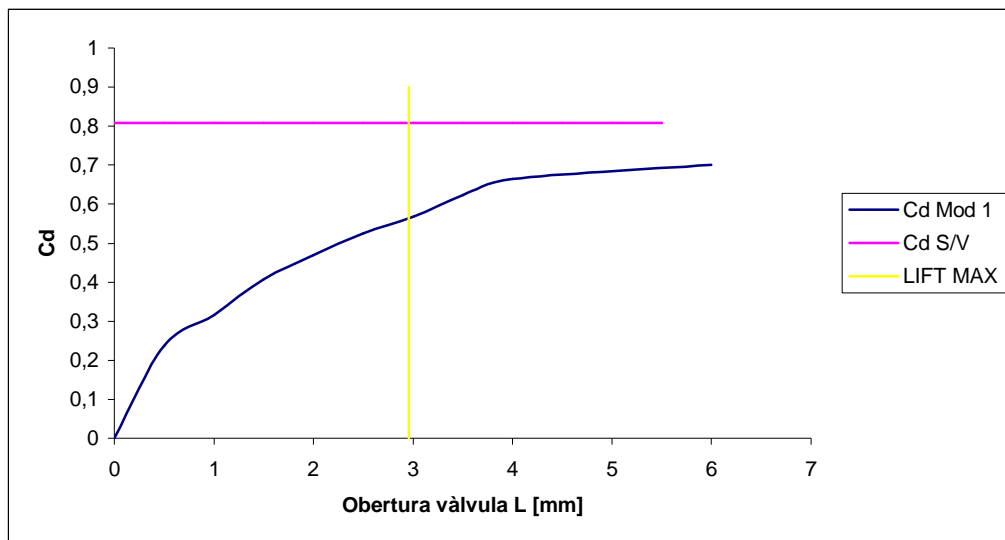


Fig. 27.- Coeficient de descàrrega del sistema d'admissió modificat 1.

Per tant es compleix el resultat esperat, per obertures petites s'obtindran resultats molt similars, però a partir de l'obertura màxima actual, el coeficient del port modificat continuarà pujant gràcies a l'ampliació del port d'entrada, mentre que el motor de sèrie no passava.

6.1.4.2.-Entrada modificada 2 i vàlvula de modificada

La segona millora és encarada aconseguir una millora aerodinàmica, dins les grans limitacions que té el motor, i mantenir l'anterior modificació aconseguint un coeficient de port igual a 1.

A l'Annex A.4 es mostra l'esquema de la geometria dels conducte d'admissió modificat 2 i en l'Annex A.5 la vàlvula modificada, components utilitzats en el conjunt del sistema d'admissió modificat 2. El conjunt resultant per a la simulació es tal i com es mostra a la figura X.

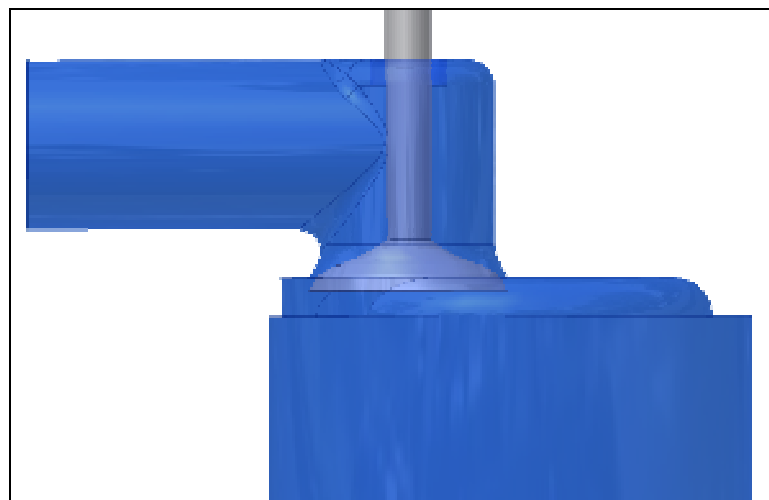


Fig. 28.- Conjunt del sistema d'admissió modificat 2 importat al CFDesign.

Observant els resultats gràfics obtinguts dels estudis del sistema d'admissió de sèrie s'observa com la principal restricció del disseny és el colze de 90° dels conductes d'admissió. Una opció seria donar inclinació al conducte d'admissió, però aquesta opció seria inviable de cares a portar-la a terme al motor real.

Al no ser possible s'ha optat per estudiar els punts on el fluid pateix canvis de seccions brusques, o la creació de remolins. Es modificaran quatre punts crítics del disseny de sèrie, tal i com s'observa a la figura 29.

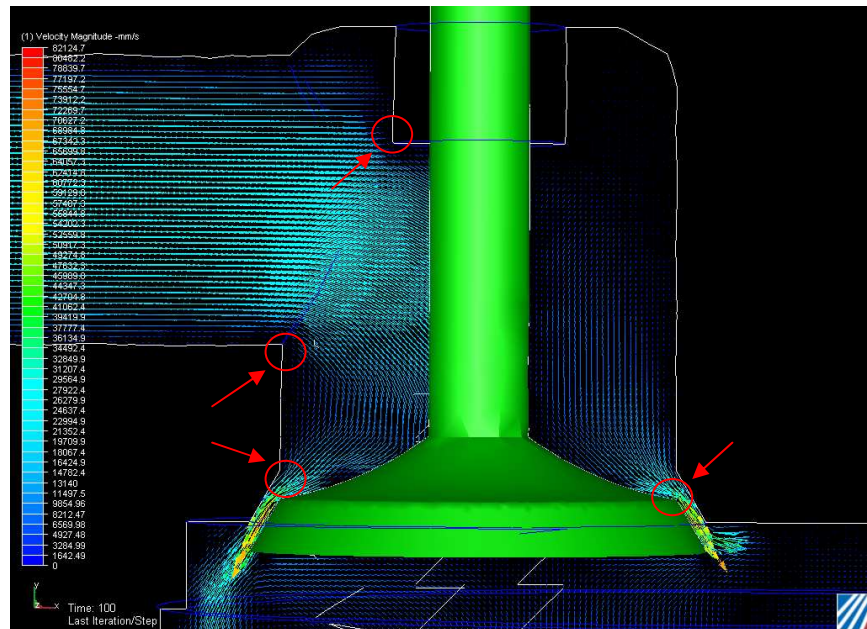


Fig. 29.- Simulació del sistema d'admissió de sèrie amb una obertura de 0,5mm, localització dels punts crítics.

Els canvis ja realitzats, ens donaran una circulació més fluida sense remolins i amb els canvis de secció de forma més gradual. Tal i com s'observa la figura X, son els resultats vectorials de la simulació realitzada sobre el sistema d'admissió modificat 28.

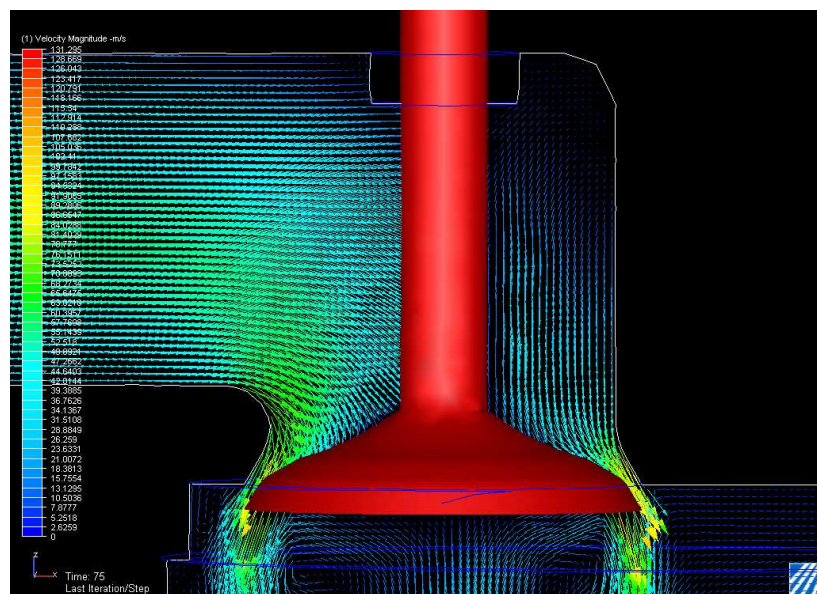


Fig. 29.- Simulació del sistema d'admissió modificat 2 amb una obertura de 0,5mm visualització de les millores

Es pot observar clarament les diferències entre un disseny i l'altre, les geometries del sistema modificat, són més aerodinàmiques i ajuden a atenuar els remolins, i el pas per la vàlvula podrà ser més fluid. Tal i com es mostra a la figura 30, es veu la diferència entre el comportament del fluid en circular a través de la vàlvula de sèrie o la modificada.

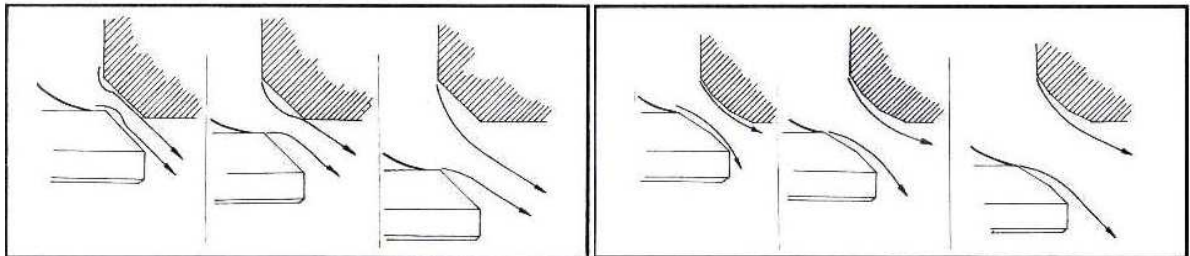


Fig. 30.- Comportament del fluid en travessar una vàlvula de sèrie o una modificada

Aquestes millores es veuen amb l'increment del coeficient de descarrega, superant el 0,60 per l'obertura màxima de treball del motor, tal i com s'observa a la figura 31. El coeficient del port sense vàlvula ha pujat fins a un 0,95, fet que ens mostra una millora molt important en l'aerodinàmica del port d'admissió.

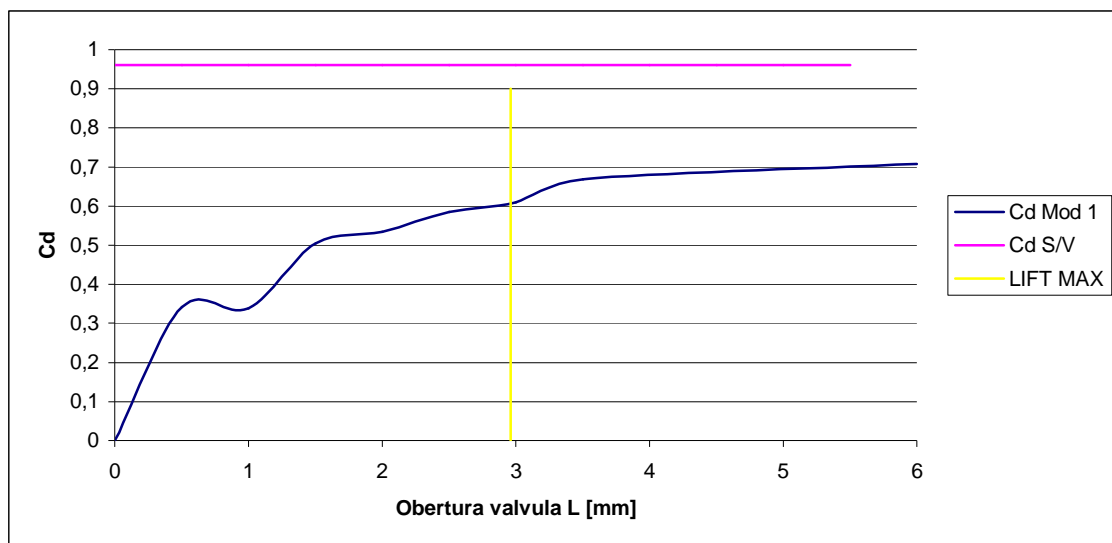


Fig. 31.- Taula de l'eficiència del sistema d'admissió modificat 2.

6.1.4.2.- Comparacions dels resultats.

El gràfic més utilitzat quan es fan estudis d'aquest tipus per observar quin model és el més idoni, es fer la comparació del cabal volumètric que entra dins al cilindre, per les diferents obertures de vàlvula, realitzant l'assaig amb les mateixes condicions de contorn.

Aquest es el nostre cas, hem estudiat les tres culates al banc de fluxe, amb les mateixes condicions de contorn, fet que ens permet comparar directament quina d'elles serà més efectiva. Tal i com s'observa a la figura 32, es compara el cabal volumètric d'entrada de cada una de les culates. També s'hi veu reflectida l'obertura màxima la qual treballa el motor.

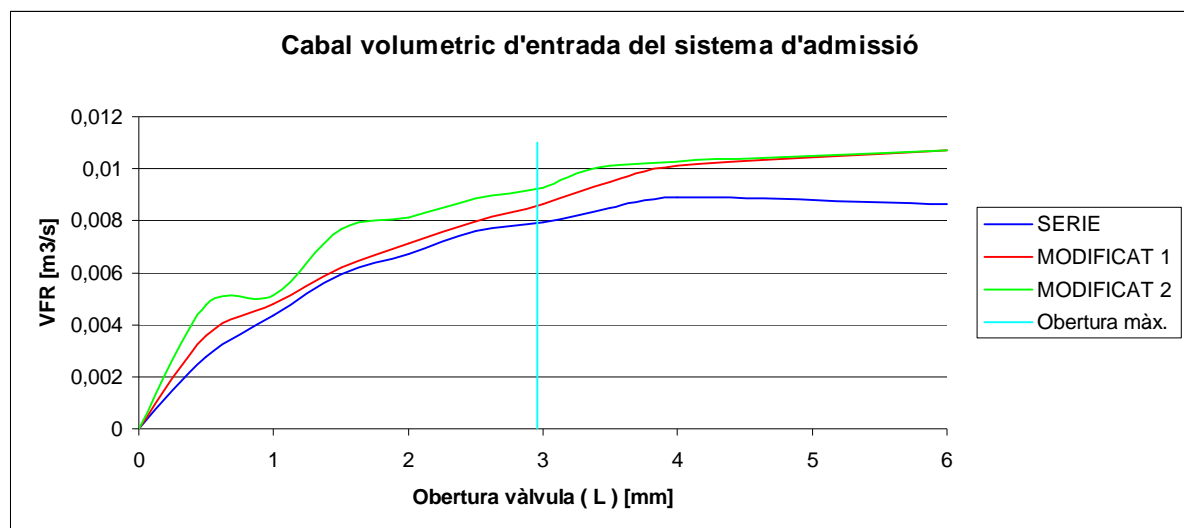


Fig. 32.- Gràfic comparatiu dels cabals volumètrics d'entrada de cada sistema estudiat

La conclusió que se n'extreu del gràfic és l'esperada, per cada millora obtenim un major cabal d'entrada de fluid, fet que provocaria una millora en l'eficiència volumètrica del motor.

La modificació 1, l'augment del port d'entrada, ens proporcionarà un augment del cabal d'entrada considerable per obertures superiors a 3 mm, per tant seria una modificació a realitzar si es volgués ampliar l'obertura de la vàlvula.

La modificació 2, les millores aerodinàmiques dels punts crítics, ens permeten guanyar especialment en el rang de baixes obertures, més interessant per aplicar a qualsevol motor per obtenir un augment de cabal sense retocar les obertures de vàlvula.

Un gràfic molt similar és el que ens mostra el coeficient de descàrrega per cada obertura de vàlvula, tal i com s'observa a la figura 33. Aquest reflecteix l'efectivitat del sistema a primer cop d'ull, ens permet fer comparacions d'estudis realitzats amb diferents condicions de contorn.

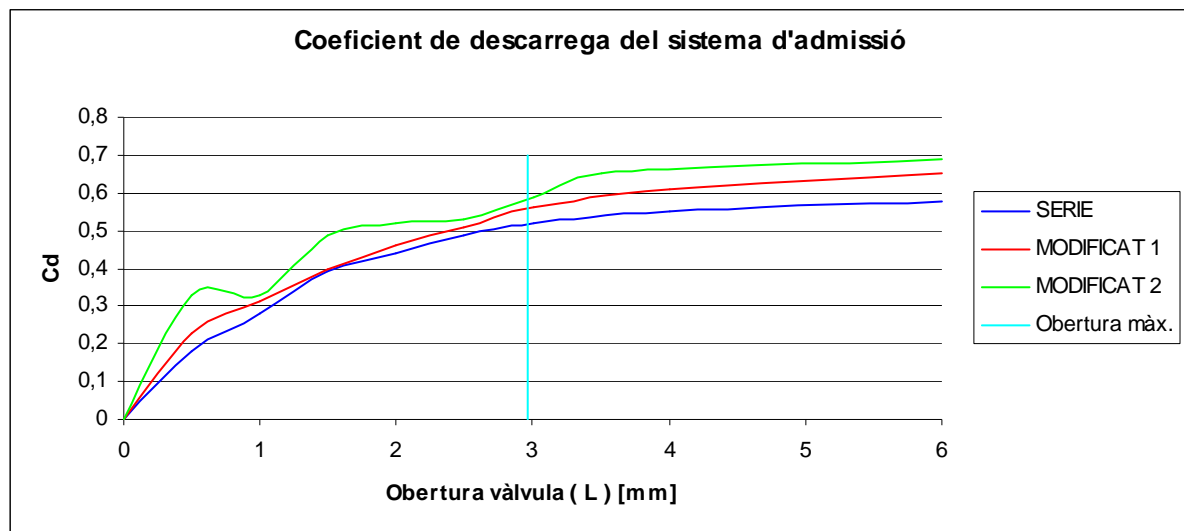


Fig. 33.- Gràfic comparatiu dels coeficients de descàrrega dels sistemes estudiats

Podem observar com els coeficients de descàrrega també coincideixen amb la millora de cada disseny. El coeficient màxim del sistema d'admissió de sèrie serà de 0,52, valor molt allunyat als 0,80-0,90 que aconsegueixen els motors actuals. Amb la realització de les millores tant en els conductes com en les vàlvules, s'aconsegueix assolir el valor de 0,59. Aquest fet ens mostra que no es rentable treballar sobre el motor actual per intentar disminuir el consum, ja que és un motor molt limitat i les modificacions ens permeten petits guanys, però mai és podria arribar als valors que es pretenen amb un vehicle concursant de l'Eco-Shell.

Tal i com ens mostra la figura 34, es interessant realitzar la comparació del cabal d'entrada del sistema d'admissió sense vàlvula, aquest fet ens permetrà orientar-nos de l'aerodinàmica dels conductes, independentment de la vàlvula utilitzada.

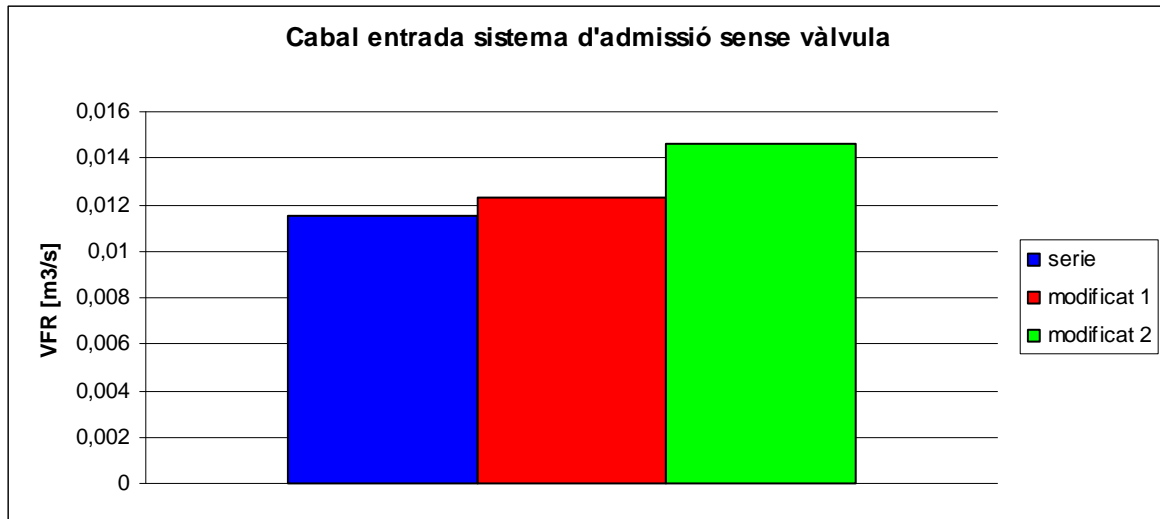


Fig. 34.- Gràfic comparatiu dels cabals volumètrics d'entrada dels sistemes estudiats

La conclusió es clara, amb les modificacions realitzades sobre els ports és molt més efectiu millorar l'aerodinàmica com en el cas del conducte modificat 2, que no l'engrandiment dels ports com el conducte modificat 1, que obté un petit augment respecte la geometria de sèrie.

Gràcies a les dades experimentals extretes del CFD i mostrades a l'annex F, és interessant comparar les velocitats d'entrada del fluid. Una velocitat d'entrada del fluid elevada, ens permet una bona conservació de la mescla, i un bon emplenat final del cilindre gràcies una major energia cinètica. Per tant serà interessant crear el gràfic de comparació de velocitats d'entrada de cada model estudiat, tal i com es mostra la figura 35.

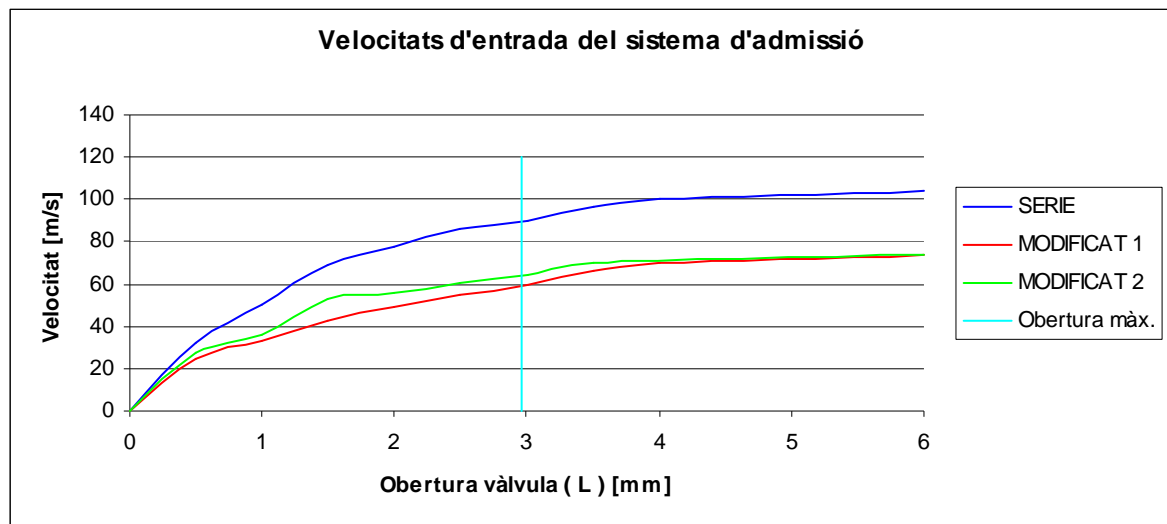


Fig. 35.- Gràfic comparatiu de les velocitats d'entrada dels sistemes estudiats

El gràfic ens mostra el sacrifici de velocitat a l'entrada degut a l'augment de les dimensions dels ports. Veiem que el sistema més desfavorable dels tres pel que fa a velocitat es el modificat 1, ja que perdem molta velocitat per obtenir un petit augment del coeficient de descarrega.

En conclusió, no solament s'ha de tenir en compte el cabal d'entrada alhora de seleccionar els ports i les vàlvules d'una culata sinó que hi intervenen més factors. Un coneixement de la dinàmica de fluids en l'admissió i l'escapament, exposada a l'annex D, ens permetrà interpretar correctament els resultats i tenir un major criteri de seleccionar una geometria adequada a les necessitats reals.

6.2.- El sistema d'escapament

La segona part estudiada es el sistema d'escapament, per la realització d'aquest seguirem els mateixos passos realitzats sobre el sistema d'admissió, només amb petites variacions.

- 1.- *Estudi geomètric de la culata actual*
- 2.- *Realització de l'estudi i presa de dades.*
- 3.- *Resultats gràfics i numèrics del sistema d'Admissió*
- 4.- *Proposta de millores.*
- 5.- *Repetició de l' estudi (els 3 passos) per a cada millora.*
- 6.- *Comparació de resultats i elecció del model a utilitzar.*

A continuació es desenvolupen els passos descrits esquemàticament, remarcant variacions que tindran respecte al sistema d'admissió.

6.2.1.- Geometria del Sistema

Es realitzarà el càlcul geomètric dels conductes de sèrie, mostrats a l'annex d'esquemes A.6, i la vàlvula de sèrie mostrada a l'annex A.7. Un cop realitzats els càlculs a l'annex C.3.3 obtenim un coeficient de port de 1 i les àrees de pas en funció de les obertures, tal i com s'observen a la figura 36.

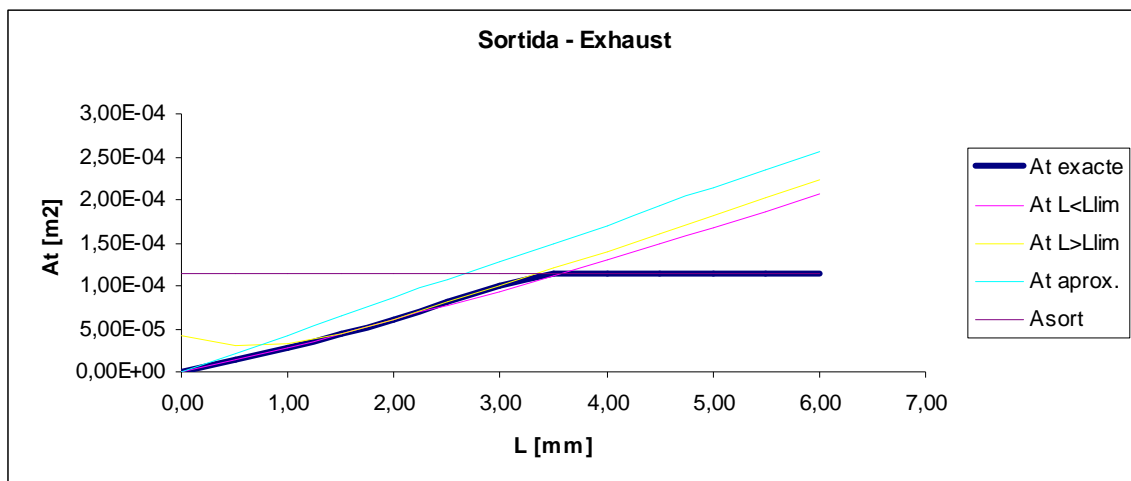


Fig. 36.- Àrea de pas del fluid del sistema d'escapament de sèrie

6.2.2.- Simulació i presa de dades.

Un cop realitzat l'estudi complet d'escapament, es realitzaran les preses de dades del CFD, per cada una de les obertures de vàlvula estudiades, i es crearà una taula on es mostrin tots els valors extrets, Tal i com s'observa a la taula 5. La diferència entre la presa de dades de la simulació del sistema d'admissió, serà que l'entrada, és el tall de dins el cilindre, i la sortida, el tall del port d'escapament.

L [mm]	Mid [kg/s]	Cs	At [m2]	Ain [m2]	Ate [m2]	Cd Mod 1	RATIO P	Apt [m2]
S/V	0,02650	0,68473146	1,13E-04	1,13E-04	5,52E-05	0,48	1,07	1,15E-04
0,5	0,02639	0,68473146	1,42E-05	1,13E-04	1,13E-05	0,10	1,07	1,15E-04
1	0,02640	0,68473146	2,90E-05	1,13E-04	1,54E-05	0,13	1,07	1,15E-04
1,5	0,02642	0,68473146	4,43E-05	1,13E-04	3,06E-05	0,27	1,07	1,15E-04
2	0,02646	0,68473146	6,14E-05	1,13E-04	4,69E-05	0,41	1,07	1,15E-04
2,5	0,02646	0,68473146	8,03E-05	1,13E-04	4,98E-05	0,43	1,07	1,15E-04
3	0,02649	0,68473146	9,99E-05	1,13E-04	5,42E-05	0,47	1,07	1,15E-04
4	0,02649	0,68473146	1,13E-04	1,13E-04	5,50E-05	0,48	1,07	1,15E-04
6	0,02649	0,68473146	1,13E-04	1,13E-04	5,40E-05	0,47	1,07	1,15E-04

Taula 5.- Resultats numèrics de l'estudi amb el CFDesign del sistema d'escapament del motor de sèrie.

La simulació del sistema d'escapament es realitza tots els passos seguint el mateix procés que el sistema d'admissió, només que la depressió de 0,07 bar creada dins el cilindre, aquest cop la girarem, i es crearà la depressió al port de sortida, i dins al cilindre es crearà una pressió de bar relatiu, per simular la pressió atmosfèrica. Tal i com s'observa a la figura 37, es l'esquema de la col·locació de la culata per la realització de l'estudi del sistema d'escapament.

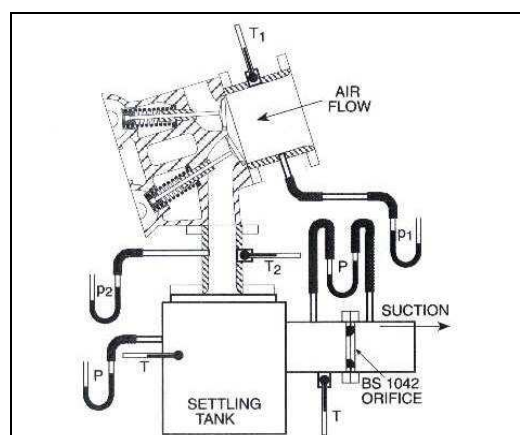


Figura 37.- Esquema de la col·locació de la culata en l'estudi real del banc de flux

6.2.3.- Resultats gràfics i numèrics del sistema d'escapament.

Un cop estudiades les dades extretes del CFD i exposades a l'annex F.2.4. Tal i com s'observa la figura 38, el sistema actual d'escapament té una efectivitat molt baixa, cal remarcar que els sistemes d'escapament solen obtenir valors inferiors que els sistemes d'admissió, però els valors obtinguts de 0,40 són realment molt baixos.

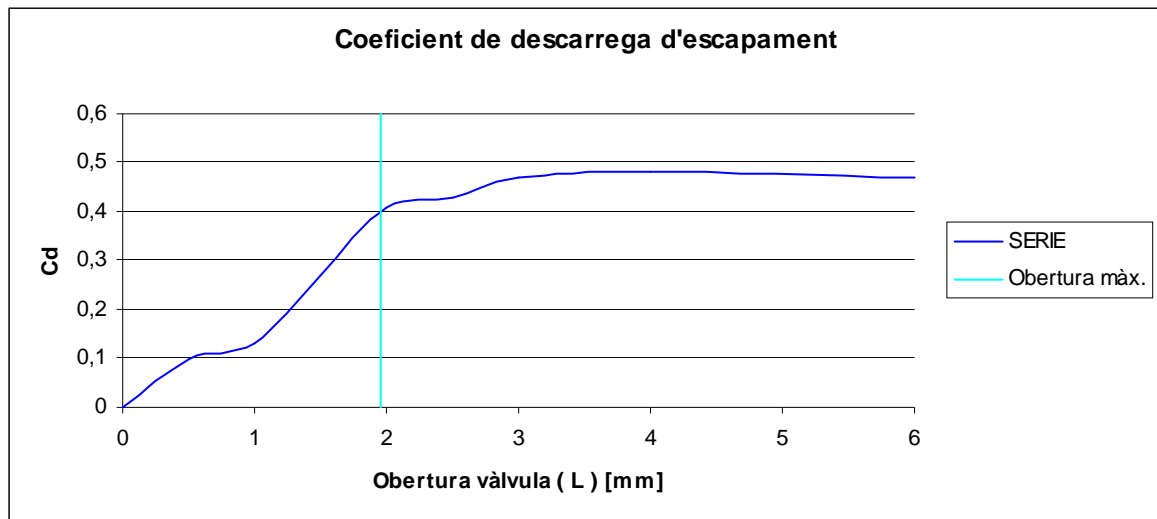


Figura 38- Coeficients de descarrega del port d'escapament del motor de sèrie

6.2.4.- Proposta i estudi de les milleres en el escapament.

Un cop analitzats els gràfics extrets del CFD, sembla que la modificació de 4 punts podria ajudar a la millora del sistema d'escapament. Per les diferents obertures, s'han detectat 4 punt crítics, tal i com s'observen a la figura X.

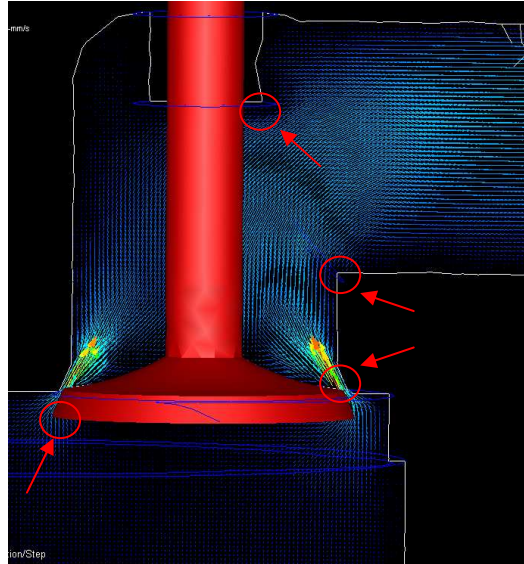


Figura 39- Imatge de la simulació de l'escapament de sèrie amb una obertura de vàlvula de 0,5mm, detecció punts crítics

Els canvis realitzats seran bàsicament la millora aerodinàmica de la vàlvula i un augment del port de sortida. Tal i com s'observa a la figura 40, s'ha optat per arrodonir els cantells vius tant de les vàlvules com del colze del port d'escapament de sèrie. Per augmentar la superfície de pas, també s'ha disminuït les dimensions dels guiadors de vàlvules.

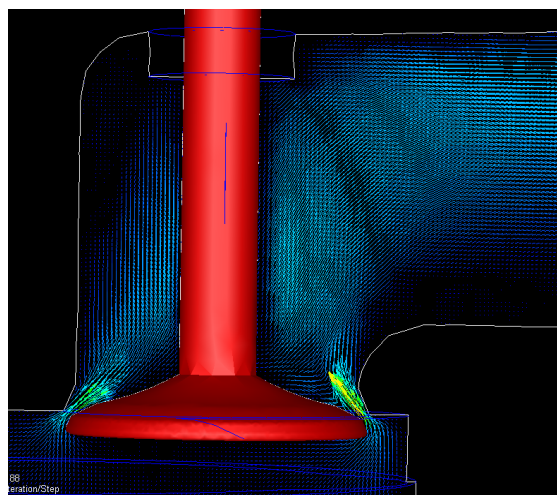


Figura 40- Imatge de la simulació de l'escapament modificada amb una obertura de vàlvula de 0,5mm, millores en el disseny

Un cop realitzat l'estudi de l'escapament, tan geomètric mostrat en l'Annex C.4, com experimental, mostrat a l'Annex F.2.1, en contra de l'esperat, no s'ha millorat el coeficient de descarrega del sistema d'escapament. Tal i com s'observa a la figura 41, el coeficient màxim que obtindrem del sistema modificat és de 0,41, el mateix valor que pel sistema d'escapament de sèrie.

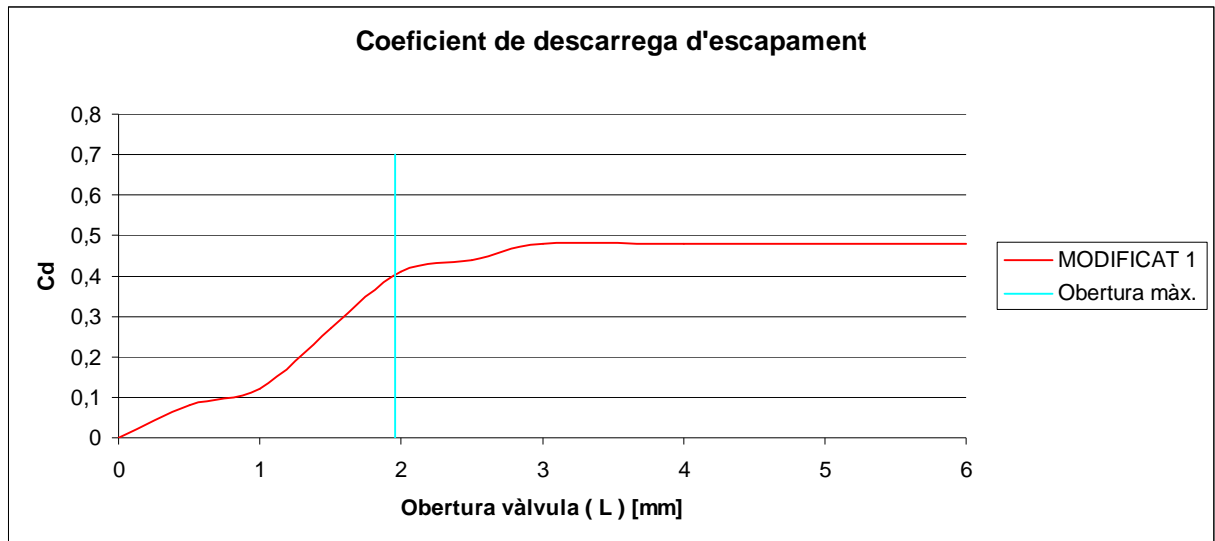


Figura 40- Coeficient de descarrega del sistema d'escapament modificat

6.2.5.- Comparacions de resultats del sistema d'Escapament.

Tal i com s'observa la figura 41, els cabals volumètrics de sortida dels sistemes d'escapament estudiats, tenen els mateixos valors amb petites variacions. Per tant, les millores que es poden dur a terme al motor no afecten a millorar el buidat del cilindre. Fet que ens mostra que les limitacions geomètriques i funcionals del motor no ens permetrien augmentar el coeficients de descarrega per l'escapament.

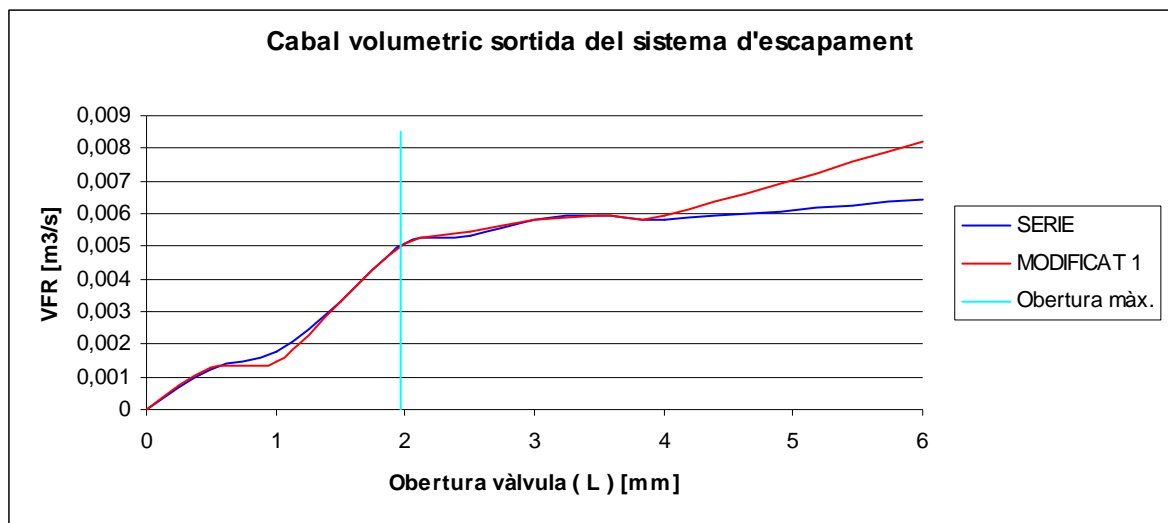


Fig. 41.- Comparació dels cabals volumètrics de sortida dels sistemes d'escapament estudiats

La resta de gràfics comparatius, es poden observar a l'annex F.3.2, on es pot observar que els resultats de velocitats i coeficients també tenen valors molt similars entre la culata de sèrie i la modificada. L'únic gràfic a destacar és la comparació dels dos conductes sense vàlvula, en el que la geometria modificada quasi dobla el cabal volumètric de sortida. Fet que no importarà ja aquesta millora dels conductes no ens ajuda a augmentar el coeficient de descàrrega.

7.- CONCLUSIONS

En primer lloc, un cop quantificats els sistemes d'admissió i escapament de la culata actual del motor Honda, observem una clara limitació pel que fa als coeficients de descàrrega obtinguts. Les millores realitzades al disseny actual han ajudat a incrementar lleugerament l'efectivitat del sistema d'admissió, però no el d'escapament. Fet que ens indica que la modificació dels ports i vàlvules actuals del motor, no son aconsellables, ja que l'augment de d'eficiència seria molt petit.

Contestant a la pregunta de l'equip Àliga EPS-UdG, ¿Cal iniciar el camí per la fabricació pròpia del motor?. Pel que fa a l'eficiència de la culata hem vist clarament que si. Per tant una eina útil per la creació d'aquest nou motor, i en concret la nova culata, es la utilització de la simulació per obtenir uns bons sistemes d'admissió i escapament. Fet que proporcionarà un estudi ràpid, visual, relativament senzill i sense la necessitat de crear models innecessaris per la realització de les proves.

Per la utilització d'aquesta eina com a únic estudi per calcular l'eficiència de la culata i substituir totalment els estudis realitzat en els bancs de flux, s'haurien de fer les comprovacions experimentals reals necessàries per validar els resultats obtinguts.

8.- RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document nº1 Memòria i Annexes

Document nº2 Pressupost

9.- BIBLIOGRAFIA

MATAIX, CLÀUDIO. Mecànica de fluidos y màquines hidràulicas. 2a edició ampliada. Ediciones del castillo. Madrid 1982.

BLAIR, GORDON P. Desing and Simulation of Four-Stroke Engines. 1a edició. Society of Automotive Engineers. Inc. Warrendale, PA, U.S.A. 1999.

BURGESS, P. & GOLLAN, D. How to build, modify and power tune Cylinder Heads. Revised and updated edition. Dorchester, England. 1999.

JOHNSON, A.N. Numerical characterization of the discharge coefficient in critical nozzles. National Institute of Standards and Technology. Maryland. 2002.

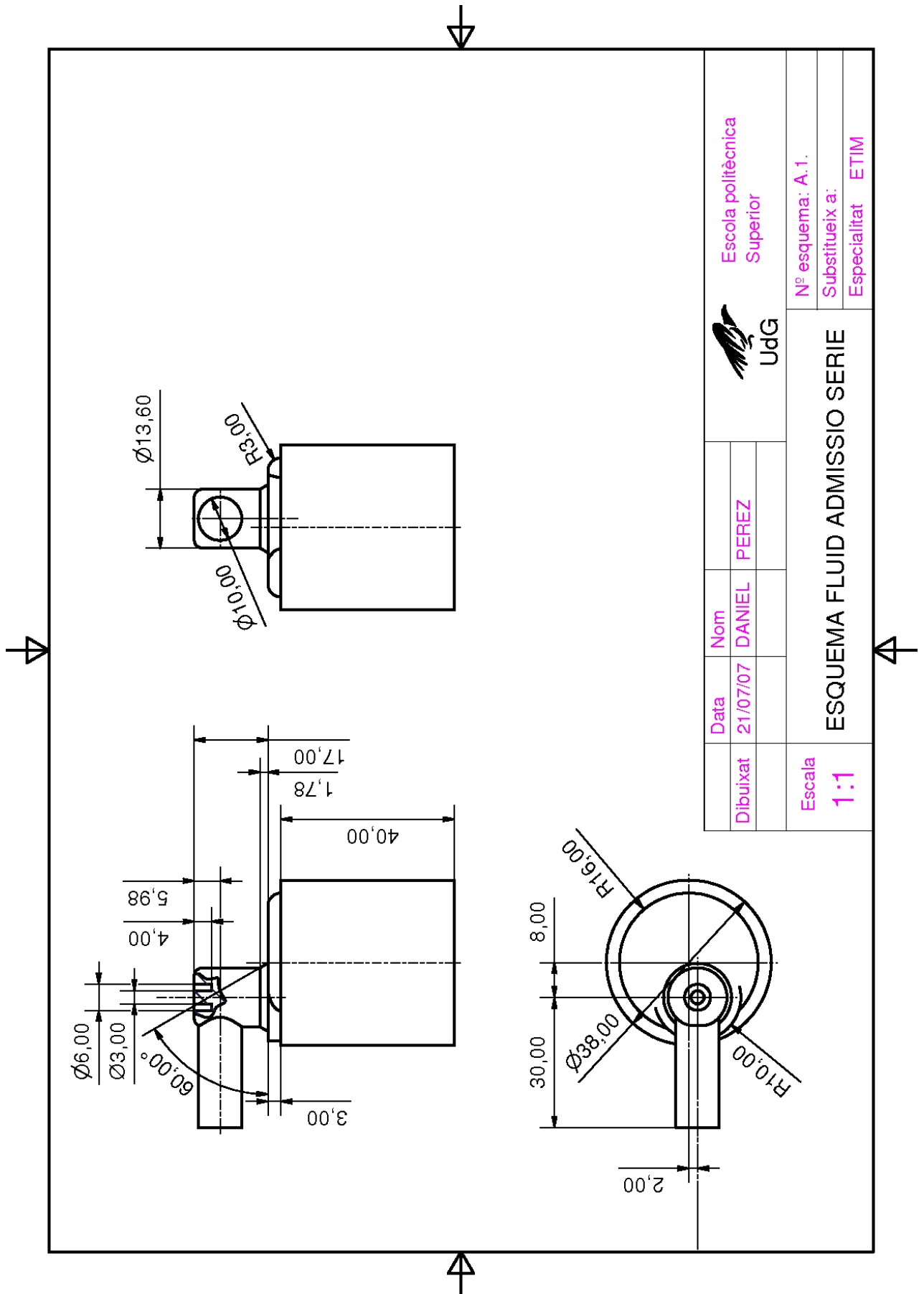
THOBOIS, L. , RYMER, G. , SOULERES, T. , POINSOT, T. , VAN DEN HEUVEL, B. Large-Eddy Simulations fort he Prediction of Aerodynàmics in IC Engines. Int. Journal of Vehicle Design. Vol. X. Toulouse. 2005.

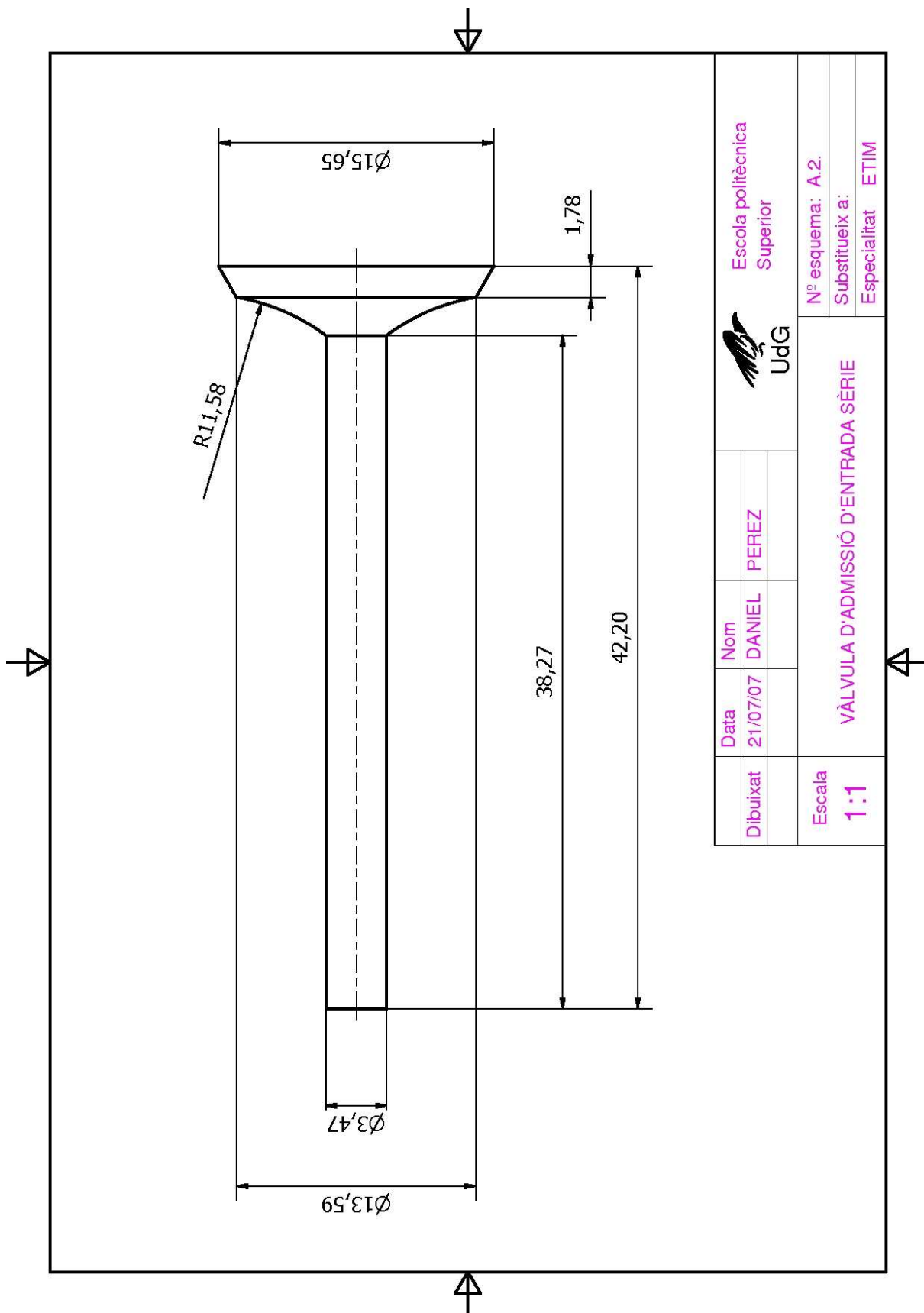
ALBANESI, A. , ZANOTTI, A. , CALVO, N. NIGRO, N. , STORTI, M. Simulación numérica de los movimientos característicos del flujo en cilindros de motores alternativos de alta performance. MECOM. Universidad Tecnológica Nacional, Santa Fe, Argentina. 2005.

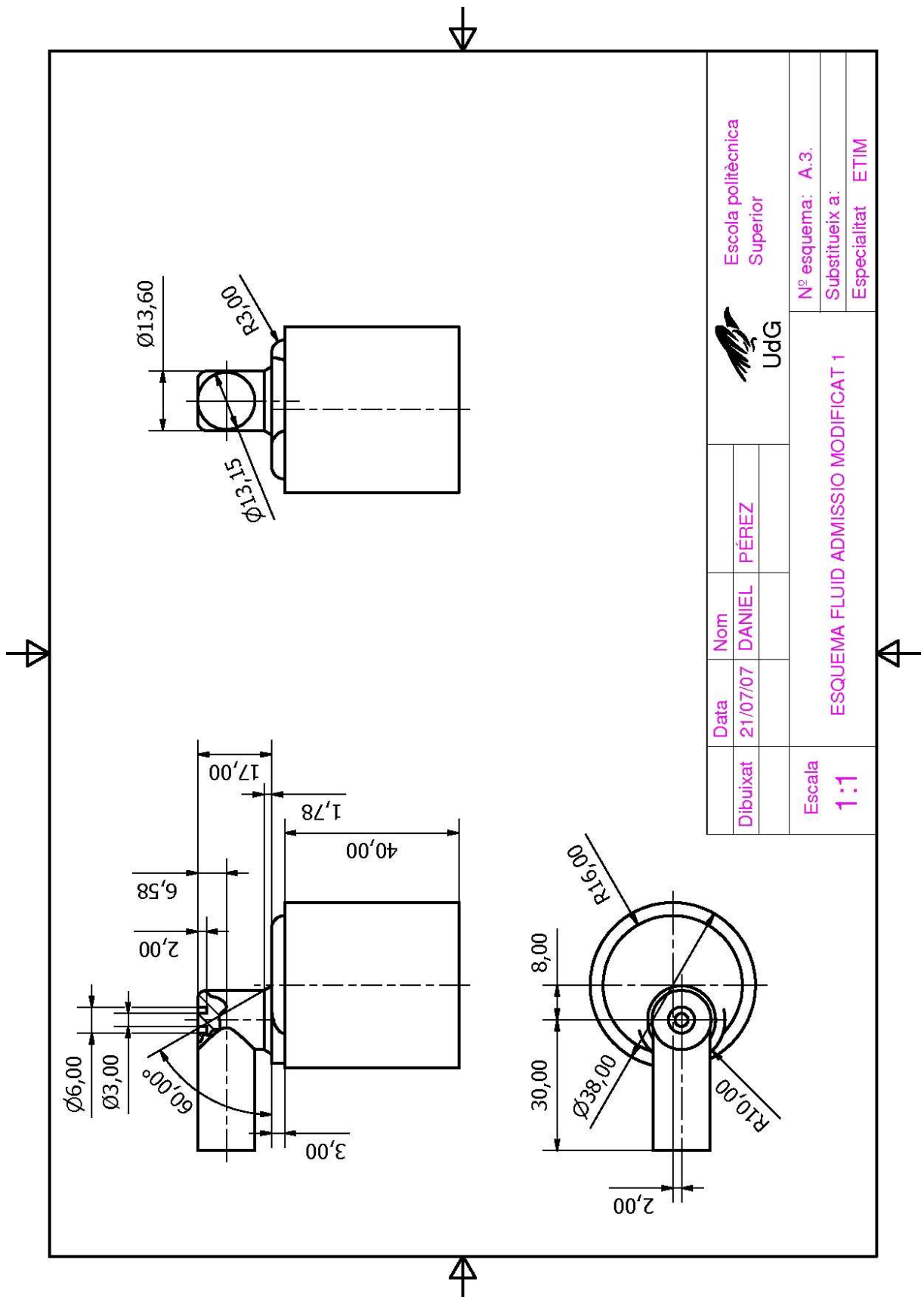
FARRUGIA, M. FSAE: Engine Simulations with wave. Oaklant University Formula SAE team. Oakland. 2004.

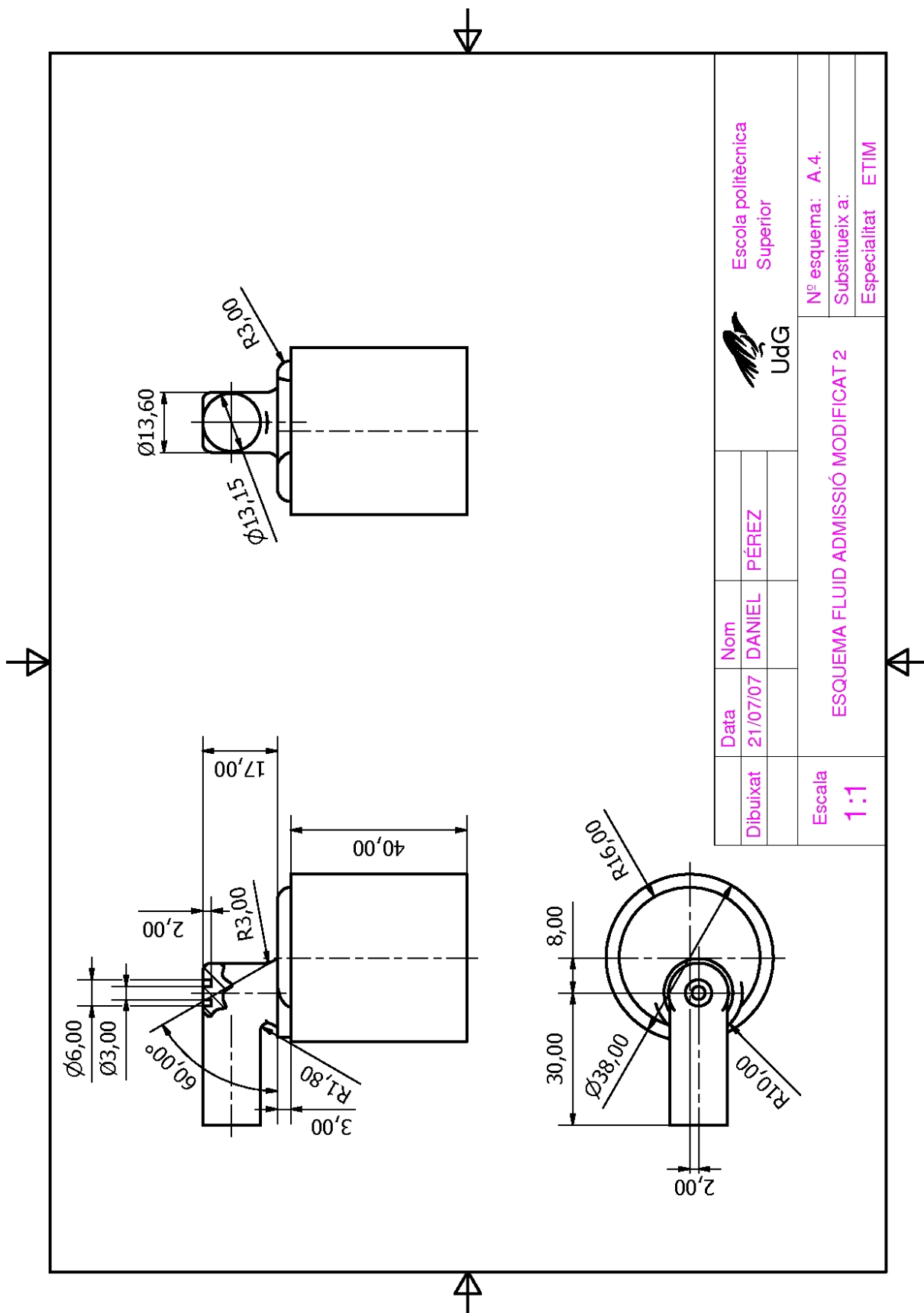
RECKTENWALD, G. A Flow Bench for Measuring Fan Curves and System Curves for Air-Cooled Electronic Equipment. Portland State university. Portland. 2003.

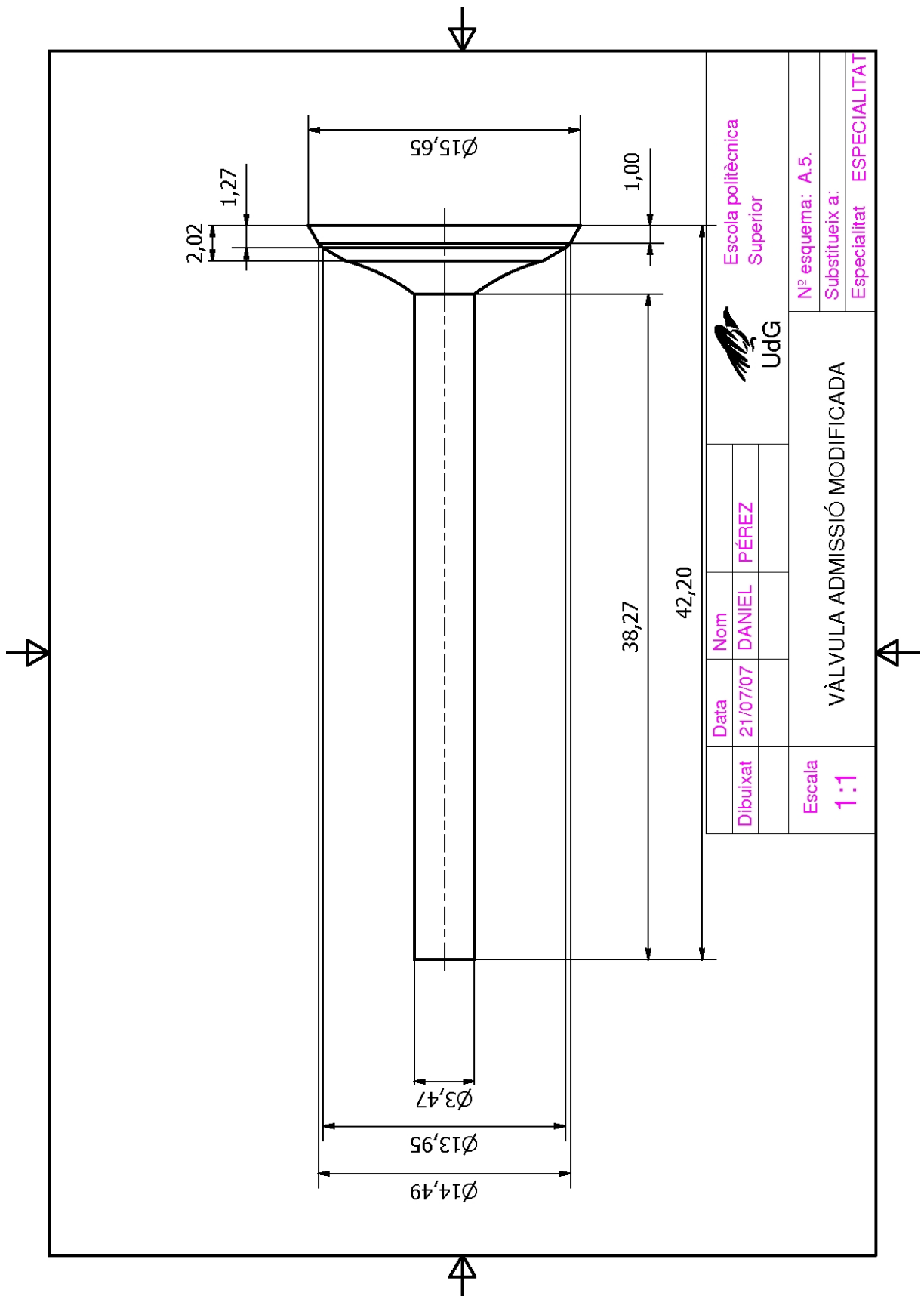
Annex A

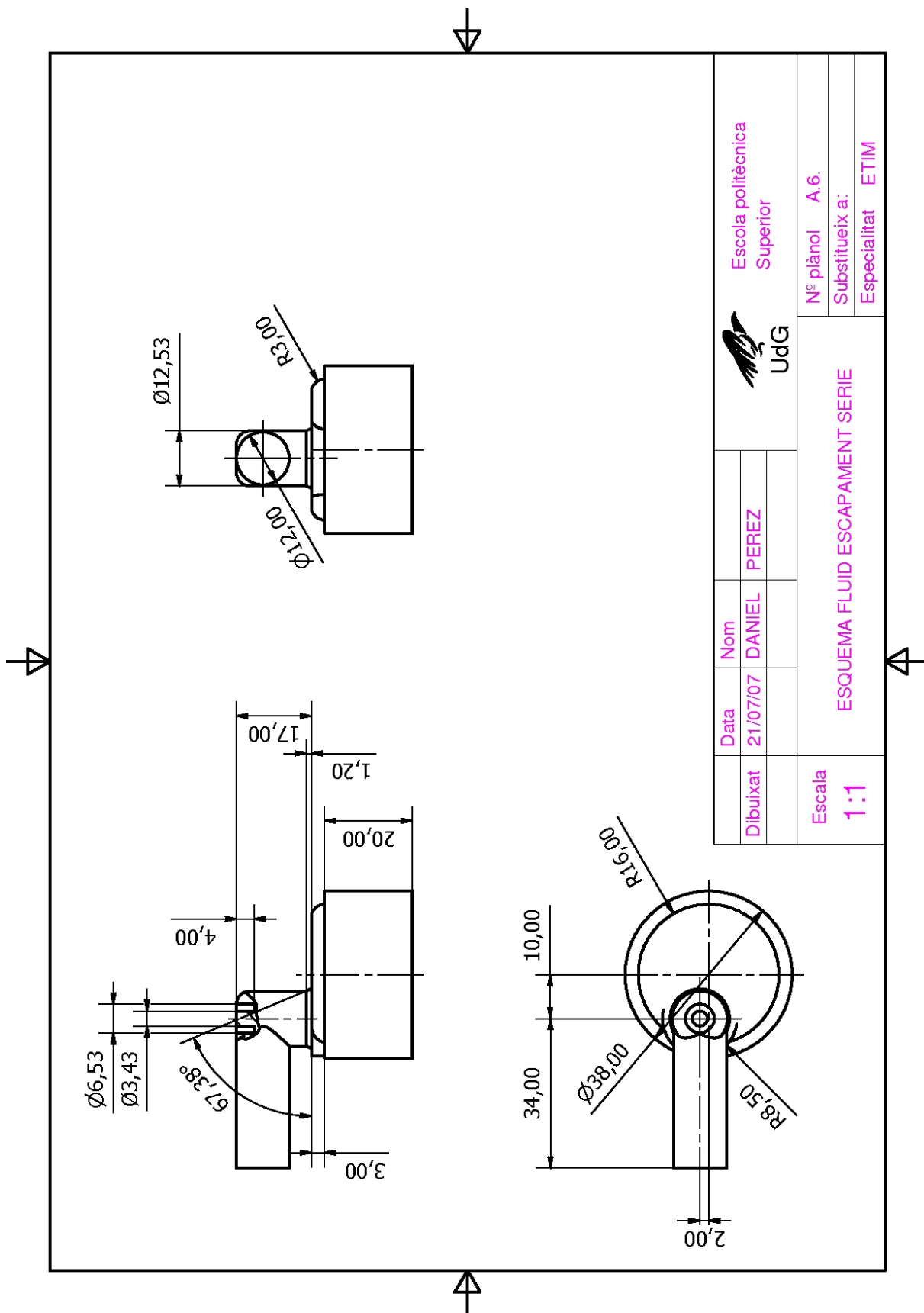


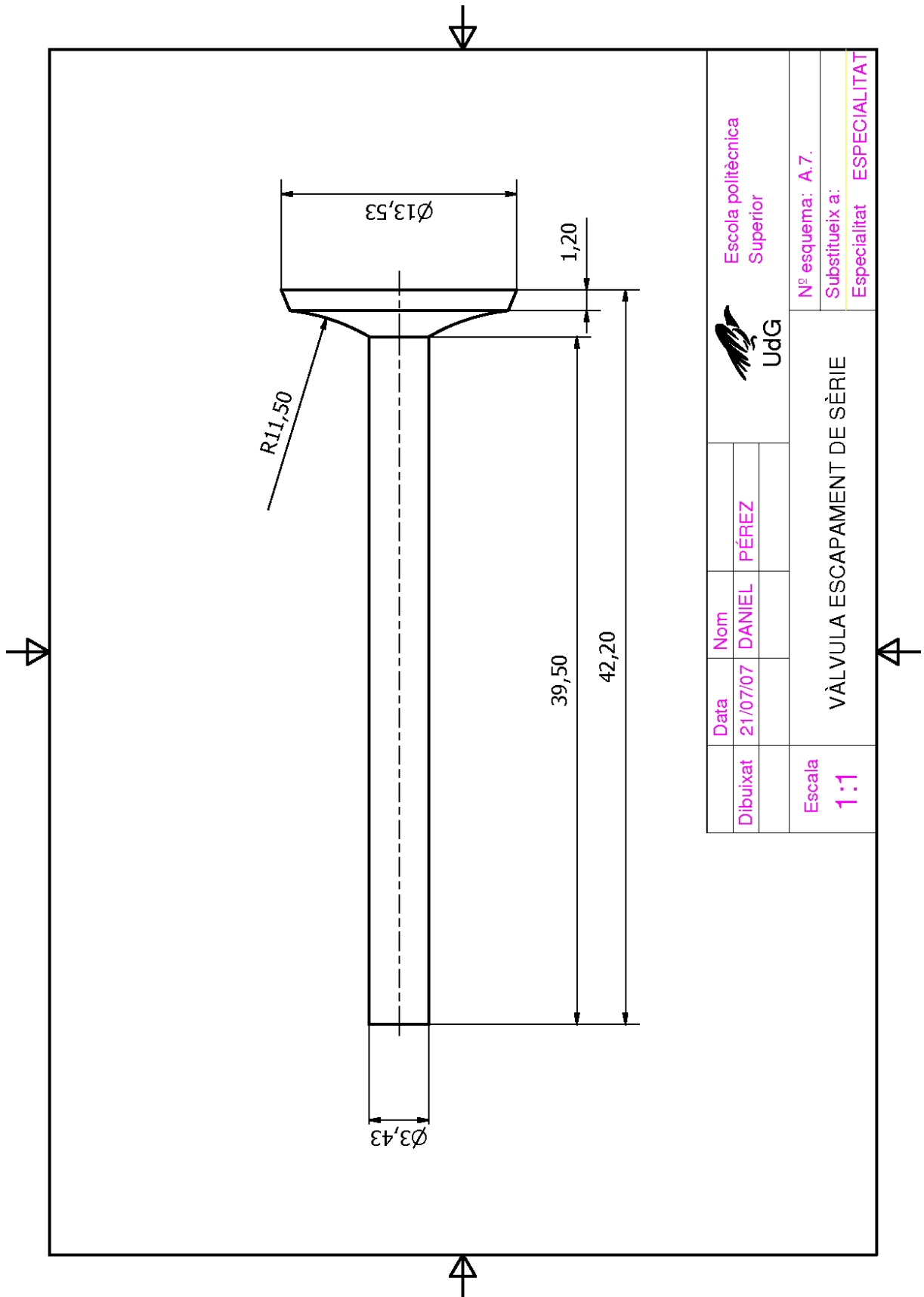


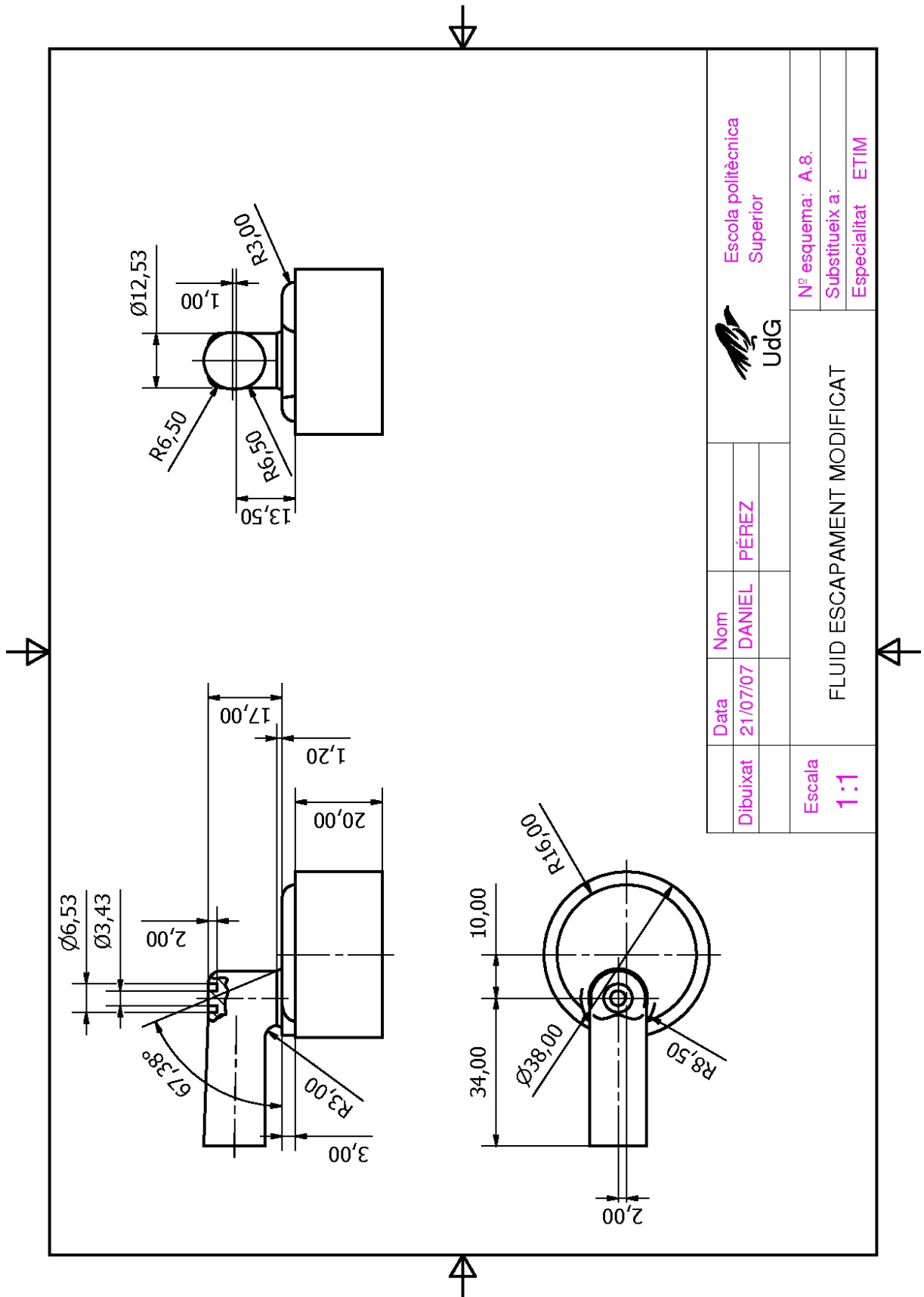


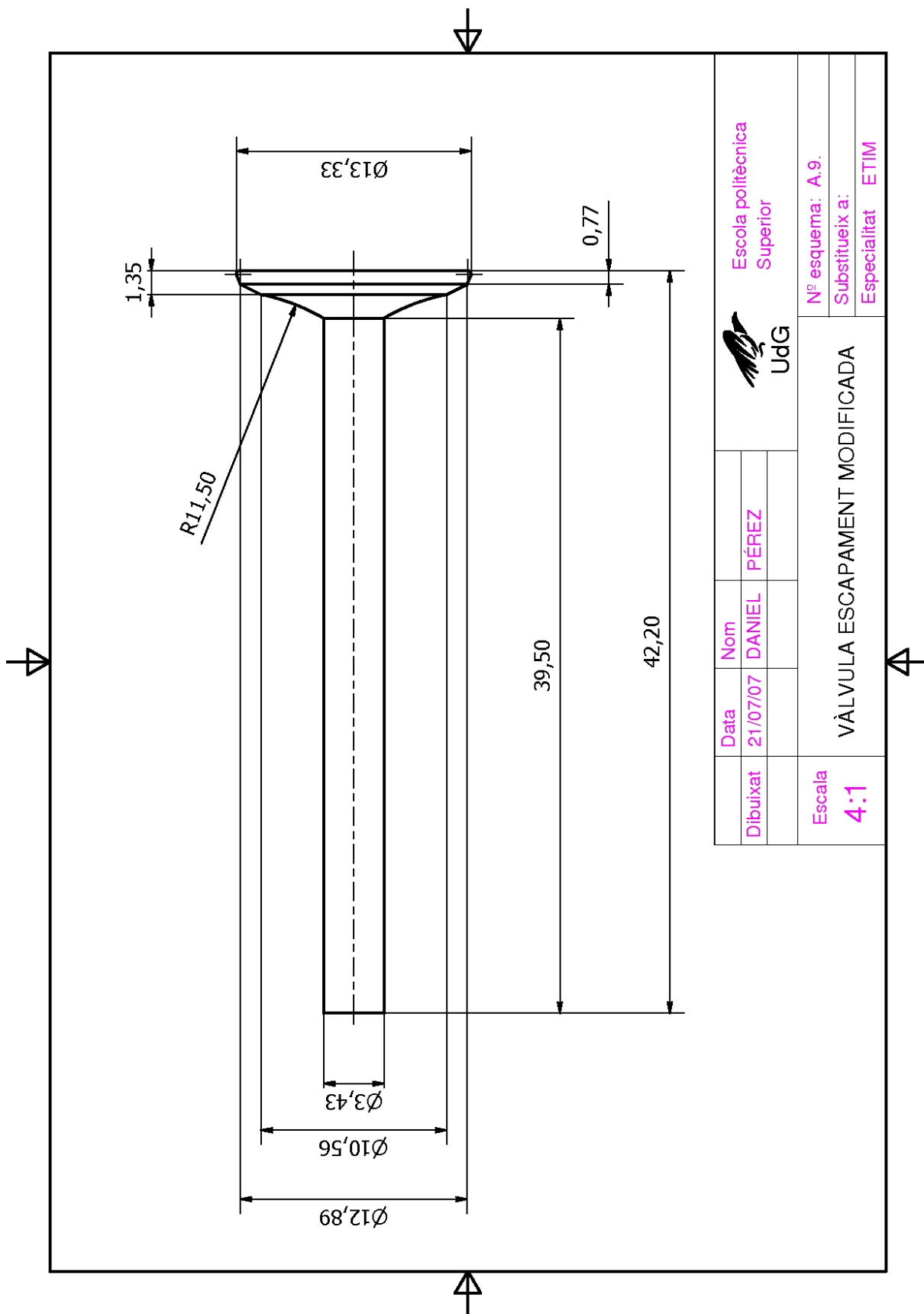












Annex B

ANNEX B.- CONEIXEMENTS BÀSICS DELS MOTORS 4T.

B.1.- Introducció als motors 4T

El primer inventor, al 1862, va ser el francès Alphonse Beau de Rochas. El segon, però no obstant el més conegut, al 1875, va ser el doctor Alemany Nikolaus August Otto. Cap d'ells tenia el coneixement de l'altre patent fins que es van fabricar els motors. Tot i que Rochas és el primer inventor del motor, tota la fama se la va quedar Otto, ja que el principi termodinàmic del funcionament del motor quatre temps encara porta el seu nom: Cicle Otto.

B.2.-Els quatre temps del motor de combustió interna

Motor de moviment alternatiu, amb les dues posicions extremes en les que es pot moure el pistó, denominades "punt mort superior" (PMS) i "punt mort inferior" (PMI).

Al iniciar el seu primer moviment descendent, s'obre a la part superior del cilindre la vàlvula d'admissió que dona pas al vapor de gasolina mesclat amb l'aire atmosfèric, tal i com es mostra en la figura B.1. Quan el pistó arriba al PMI la cambra de combustió ja és plena de la quantitat precisa de combustible. Aquest primer moviment és anomenat **Admissió**.

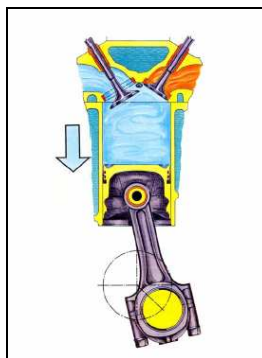


Fig. B.1.- Temps d'Admissió.

Durant el segon temps, el moviment és ascendent, i la vàlvula d'admissió ja està tancada, fet que provoca que el pistó comprimeixi la mescla de combustible. Aquest temps s'anomena **Compressió**, tal i com ens mostra la figura B.2.

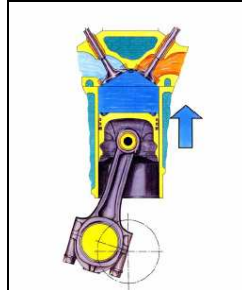


Fig.B. 2.- Temps compressió.

Quant el pistó s'apropa al PMS, entre els dos elèctrodes de la bugia salta una guspira que encén el vapor comprimit a la part superior del cilindre, tal i com es mostra a la figura B.3. La combustió resultant, en què la temperatura de la mescla pot arribar als 2.000°C i a una força de 2 tones que empeny el pistó. Aquest el el tercer temps anomenat **Explosió**.

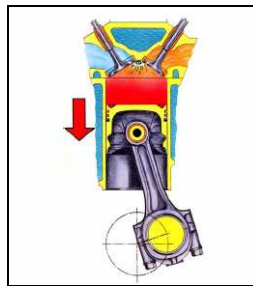


Fig. B.3.- Temps d'explosió i expansió.

Quant el pistó ens arriba de nou al PMS, s'obre la vàlvula d'escapament i el pistó comença el seu quart temps, en què els gasos creats per la combustió son empesos cap a l'atmosfera a través dels sistema d'escapament, tal i com ens mostra la figura B.4, formant el quart temps anomenat **Escapament**.

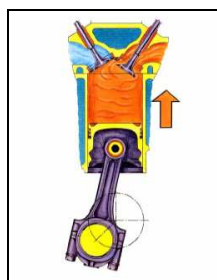


Fig. B.4.- Temps d'escapament

B.3.- Cicle Otto

Un gràfic que mostra de manera clara el funcionament termodinàmic del motor és el diagrama de pressió-volum. Aquest gràfic se l'ha anomenat com el cicle indicat del motor. A la figura B.5 podem veure un cicle indicat ideal d'un motor d'encesa per guspira, on s'aprecien les etapes de compressió i expansió com un cicle tancat. A l'anàlisi del cicle es realitzen simplificacions que en un motor real no succeeixen, les més importants són:

- L'aire és considerat com un gas ideal.
- L'aportació de calor es transmet a l'exterior a través de les parets del cilindre.
- L'energia dels gasos d'escapament és cedida mitjançant les parets del cilindre.

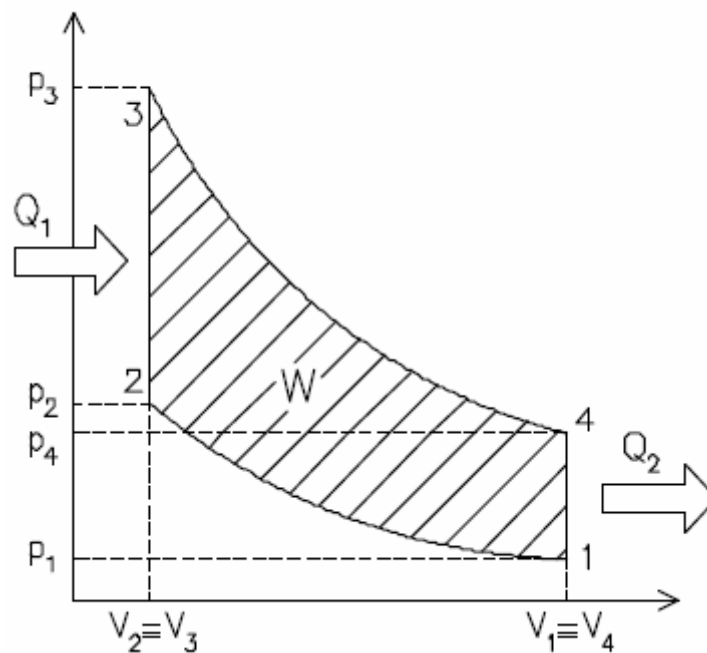


Fig. B.5.- Diagrama Pressió - Volum del cicle Otto ideal o cicle indicat

En els cicles indicats ideals es distingeixen clarament 4 etapes:

- 1-2.- Compressió adiabàtica y reversible (isentròpica).
- 2-3.- Combustió a volum constant (isocòrica).
- 3-4.- Expansió adiabàtica y reversible (isentreópica).
- 4-1.- Escapament a volum constant (isocòrica)

A la figura B.6 es mostra un cicle indicat de un motor en funcionament, el que li son controlades les pressions a cada instant dins el cilindre i la posició del cigonyal per obtenir el volum desplaçat. Es clar en els gràfics, que els dos cicles son molt diferents, degut als següents punts.

1-2.- La compressió realment es produeix amb transferència de calor al gas del cilindre.

2-3.- Degut a que la combustió és un fenomen físic, es a dir, que no es produeix de manera instantània com mostra el cicle indicat ideal. El que normalment es fa es anticipar el temps de combustió avanç d'arribar al PMS, per compensar aquest temps.

3-4.- A la carrera d'expansió el gas cedeix calor al cilindre y aquest al refrigerant, per tant l'expansió no es adiabàtica.

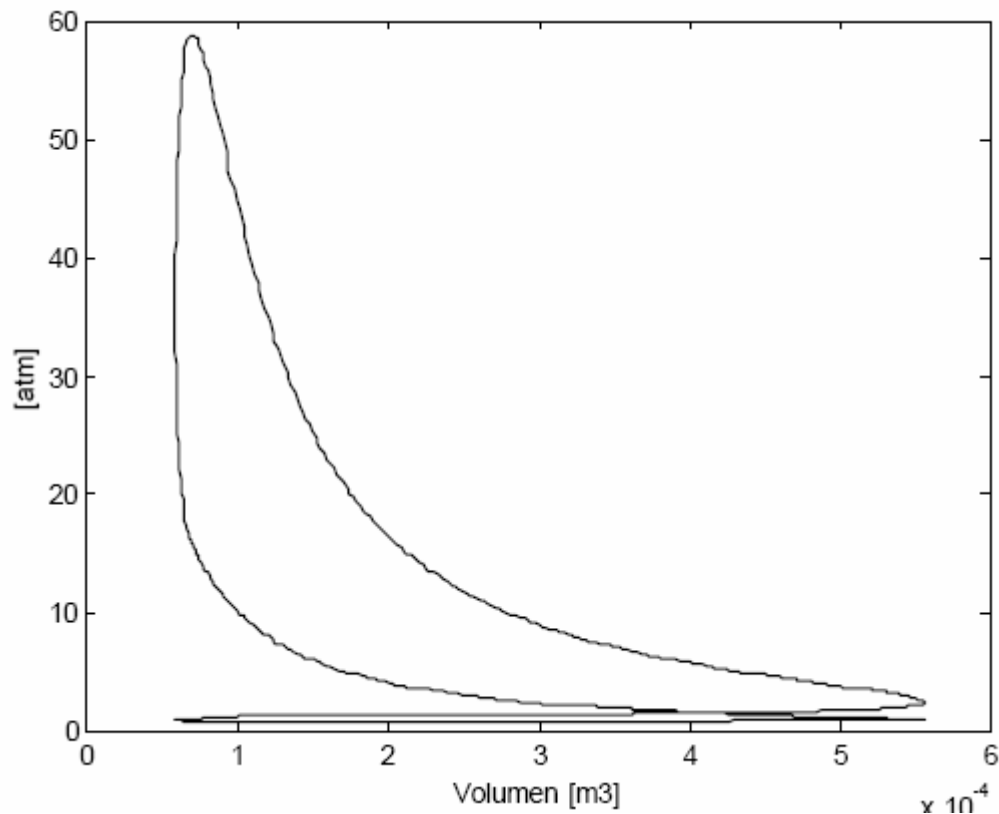


Fig. B.6.- Diagrama Pressió – Volum del cicle real d'un motor en funcionament.

En el funcionament d'un motor real el cicle indicat no es tancat com en el cicle real, sinó que hi ha moments on les vàlvules s'obren per permetre l'entrada o sortida dels gasos. Aquest intercanvi, es el que ens interessa per la realització del treball, es produeix als temps d'admissió i escapament que es veuen detallats a la figura 7.

Aquesta figura es un zoom de la figura B.7, anomenada zona de bombeig. L'anàlisi d'aquesta porció del cicle indicat es determinant alhora de analitzar el funcionament del motor, sobre tot per analitzar el seu rendiment volumètric. La gràfica ens pot dir entre altres coses si les dimensions de les vàlvules son correctes, si la culata té un bon coeficient de descarrega (Cd), si existeix backflow (fluixa revertit) a alguna de les carreres.

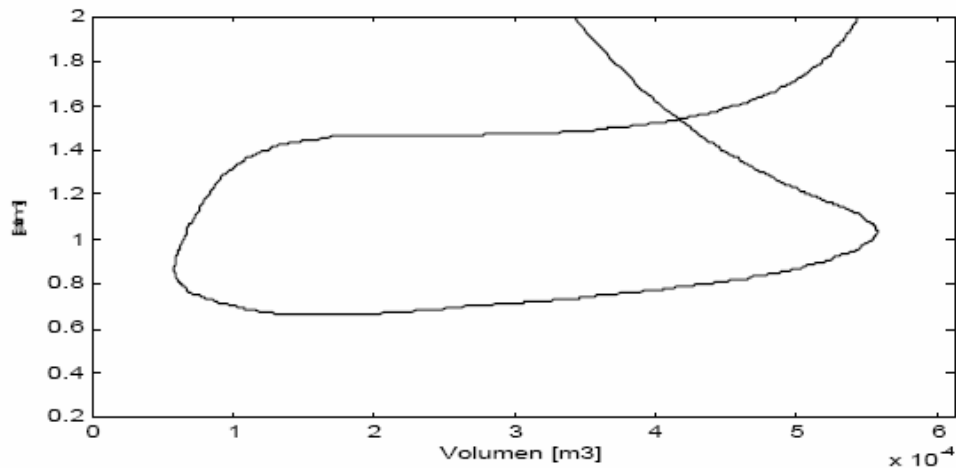


Fig B.7.- Zona anomenada de bombeig, zona on es produeix l'admissió i l'escapament

Annex C

C.- ANNEX CÀLCUL GEOMETRIA FONAMENTAL D'UNA CULATA

Annex que mostra els càlculs bàsics a realitzar sobre la geometria de la culata a estudiar. El dividirem en dues parts, els conductes o ports de la culata, i les vàlvules. Aquest càlculs seran utilitzats a posteriori per l'obtenció dels coeficients de descàrrega juntament amb les dades extretes de la simulació mitjançant tècniques CFD.

C.1.- Conductes

Actualment la gran majoria de motors disposen de més d'una vàlvula d'admissió i escapament, però el port d'entrada o sortida és comú per a totes aquestes, per aquesta raó es crea el quocient entre l'àrea del port (A_{pa} / A_{pe}), i la suma d'àrees efectives de la vàlvula (A_{va} / A_{ve}). Tal i com s'observen tots els paràmetres a la figura c.1.

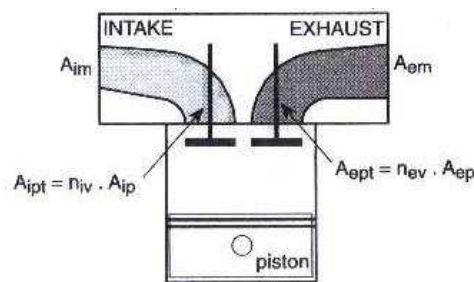


Fig. C.1.- Paràmetres coeficients dels ports

El coeficient del port d'admissió es calcularà tal i com s'expressa a l'equació 1, i el coeficient del port d'escapament C_{em} , tal i com s'observa a l'equació. 2.

$$\text{Admissió: } C_{am} = \frac{A_{pa}}{Nva * A_{va}} \quad (\text{Eq. 1})$$

On: A_{pa} : àrea del port entrada. Tal i com s'expressa a l'equació 3.

A_{va} : àrea efectiva del port just avanç de la vàlvula. => ($\cos - tija$)

Nva : nombre de vàlvules d'admissió.

$$\text{Escapament: } C_{em} = \frac{A_{pe}}{N_{ve} * A_{ve}} \quad (\text{Eq. 2})$$

On: A_{pe} : àrea del port entrada. Tal i com s'expressa a l'equació 4.

A_{ve} : àrea efectiva del port just avanç de la vàlvula. => (cos – tija)

N_{ve} : nombre de vàlvules d'admissió.

El quocient C_m és bàsic per obtenir una bona eficiència, ja que l'expansió o contracció del conducte ens pot ajudar o empitjorar l'eficiència del buidat o emplenat del cilindre.

A grosso modo el coeficient C_{am} de 1 seria correcte, així aconseguirem que tot i tenir un port compartit, cada vàlvula tingui la seva àrea de pas. El coeficient C_{em} , per el dimensionat dels conducte d'escapament, normalment es la unitat, però perquè és busca la màxima àrea possible de pas.

$$A_{pt} = \frac{\Pi}{4} * (d_{ip}^2 - d_{st}^2) \quad (\text{Eq. 3})$$

On: d_{ip} = diàmetre del port abans del seient de la vàlvula

d_{st} = diàmetre de la tija de la vàlvula.

$$A_{va} = \frac{\Pi}{4} * (d_{ap}^2 - d_{st}^2) \quad (\text{Eq. 4})$$

On: d_{ip} = diàmetre del port abans del seient de la vàlvula

d_{st} = diàmetre de la tija de la vàlvula.

Tal i com diem en l'encapçalament d'aquest Annex, aquest seran uns primers càlculs que ens mostren les dades de cada conducte, ja que posteriorment aprofitant aquestes dades juntament amb les obertures de les vàlvules es podrà acabar de definir quina és l'àrea de pas de cada port.

C.2.- Vàlvules

Tal i com s'observa en la figura C.2, en les reduccions brusques d'un tub, l'àrea de pas (A_t) únicament depèn del radi de la secció més petita, en aquest cas A_2 .

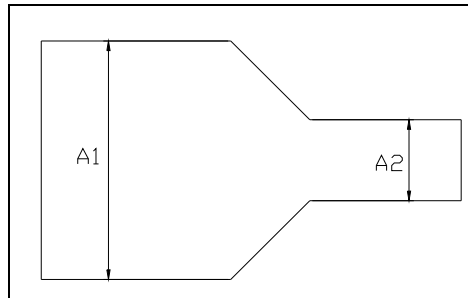


Fig. C.2.- Àrees que intervenen en un estrenyiment bruscat d'un conducte tancat

Alhora de calcular l'àrea de pas A_t obtinguda per l'obertura d'una vàlvula, es dependent de mes paràmetres, tal i com s'observa a la figura c.3, la longitud d'obertura (L), l'angle del seient de la vàlvula (θ), i els diferents diàmetres del port i de la vàlvula.

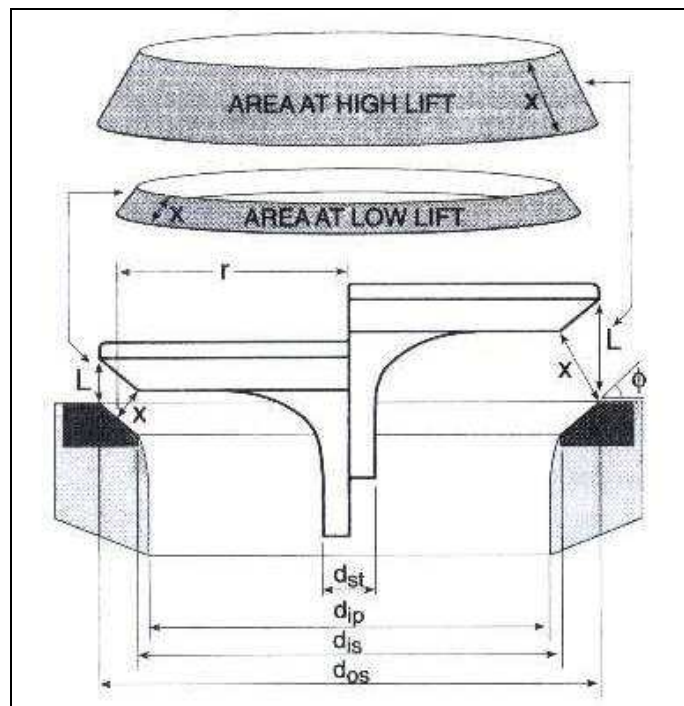


Fig. c.3.- Àrees de pas creades per l'obertura de la vàlvula

Una forma aproximada per obtenir l'àrea de pas en funció de la longitud d'obertura, tal i com s'expressa a l'equació 5, tot i que no és aconsellable, ja que la mitjana d'error trobada en l'annex (de taules de càlculs) de dades experimentals ens dona d'un 33%.

$$A_t = \Pi * dis * L \quad (Eq. 5)$$

L'àrea de pas entre la vàlvula i el seient de la culata, en funció de l'obertura (L), es representada amb un con, on l'àrea de pas es la cara exterior d'aquest.

El con be definit per la distancia entre la vàlvula i el seient (x), l'angle del seient de la vàlvula, el diàmetre interior i exterior d'aquest seient (dis i dos), i el radi r; tots aquests dependents de L. L'àrea d'aquest con és definida com (As), tal i com s'expressa a l'equació 6.

$$A_s = \Pi * \left(\frac{d_{major} + d_{minor}}{2} \right) * x \quad (Eq. 6)$$

On x es la distància mínima entre el seient i la vàlvula, i d major i d minor son els diàmetres extrems que formarien el con.

Aquesta és l'àrea mínima de pas que disposa el fluid per passar del port d'entrada al cilindre, o viceversa, i l'àrea màxima és Aipt o Aept, és l'àrea del port d'entrada (Aipt) o àrea del port de sortida (Aept) menys l'àrea que ocupen les "tijes" de les vàlvules, tal i com expressa l'equació 7.

$$A_{ept} = \frac{\Pi}{4} * (dip^2 - dst^2)_{admissió / escapament} \quad (Eq. 7)$$

Per trobar correctament la distància x, hem de tenir en compte la Llim, aquesta ens indicarà si la distancia mínima de x es perpendicular al seient de vàlvula, o inferior.

Tal i com s'observa a la figura 3, per obertures "petites", la distància x es perpendicular al seient de la vàlvula, per contra en obertures "grans" aquesta distància no es perpendicular. Així apareix la Llim:

Obertures "petites" $L < L_{lim}$

Obertures "grans" $L > L_{lim}$

Tal i com expressa l'equació 8, l'obertura límit serà:

$$L_{lim} = \frac{dos - dis}{2 \sin \phi * \cos \phi} = \frac{dos - dis}{\sin 2\phi} \quad (\text{Eq. 8})$$

C.2.1.- Valors d'obertura inferiors a L_{lim} ($L \leq L_{lim}$): obertures petites

$$x = L * \cos \phi$$

$$r = \frac{dis}{2} + x * \sin \phi$$

Tal i com expressa l'equació 9, si $L \leq L_{lim}$ l'àrea de pas serà:

$$A_t = \Pi * L * (dis + L * \sin \phi * \cos \phi) \quad (\text{Eq. 9})$$

C.2.2.- Valors d'obertura superiors a L_{lim} ($L > L_{lim}$): obertures grans

$$x = \sqrt{\left(L - \frac{dos - dis}{2} * \tan \theta\right)^2 + \left(\frac{dos - dis}{2}\right)^2}$$

Tal i com expressa l'equació 10, l'àrea de pas per valors d'obertura serà

$$A_t = \Pi * \left(\frac{dos + dis}{2}\right) * \sqrt{\left(L - \frac{dos - dis}{2} * \tan \theta\right)^2 + \left(\frac{dos - dis}{2}\right)^2} \quad (\text{Eq. 10})$$

Per estudis de culates amb n nombre de vàlvules, amb igual geometria i obertura, cas habitual, l'àrea de pas serà igual al nombre de vàlvules per l'àrea de pas.

Considerant la situació que tenim un port per a cada vàlvula, en el moment que la l'àrea de pas de la vàlvula (A_t) sigui major que l'àrea de pas del port d'entrada o sortida (A_p), haurem de considerar com a àrea de pas, l'àrea del port, tal i com mostra la figura c.4.

$$\text{Si } A_t < A_p \quad A_t = A_t$$

$$\text{Si } A_t \geq A_p \quad A_t = A_p$$

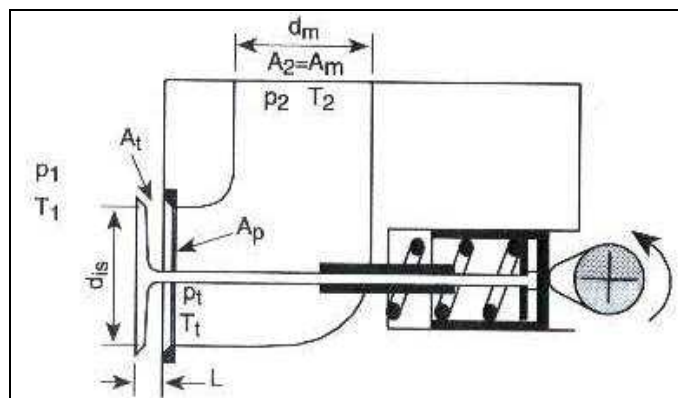


Fig. 4.- Àrees de pas dels ports de culates de motors tèrmics

C.3.- Càlculs geomètrics

C.3.1.- Geometria Admissió sèrie

C.3.1.1.-Coficients dels ports

Admissió

Øin [mm]	Ain [mm2]	Ain [m2]	dip [mm]	dst [mm]	Apt [mm2]	Cm
10	78,5398163	7,85398E-05	13,6	3,47	135,810344	0,57830511

C.3.1.2.- Àrea de pas

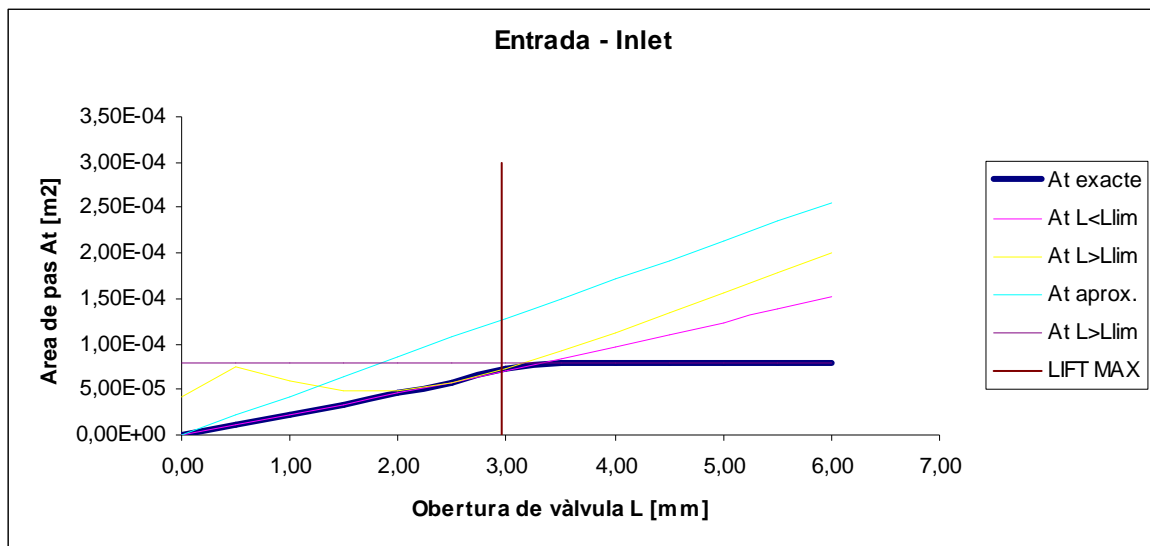
Llim = 2,37 mm

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L<Llim [m2]
0,00	60,00	1,05	0,00	13,60	6,80	0,00	0,00E+00
0,50	60,00	1,05	0,25	13,60	7,02	10,85	1,09E-05
1,00	60,00	1,05	0,50	13,60	7,23	22,04	2,20E-05
1,50	60,00	1,05	0,75	13,60	7,45	33,57	3,36E-05
2,00	60,00	1,05	1,00	13,60	7,67	45,45	4,54E-05
2,50	60,00	1,05	1,25	13,60	7,88	57,66	5,77E-05
3,00	60,00	1,05	1,50	13,60	8,10	70,21	7,02E-05
3,50	60,00	1,05	1,75	13,60	8,32	83,10	8,31E-05
4,00	60,00	1,05	2,00	13,60	8,53	96,33	9,63E-05
4,50	60,00	1,05	2,25	13,60	8,75	109,91	1,10E-04
5,00	60,00	1,05	2,50	13,60	8,97	123,82	1,24E-04
5,50	60,00	1,05	2,75	13,60	9,18	138,07	1,38E-04
6,00	60,00	1,05	3,00	13,60	9,40	152,66	1,53E-04

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L>Llim [m2]
0,00	60,00	1,05	14,00	12,57	1,01	42,20	0,00
0,50	60,00	1,05	15,65	13,60	1,64	75,18	7,52E-05
1,00	60,00	1,05	15,65	13,60	1,29	59,05	5,91E-05
1,50	60,00	1,05	15,65	13,60	1,06	48,76	4,88E-05
2,00	60,00	1,05	15,65	13,60	1,05	48,21	4,82E-05
2,50	60,00	1,05	15,65	13,60	1,26	57,68	5,77E-05
3,00	60,00	1,05	15,65	13,60	1,60	73,38	7,34E-05
3,50	60,00	1,05	15,65	13,60	2,01	92,18	9,22E-05
4,00	60,00	1,05	15,65	13,60	2,45	112,54	1,13E-04
4,50	60,00	1,05	15,65	13,60	2,91	133,75	1,34E-04
5,00	60,00	1,05	15,65	13,60	3,38	155,46	1,55E-04
5,50	60,00	1,05	15,65	13,60	3,86	177,49	1,77E-04
6,00	60,00	1,05	15,65	13,60	4,35	199,74	2,00E-04

At L<Llim [m2]	At L>Llim [m2]	At exacte [m2]	At aprox. [m2]	Error [%]
0,00E+00	7,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	#¡DIV/0!
1,09E-05	7,85E-05	1,09E-05	2,14E-05	49,20%
2,20E-05	7,85E-05	2,20E-05	4,27E-05	48,41%
3,36E-05	7,85E-05	3,36E-05	6,41E-05	47,61%
4,54E-05	7,85E-05	4,54E-05	8,55E-05	46,82%
5,77E-05	7,85E-05	5,77E-05	1,07E-04	46,00%
7,34E-05	7,85E-05	7,34E-05	1,28E-04	42,75%
9,22E-05	7,85E-05	7,85E-05	1,50E-04	47,48%
1,13E-04	7,85E-05	7,85E-05	1,71E-04	54,04%
1,34E-04	7,85E-05	7,85E-05	1,92E-04	59,15%
1,55E-04	7,85E-05	7,85E-05	2,14E-04	63,24%
1,77E-04	7,85E-05	7,85E-05	2,35E-04	66,58%
2,00E-04	7,85E-05	7,85E-05	2,56E-04	69,36%
				53,39%

C.3.1.2.- Resultat gràfic sistema admissió de sèrie



C.3.2.- Geometria Admissió modificada 1 i 2

C.3.2.1.-Coficients dels ports

Admissió

Øin [mm]	Ain [mm2]	Ain [m2]	dip [mm]	dst [mm]	Apt [mm2]	Cm
13,15	135,813014	0,000135813	13,6	3,47	135,810344	1,00001966

C.3.2.2.- Àrea de pas

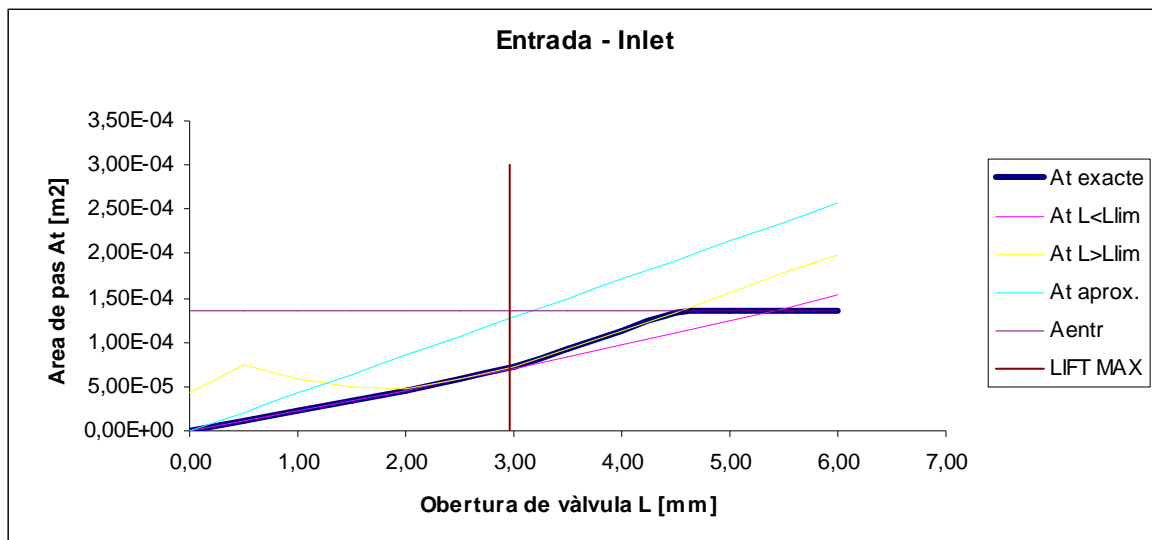
Llim = 2,37 mm

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L<Llim [m2]
0,00	60,00	1,05	0,00	13,60	6,80	0,00	0,00E+00
0,50	60,00	1,05	0,25	13,60	7,02	10,85	1,09E-05
1,00	60,00	1,05	0,50	13,60	7,23	22,04	2,20E-05
1,50	60,00	1,05	0,75	13,60	7,45	33,57	3,36E-05
2,00	60,00	1,05	1,00	13,60	7,67	45,45	4,54E-05
2,50	60,00	1,05	1,25	13,60	7,88	57,66	5,77E-05
3,00	60,00	1,05	1,50	13,60	8,10	70,21	7,02E-05
3,50	60,00	1,05	1,75	13,60	8,32	83,10	8,31E-05
4,00	60,00	1,05	2,00	13,60	8,53	96,33	9,63E-05
4,50	60,00	1,05	2,25	13,60	8,75	109,91	1,10E-04
5,00	60,00	1,05	2,50	13,60	8,97	123,82	1,24E-04
5,50	60,00	1,05	2,75	13,60	9,18	138,07	1,38E-04
6,00	60,00	1,05	3,00	13,60	9,40	152,66	1,53E-04

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L>Llim [m2]
0,00	45,00	0,79	14,00	12,57	1,01	42,20	0,00
0,50	60,00	1,05	15,65	13,60	1,64	75,18	7,52E-05
1,00	60,00	1,05	15,65	13,60	1,29	59,05	5,91E-05
1,50	60,00	1,05	15,65	13,60	1,06	48,76	4,88E-05
2,00	60,00	1,05	15,65	13,60	1,05	48,21	4,82E-05
2,50	60,00	1,05	15,65	13,60	1,26	57,68	5,77E-05
3,00	60,00	1,05	15,65	13,60	1,60	73,38	7,34E-05
3,50	60,00	1,05	15,65	13,60	2,01	92,18	9,22E-05
4,00	60,00	1,05	15,65	13,60	2,45	112,54	1,13E-04
4,50	60,00	1,05	15,65	13,60	2,91	133,75	1,34E-04
5,00	60,00	1,05	15,65	13,60	3,38	155,46	1,55E-04
5,50	60,00	1,05	15,65	13,60	3,86	177,49	1,77E-04
6,00	60,00	1,05	15,65	13,60	4,35	199,74	2,00E-04

At L<Llim [m2]	At L>Llim [m2]	At exacte [m2]	At aprox. [m2]	Error [%]
0,00E+00	1,36E-04	0,00E+00	0,00E+00	#¡DIV/0!
1,09E-05	1,36E-04	1,09E-05	2,14E-05	49,20%
2,20E-05	1,36E-04	2,20E-05	4,27E-05	48,41%
3,36E-05	1,36E-04	3,36E-05	6,41E-05	47,61%
4,54E-05	1,36E-04	4,54E-05	8,55E-05	46,82%
5,77E-05	1,36E-04	5,77E-05	1,07E-04	46,00%
7,34E-05	1,36E-04	7,34E-05	1,28E-04	42,75%
9,22E-05	1,36E-04	9,22E-05	1,50E-04	38,36%
1,13E-04	1,36E-04	1,13E-04	1,71E-04	34,15%
1,34E-04	1,36E-04	1,34E-04	1,92E-04	30,43%
1,55E-04	1,36E-04	1,36E-04	2,14E-04	36,43%
1,77E-04	1,36E-04	1,36E-04	2,35E-04	42,21%
2,00E-04	1,36E-04	1,36E-04	2,56E-04	47,02%
				42,45%

C.3.2.2.- Resultat gràfic sistema d'admissió modificat 1 i 2.



C.3.3.- Geometria Escapament de sèrie

C.3.3.1.-Coficients dels ports

Admissió

Øin [mm]	Ain [mm2]	Ain [m2]	dip [mm]	dst [mm]	Apt [mm2]	Cm
12	113,097336	0,000113097	12,57	3,43	114,856627	0,98468271

C.3.3.2.- Àrea de pas

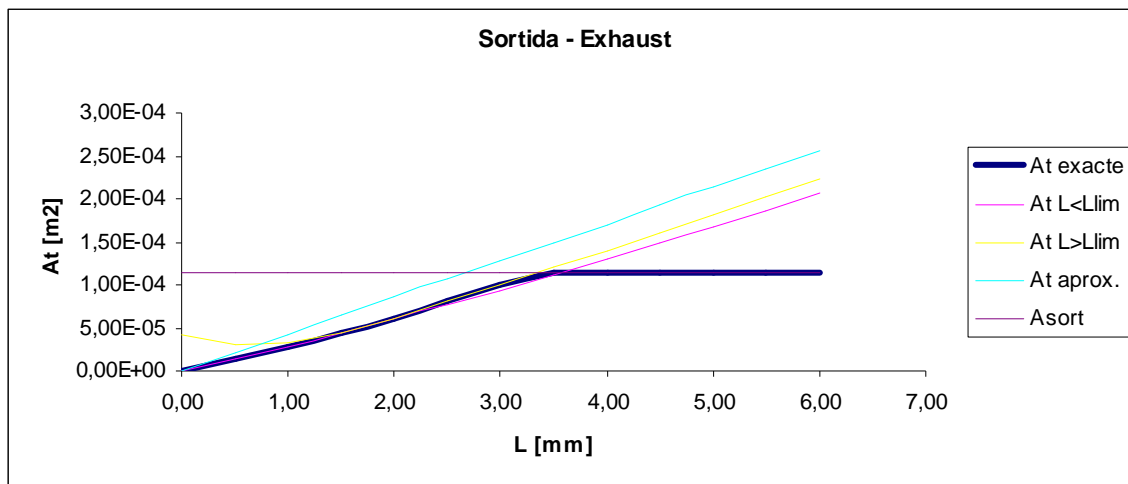
Llim = 1,43 mm

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L<Llim [m2]
0,00	45,00	0,79	0,00	12,57	6,29	0,00	0,00E+00
0,50	45,00	0,79	0,35	12,57	6,54	14,24	1,42E-05
1,00	45,00	0,79	0,71	12,57	6,79	29,03	2,90E-05
1,50	45,00	0,79	1,06	12,57	7,04	44,38	4,44E-05
2,00	45,00	0,79	1,41	12,57	7,29	60,29	6,03E-05
2,50	45,00	0,79	1,77	12,57	7,54	76,75	7,68E-05
3,00	45,00	0,79	2,12	12,57	7,79	93,77	9,38E-05
3,50	45,00	0,79	2,47	12,57	8,04	111,34	1,11E-04
4,00	45,00	0,79	2,83	12,57	8,29	129,47	1,29E-04
4,50	45,00	0,79	3,18	12,57	8,54	148,15	1,48E-04
5,00	45,00	0,79	3,54	12,57	8,79	167,39	1,67E-04
5,50	45,00	0,79	3,89	12,57	9,04	187,18	1,87E-04
6,00	45,00	0,79	4,24	12,57	9,29	207,53	2,08E-04

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L>Llim [m2]
0,00	45,00	0,79	14,00	12,57	1,01	42,20	4,22E-05
0,50	45,00	0,79	14,00	12,57	0,75	31,16	3,12E-05
1,00	45,00	0,79	14,00	12,57	0,77	32,12	3,21E-05
1,50	45,00	0,79	14,00	12,57	1,06	44,32	4,43E-05
2,00	45,00	0,79	14,00	12,57	1,47	61,37	6,14E-05
2,50	45,00	0,79	14,00	12,57	1,92	80,25	8,03E-05
3,00	45,00	0,79	14,00	12,57	2,39	99,93	9,99E-05
3,50	45,00	0,79	14,00	12,57	2,88	120,00	1,20E-04
4,00	45,00	0,79	14,00	12,57	3,36	140,31	1,40E-04
4,50	45,00	0,79	14,00	12,57	3,85	160,76	1,61E-04
5,00	45,00	0,79	14,00	12,57	4,34	181,31	1,81E-04
5,50	45,00	0,79	14,00	12,57	4,84	201,92	2,02E-04
6,00	45,00	0,79	14,00	12,57	5,33	222,58	2,23E-04

At L<Llim [m2]	At L>Llim [m2]	At exacte [m2]	At aprox. [m2]	Error [%]
0,00E+00	1,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	#jDIV/0!
1,42E-05	1,13E-04	1,42E-05	2,14E-05	33,34%
2,90E-05	1,13E-04	2,90E-05	4,27E-05	32,04%
4,43E-05	1,13E-04	4,43E-05	6,41E-05	30,85%
6,14E-05	1,13E-04	6,14E-05	8,55E-05	28,18%
8,03E-05	1,13E-04	8,03E-05	1,07E-04	24,87%
9,99E-05	1,13E-04	9,99E-05	1,28E-04	22,04%
1,20E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,50E-04	24,37%
1,40E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,71E-04	33,82%
1,61E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,92E-04	41,18%
1,81E-04	1,13E-04	1,13E-04	2,14E-04	47,06%
2,02E-04	1,13E-04	1,13E-04	2,35E-04	51,87%
2,23E-04	1,13E-04	1,13E-04	2,56E-04	55,88%
				35,46%

C.3.3.2.- Resultat gràfic sistema d'escapament de sèrie



C.3.4.- Geometria Escapament modificada

C.3.4.1.-Coficients dels ports

Admissió

Øin [mm]	Ain [mm2]	Ain [m2]	dip [mm]	dst [mm]	Apt [mm2]	Cm
13,1	134,782179	0,000134782	12,53	3,43	114,068088	1,1815941

C.3.4.2.- Àrea de pas

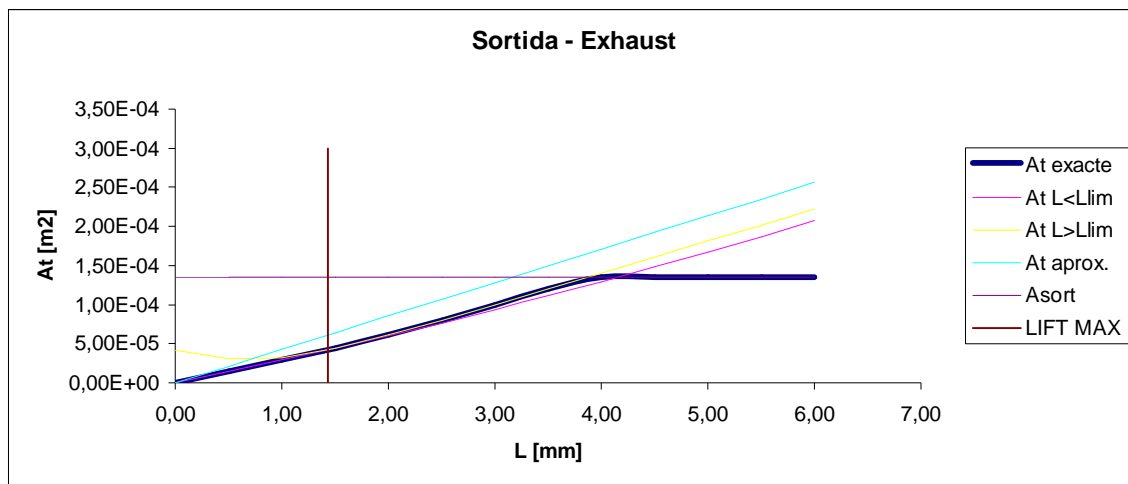
Llim = 1,43 mm

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L<Llim [m2]
0,00	45,00	0,79	0,00	12,57	6,29	0,00	0,00E+00
0,50	45,00	0,79	0,35	12,57	6,54	14,24	1,42E-05
1,00	45,00	0,79	0,71	12,57	6,79	29,03	2,90E-05
1,50	45,00	0,79	1,06	12,57	7,04	44,38	4,44E-05
2,00	45,00	0,79	1,41	12,57	7,29	60,29	6,03E-05
2,50	45,00	0,79	1,77	12,57	7,54	76,75	7,68E-05
3,00	45,00	0,79	2,12	12,57	7,79	93,77	9,38E-05
3,50	45,00	0,79	2,47	12,57	8,04	111,34	1,11E-04
4,00	45,00	0,79	2,83	12,57	8,29	129,47	1,29E-04
4,50	45,00	0,79	3,18	12,57	8,54	148,15	1,48E-04
5,00	45,00	0,79	3,54	12,57	8,79	167,39	1,67E-04
5,50	45,00	0,79	3,89	12,57	9,04	187,18	1,87E-04
6,00	45,00	0,79	4,24	12,57	9,29	207,53	2,08E-04

L [mm]	θ [graus]	θ [rad]	x [mm]	dis [mm]	r [mm]	At [mm2]	At L>Llim [m2]
0,00	45,00	0,79	14,00	12,57	1,01	42,20	4,22E-05
0,50	45,00	0,79	14,00	12,57	0,75	31,16	3,12E-05
1,00	45,00	0,79	14,00	12,57	0,77	32,12	3,21E-05
1,50	45,00	0,79	14,00	12,57	1,06	44,32	4,43E-05
2,00	45,00	0,79	14,00	12,57	1,47	61,37	6,14E-05
2,50	45,00	0,79	14,00	12,57	1,92	80,25	8,03E-05
3,00	45,00	0,79	14,00	12,57	2,39	99,93	9,99E-05
3,50	45,00	0,79	14,00	12,57	2,88	120,00	1,20E-04
4,00	45,00	0,79	14,00	12,57	3,36	140,31	1,40E-04
4,50	45,00	0,79	14,00	12,57	3,85	160,76	1,61E-04
5,00	45,00	0,79	14,00	12,57	4,34	181,31	1,81E-04
5,50	45,00	0,79	14,00	12,57	4,84	201,92	2,02E-04
6,00	45,00	0,79	14,00	12,57	5,33	222,58	2,23E-04

At L<Llim [m2]	At L>Llim [m2]	At exacte [m2]	At aprox. [m2]	Error [%]
0,00E+00	1,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	#¡DIV/0!
1,42E-05	1,35E-04	1,42E-05	2,14E-05	33,34%
2,90E-05	1,35E-04	2,90E-05	4,27E-05	32,04%
4,43E-05	1,35E-04	4,43E-05	6,41E-05	30,85%
6,14E-05	1,35E-04	6,14E-05	8,55E-05	28,18%
8,03E-05	1,35E-04	8,03E-05	1,07E-04	24,87%
9,99E-05	1,35E-04	9,99E-05	1,28E-04	22,04%
1,20E-04	1,35E-04	1,20E-04	1,50E-04	19,75%
1,40E-04	1,35E-04	1,35E-04	1,71E-04	21,14%
1,61E-04	1,35E-04	1,35E-04	1,92E-04	29,90%
1,81E-04	1,35E-04	1,35E-04	2,14E-04	36,91%
2,02E-04	1,35E-04	1,35E-04	2,35E-04	42,64%
2,23E-04	1,35E-04	1,35E-04	2,56E-04	47,42%
				30,76%

C.3.4.2.- Resultat gràfic sistema d'escapament modificat



Annex D

Annex D.- PROCESOS D'ADMISSIÓ I ESCAPAMENT EN UN MOTOR 4T.

D.1 . Introducció

En un motor d'encès per guspira, el sistema d'admissió normalment es format per un filtre d'aire, un carburador i papallona o papallona amb injectors individuals en per cada tub d'admissió, i el múltiple d'admissió.

Durant el procés d'admissió, hi ha caigudes de pressió quan la mescla passa per cadascun d'aquests elements. La caiguda de pressió més gran, es quan la barreja travessa el port i la vàlvula. En el sistema d'escapament típic es format per un tubs d'escapament, amb el catalitzador i un silenciador.

Tal i com s'observa a la figura d.1 el procés d'admissió i escapament en un motor 4T convencional. Aquests fluxos són polsants. No obstant això, alguns aspectes d'aquests fluxos poden ser analitzats sobre la base de quasi-estàtics, i la pressió indicada en el sistema d'admissió en la fig. d.1.a representa el valor terme mitjà temporal per a un motor pluricilíndric.

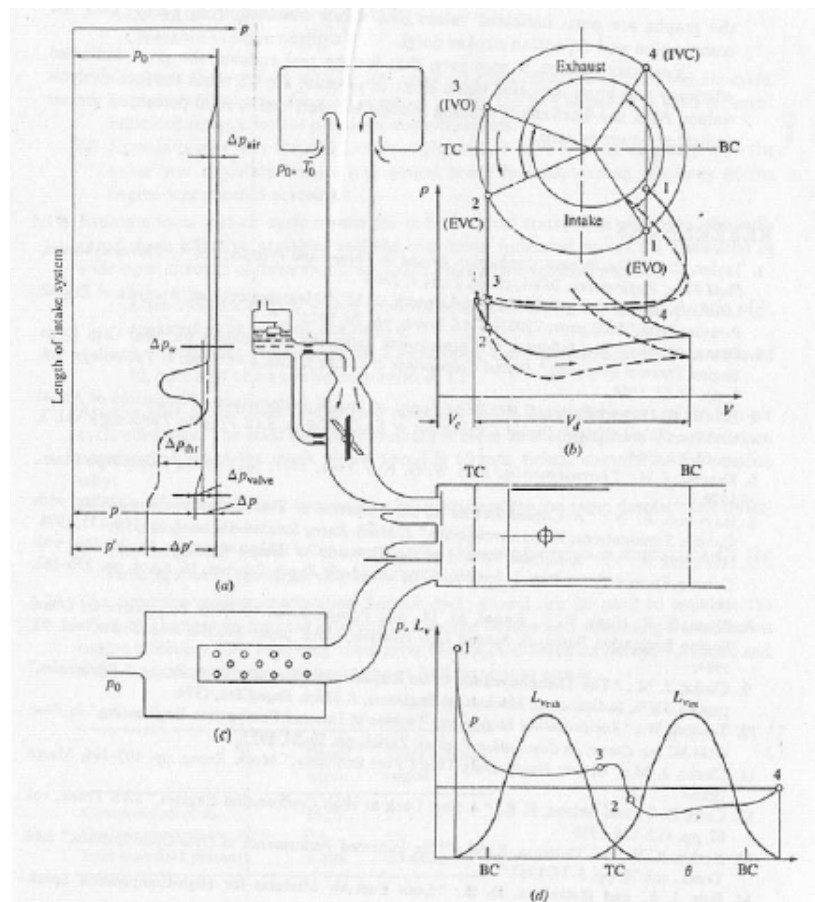


Fig. d.1.- Procesos d'admissió i escapament en un motor 4T

La caiguda de pressió al llarg del sistema d'admissió depèn de la velocitat del motor, de la resistència dels elements del sistema, de l'àrea a través de la qual es mou la mescla fresca, i la densitat de l'aire. La figura d.1.d. mostra el perfil d'alçada de vàlvula d'admissió i escapament respecte l'angle de cigonyal. La pràctica usual és avançar l'obertura de les vàlvules respecte al cicle teòric, per a millorar la càrrega i descàrrega dels cilindres i fer el millor ús de la inèrcia dels gasos en els sistemes admissió i escapament.

El procés d'escapament generalment comença 40 a 60° abans del PMI. Fins al PMI, el gas és descarregat a causa de la diferència de pressió entre el cilindre i el sistema d'escapament. Després del PMI, el cilindre és buidat pel pistó que es mou cap al PMS. Els termes "blowdown" i desplaçament són usats per a referir aquestes dues fases del procés d'escapament. Típicament el RCE és de 15 a 30° després del PMS i el AAA 10 a 20° abans del PMS. Ambdues vàlvules estan obertes durant un període d'encreuament, i quan $p_i/p_e < 1$, existeix una reculada del flux des de l'escapament al cilindre i d'aquest cap al sistema d'admissió. L'avantatge de l'encreuament de vàlvules succeeix a altes revolucions quan un gran encreuament de vàlvules millora l'eficiència volumètrica. La vàlvula d'admissió roman oberta 50 a 70° després del PMI, fet que provoca que la càrrega fresca pot continuar ingressant a causa de la seva inèrcia.

D.2.- Principals efectes en els processos d'admissió i escapament.

Quan el flux circula a través d'un sistema de tubs, càmeres, ports i vàlvules, hi són presents la fricció, les forces de pressió i inèrcia. La importància relativa d'aquestes forces depenen de la velocitat del gas i de la grandària i formes d'aquests passatges i les seves unions. Diversos efectes tenen influència sobre l'eficiència volumètrica, són els següents:

Perdudes per fricció: durant la carrera d'admissió, a causa de la fricció en cada part del sistema d'admissió, tenim una caiguda de pressió total que és la suma de les caigudes de pressió de cada component del sistema.

La majoria de parts tenen una caiguda més aviat petita, però el port i la vàlvula tenen una gran caiguda a causa de les pèrdues per fricció. Com a resultat, la pressió en el cilindre durant el període d'admissió quan el pistó es mou a màxima velocitat pot ser del 10 al 20% més baixa que la pressió atmosfèrica. Per a cada component en els sistemes d'admissió i escapament, segons l'equació de Bernoulli dona,

$$\Delta p_j = \xi_j \rho v_j^2$$

On ξ és el coeficient de resistència per cada component que depèn de la seva geometria, i v_j és la velocitat local. Assumint que el fluid quasi-estàtic, es relaciona amb la velocitat mitja del pistó:

$$v_j A_j = \bar{S}_p A_p$$

On A_j i A_p són les àrees de pas mínima del fluid i àrea del pistó respectivament. Així, la pèrdua de pressió quasi-estàtica total deguda a la fricció és:

$$p_{\text{atm}} - p_c = \sum \Delta p_j = \sum \xi_j \rho v_j^2 = \rho \bar{S}_p^{-2} \sum \xi_j \left(\frac{A_p}{A_j}\right)^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

L'equació 1 indica la importància de les àrees de passada de flux per a reduir les pèrdues per fricció, i la dependència d'aquestes pèrdues amb la velocitat.

Efecte RAM: la pressió en el sistema d'admissió, en un motor pluricilíndric, varia durant cada procés d'admissió dels diferents cilindres a causa de la variació de velocitats dels pistons, obertures de vàlvules i variacions d'àrees; i els efectes dinàmics del flux resultants d'aquestes variacions geomètriques. La massa d'aire induïda dintre de cada cilindre, i així

l'eficiència volumètrica, vé determinada pel nivell de pressió en el port d'admissió durant el període abans que la vàlvula d'admissió tanqui.

A altes velocitats, la inèrcia dels gasos en el sistema d'admissió quan la vàlvula d'admissió està tancant incrementa la pressió en el port i contínuia el procés de càrrega quan el pistó lentament baixa fins a i PMI i comença la carrera de compressió. Aquest efecte es torna progressivament més important quan les revolucions s'incrementen. La vàlvula d'admissió tanca al voltant de 40 a 60° després del PMI, en part per a aprofitar els avantatges d'aquest fenomen.

Flux revertit en l'admissió: La vàlvula d'admissió tanca després que comenci la carrera de compressió, un flux revertit de càrrega fresca des del cilindre cap a l'admissió pot ocórrer quan la pressió en el cilindre s'eleva a causa del moviment del pistó cap al PMS. Aquest flux revertit és gran a baixes rpm. És una conseqüència inevitable del temps que tanca la vàlvula d'admissió per a aprofitar l'efecte RAM a altes revolucions.

Sintonia: el flux polsant de cada cilindre en el procés d'escapament genera ones de pressió en el sistema d'escapament. Aquestes ones de pressió es propaguen a la velocitat local del so relativa al moviment del gas d'escapament. Les ones de pressió interactuen amb les unions i extrems en el múltiple i tubs. Aquestes interaccions causen ones de pressió reflectides cap al cilindre. En motors multicilíndrics, les ones de pressió generades per cada cilindre, transmeses a través de l'escapament i reflectides a l'extrem, poden interactuar unes amb unes altres. Aquestes pressions poden ajudar o perjudicar l'intercanvi dels gasos. Quan ajuden reduint la pressió en el port d'escapament cap al final del procés d'escapament, es diu que l'escapament aquesta sintonitzat.

El moviment del flux en l'admissió produïda pels cilindres causa ones d'expansió que es propaguen dins del conductes d'admissió. Aquestes ones d'expansió poden ser reflectides en l'extrem obert del múltiple causant ones positives de pressió que es propaguessin cap al cilindre. Si el temps d'aquestes ones és apropiat, les ones positives causessin que la pressió en el final del procés d'admissió s'elevi per sobre de la pressió nominal. Això incrementés la massa d'aire induïda, i es diu que els sistema d'admissió està sintonitzat.

D.3.- Variació de l'eficiència volumètrica

Els efectes del flux sobre l'eficiència volumètrica depenen de la velocitat de la càrrega fresca en el múltiple d'admissió, ports i vàlvules. La velocitat local per a fluxos dinàmics són igual al volum del flux dividit per la secció local.

Ja que el sistema d'admissió i les dimensions de la vàlvula estan escalades aproximadament amb el diàmetre del cilindre, la velocitat de la barreja en el sistema d'admissió serà proporcional a la velocitat del pistó.

Així, l'eficiència volumètrica en funció de la velocitat per a diferents motors, hauria de ser comparada en la mateixa velocitat del pistó. La forma d'aquesta eficiència volumètrica respecte la velocitat mitja del pistó pot ser explicada amb l'ajuda de la fig. d.2.

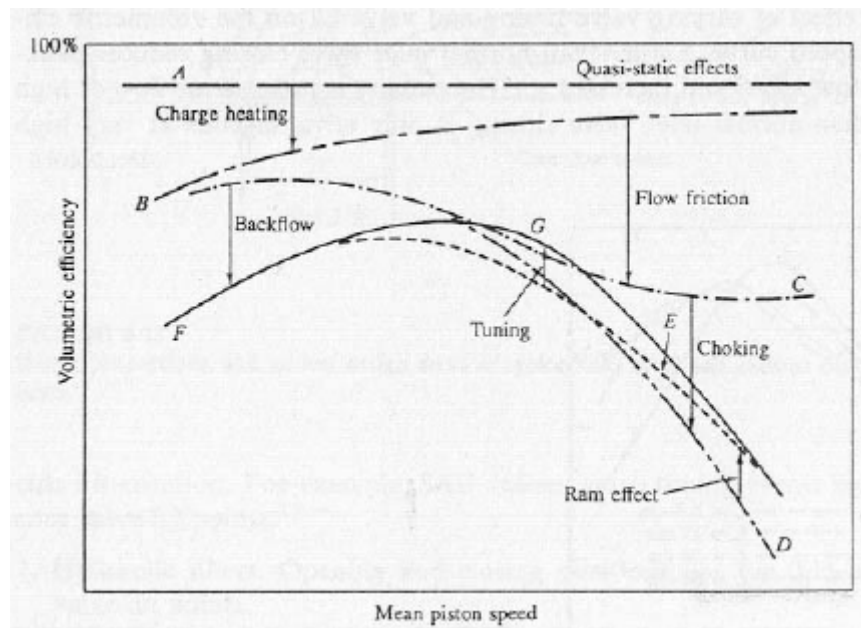


Fig. d.2.- Esquema dels fenòmens que afecten a l'eficiència volumètrica d'un motor

Aquesta mostra, en forma esquemàtica, com cada fenomen descrit afecta a l'eficiència volumètrica. Els efectes que no depenen de la velocitat com la pressió de la mescla i l'escalfament de la càrrega fan caure la corba A a la B. Aquest efecte és més gran a baixes rpm degut a que el gas resideix més temps en tot el sistema.

Les perdudes per fricció s'incrementen amb el quadrat de la velocitat, i fan caure la corba B a la C. A altes velocitats, el flux dintre del motor durant una petita part de procés d'admissió es bloqueja. Quan això succeeix, provoca que un increment en les rpm no incrementi el cabal d'entrada i l'eficiència volumètrica decreixerà ràpidament (corba C a D).

L'efecte d'inducció RAM, a altes velocitats, eleva la corba D a la I. Retardar el tancament de la vàlvula d'admissió, que té l'avantatge d'incrementar la càrrega a altes rpm, resulten en una reducció de l'eficiència volumètrica a baixes velocitats a causa del "backflow" (corba C i D a F).

Finalment, la sintonia dels múltiples d'admissió i escapament incrementen la velocitat d'entrada del fluid en funció del rang de rpm, corba F a G.

Annex E

ANNEX E.- GUIA PER LA REALITZACIÓ DE SIMULACIONS DE CULATES AMB EL CFDESIGN

E.1.- Introducció

Annex on es veuran detalladament tots els passos seguits per la realització de l'estudi de l'admissió de la culata del motor Honda Gx35. Aquest serà realitzat amb una obertura de vàlvula fixa de 1mm. Per la resta d'obertures seguirem els mateixos passos, però amb els canvis d'obertura oportuns.

Per la realització de l'estudi del sistema d'escapament, seguirem els mateixos passos, només en el punt on apliquem les condicions de contorn, s'hauran de canviar per obtenir una circulació de fluid inversa, de sortida. En el punt on les apliquem, també especificarem les condicions pel sistema d'escapament.

E.2.- Descripció i creació de la geometria.

El primer pas serà realitzar l'estudi geomètric de la culata a estudiar, com en el cas del motor Honda, moltes geometries son difícils d'intuir, degut a les seves reduïdes dimensions i al seu difícil accés.

El més usual, si no es disposa dels plànols de la geometria, és la creació de petits motlles de silicona, que ens permetran veure la geometria interna del ports del motor. Tal i com s'observa a la figura 1, el motlle del motor Honda GX35, dibuixat en inventor.

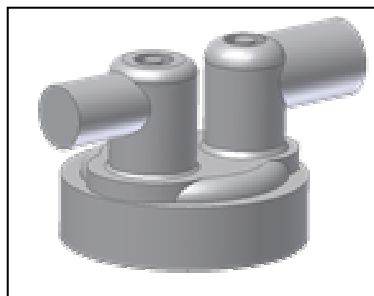


Fig. 1.- Fluid que omple les cavitats de la culata del motor Honda Gx35.

En el moment de crear el model en 3D cal tenir en compte que el CFDesign es compatible amb els següents programes CAD: Pro/E, Inventor, Solid Edge, Solid Works i CATIA V5.

En la memòria s'ha observat que dividirem els estudis en Admissió i Escapament, en el cas de l'admissió que hem d'analitzar, no ens farà falta tota la geometria de la culata, sinó que em els ports d'admissió i la vàlvula d'admissió ja serà suficient per l'anàlisi. Per tant es crea el conjunts format pel port d'admissió del motor de sèrie i la vàlvula d'admissió, tal i com s'observa a la figura 2.

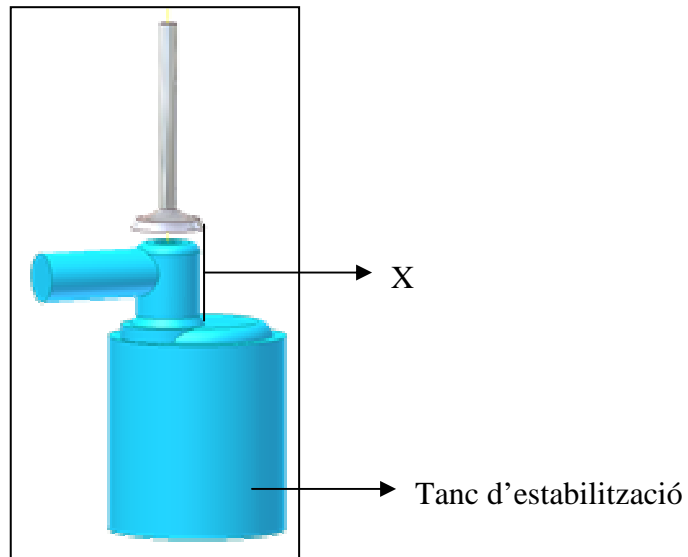


Fig. 2.- Conjunt admissió format pel fluid i la vàlvula

Es important que en el moment d'importar la geometria els dos cossos no estiguin solapats.

S'han de crear dues restriccions, una per que la vàlvula quedi centrada amb la culata, i una altra per assegurar-nos de la distància x, distància entre la vàlvula i el seu seient, aquesta un cop tinguem el model dins el CFD, la necessitarem per crear les obertures de vàlvula..

Una altra adaptació al model real, exposada en el punt 4 de la memòria, serà la creació del tanc d'estabilització. Aquest tancs, no seran més que simples allargaments dels conductes de sortida del fluid.

Per tant en el Admissió allargarem el cilindre, tal i com es mostra en la figura 3, gairebé tres vegades superiors a la carrera real.

E.3.- Importació al CFXDesign

En aquest apartat importarem al CFD el sistema d'admissió creat, format pel conjunt d'escrit anteriorment.

Segons el programa CAD utilitzat tindrem dos maneres diferents d'importar la geometria al CFD.

1.- Si es utilitza el Pro/E o Inventor, a partir de la barra de menús d'aquests, es disposa d'un enllaç directe per importar el conjunt:

Pro/E: A la barra de menús, a Applications/Mechanics/CFDesign.

Inventor: barra de menús, Herramientas/CFDesingInventor/Launch CFdesing

2.- En el cas d'usar Solid Works, Solid Edge o Catia, no es disposa d'enllaç directe, i per tant s'ha d'importar la geometria un cop dins el CFD.

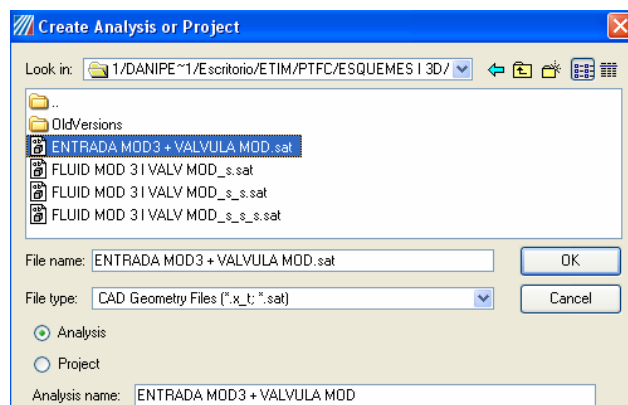
- Entrar dins el CFXDesign.



- Clicar sobre la icona d'un nou estudi.



Apareixerà una finestra hem de buscar l'arxiu creat amb el conjunt a estudiar. Un cop seleccionada. Cliquem OK.



E.4.- Comandaments bàsics de navegació i selecció d'unitats.

Es disposa de quatre modes de Navegació, s'exposen les accions del model 1 que ja be predeterminat, i els seus controls bàsics són:

Acció	Teclat + Rata
Zoom	Ctrl + Boto esquerre rata
Rotació	Ctrl + Boto mig rata
Desplaçament	Ctrl + Boto dret rata
Seleccionar/Deseleccionar	Boto esquerre rata
No visualitzar la cara	Boto dret rata
Tornar a visualitzar la cara	Boto mig rata

Sempre que es seleccioni una àrea aquesta apareixerà numerada en el quadre de l'esquerra de la pantalla anomenat " Model Entity Selection" tal i com mostra la figura 3, aquest ens permetrà seleccionar regions o volums, per posteriorment aplicar les condicions, tipus de mallat, materials, desplaçaments, etc...

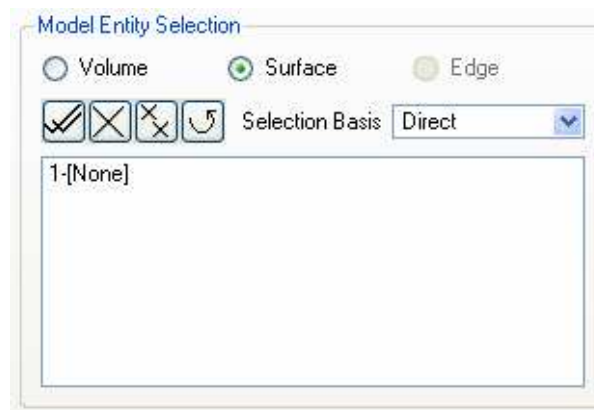


Fig. 3.- Pantalla d'elements seleccionats

A l' esquerra de la pantalla s'observa l'arbre d'informació del anàlisi, tal i com mostra la figura 4, en aquest hem de col·locar les unitats base de longitud, en les que realitzarà els càlculs.

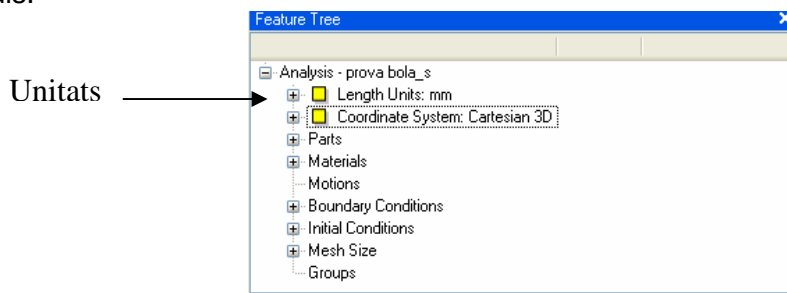


Fig. 4.- Arbre d'informació de l'estudi

És important que un cop seleccionada les unitats en que es realitzarà l'estudi, comprovar que en les mesures del model siguin correctes desitgades. En ocasions les unitats son variades en importar el model del CAD al CFD.

E.5.- Condicions de contorn



A l'esquerra de la pantalla, sota l'arbre d'informació del projecte, es veu les tasques a realitzar de manera molt ordenada i intuïtiva dins el menú "Task dialogs".

El primer pas serà aplicar les condicions de contorns que aplicarem en l'estudi del fluid. Clicar sobre la primera icona dins el menú.

En el cas del model haurem d'aplicar les 2 condicions de contorn següents:

E.5.1.- Entrada

Tal i com s'observa a la figura 5, aplicarem les condicions de contorn a l'entrada del conducte d'admissió, aplicant-hi una pressió relativa de 0 bars.

Seleccionar la cara d'entrada del fluid.

Model Entity Selection: Surface

Boundary conditions: Pressure.

Units: bar

Steady State.

Gage.

Static

Pressure: 0 (bars)

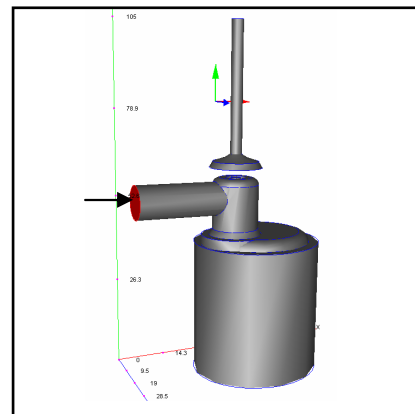


Fig. 5.- Condicions de contorn aplicades a l'entrada del sistema d'admissió

Clicar Apply

E.5.2.- Sortida

Tal i com s'observa a la figura 6, aplicarem una depressió relativa de 0,07 bars dins el cilindre, aquesta depressió serà la creada per un banc de fluxe, en un estudi d'un motor d'aquestes característiques.

Seleccionar la cara de sortida del fluid.

Model Entity Selection: Surface.

Bondary coditions: Pressure.

Units: bar.

Steady State.

Gage

Static.

Pressure: -0,07 (bars)

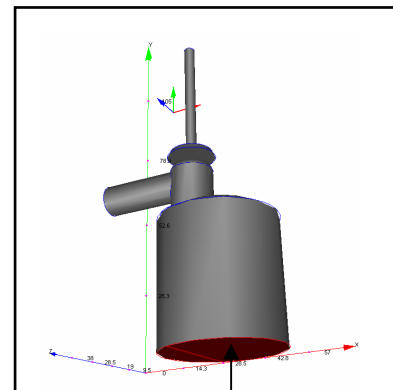


Fig. 6.- Condicions de contorn aplicades la sortida del sistema d'admissió

Clicar Apply

IMPORTANT: Per realitzar l'estudi del *systema d'escapament* aplicarem les mateixes condicions de contorn, però imposant la depressió al port de sortida, i la pressió atmosfèrica de 0 bar relatiu al cilindre. Així es provocarà que el fluid circuli de dins el cilindre cap a l'exterior.

E.6.- Definició del mallat



Es crearà el mallat en tres passos, els dos primers seran mallar per volums i el tercer la superfície del seient de la vàlvula i la superfície de contacte de la vàlvula.

E.6.1.- Mallat per volums (Tal i com s'observa a la figura 7)

Model entity selection: Volume.

-Seleccionar el volum del fluid.

-Element size: 2 (mm)

-Clicar Apply

- Seleccionar el volum de la vàlvula.

- Element size: 1,1 (mm)

- Clicar Apply.

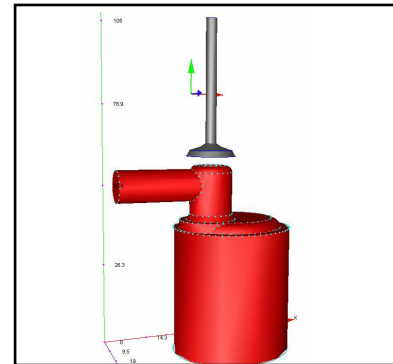


Fig. 7.- Selecció dels volums pel primer mallat bast

E.6.2.- Mallat per cares (Tal i com s'observa a la figura 8)

-Model entity selection: Surface.

-Seleccionar les dos cares del
seient de la vàlvula

-Element size: 0,35 (mm)

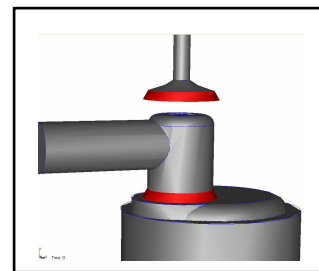


Fig. 8.- Selecció superfícies crítiques per realitzar el
mallat fi.

E.6.3.-Mallat Resultant:

Tal i com s'observa a la figura 9, un cop hagi començat l'estudi ja podrem veure com ens ha quedat el mallat, per tant fins començat el pas 9, no podrem veure el resultat del mallat.

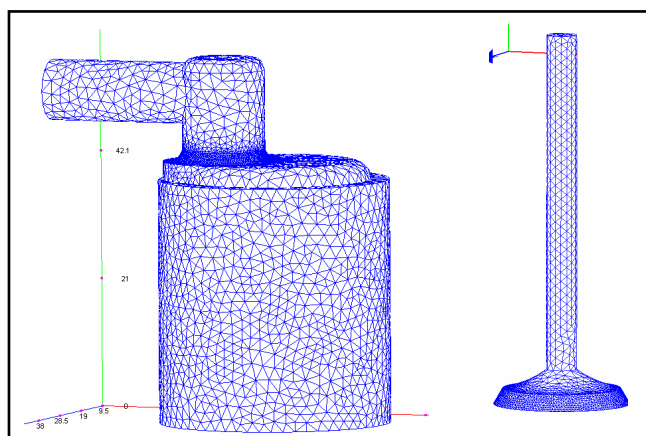


Fig. 9.- Mallat resultant del fluid i la vàlvula

El mallat, tal i com es mostra a la fig. 9, no es constant, i les zones de pas més estretes que tindrà el fluid, seran amb un mallat molt més fi. Aquest fet ens ajudarà a obtenir una simulació més fiable, i alhora més ràpida.

E.7.- Definició dels materials

Tal i com es mostra a la figura 10, el programa CFXDesign ens permet seleccionar diferents tipus de materials, ja creats per el programa. També es podria modificar o crear un nou material.

Model entity selection: Volume

1.- Seleccionar el fluid

- Type: Fluid.
- Name: Air_Buoyancy
- Clicar Apply.

2.- Seleccionar la vàlvula.

- Type: Solid.
- Name: Aluminiun constant
- Clicar Apply

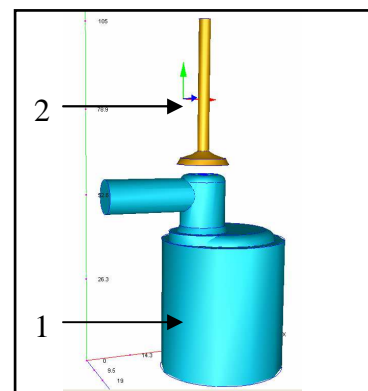


Fig 10.- Selecció dels materials de la simulació

E.8.- Moviment

Una de les grans avantatges del CFXDesign, es la facilitat en que ens permet el moviment dels sòlids dins l'estudi, el que farem es moure la vàlvula la distancia x, fixada en el conjunt inicial, més l'obertura de vàlvula que desitgem.

La distància x, aplicada en aquest cas és de 20 mm, per tant necessitem moure la vàlvula 21 mm en sentit z, per aconseguir una obertura de vàlvula de 1 mm.

- Model entity selection: Volume.
- Seleccionar el volum de la vàlvula.
- Motion assignment: Type: linear.
- Linear motion parameters: Direction vector: 0,1,0 o Global Y
Initial position: -21.
(Nota: son 20 + 1 mm d'obertura.)
- Clicar Aplly

E.9.- Opcions

Segons el tipus d'estudi que desitgem realitzar s'hauran d'escollir diferents opcions, en el nostre cas s'aplicaran les següents condicions.

- Flow: On.
- Compressibility: Compressible.
Total Temperature: 26,95 °C (predeterminat)
- Heat transfer: Off
- Turbulence: Seleccionar Turbulent. I clicar ok.

E.10.- Anàlisis

Analyze:

Analysis Mode: Transient.

Transient parameters: Time Step Size: 0,1

Stop Time: -1

Inner iterations: 1

Save interals: tal i com està no tocar.

Analyze: Continue from: 0.

Time Steps to Run: 100

Clicar Go.

Aquest és el primer pas per l'anàlisi, amb aquest pas es crea el mallat, i el programa comprova que no hi hagi cap incoherència en l'entrada de dades.

Un cop comença l'estudi, es dividirà en passos, en el cas del nostre estudi s'ha decidit realitzar uns 100 passos. Tal i com s'observa a la figura 11, s'anomena el gràfic de convergència de paràmetres, i ens indica l'evolució de tots els paràmetres estudiats, un cop veiem que aquests tendeixen a estabilitzar-se, podem donar l'estudi per finalitzat.

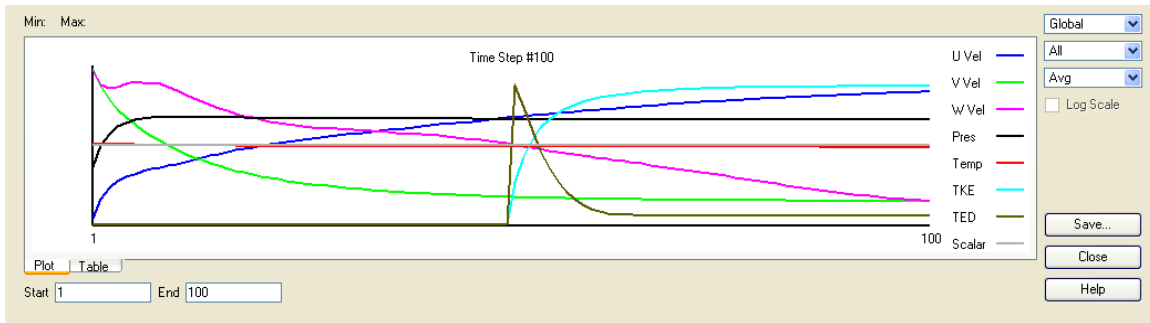


Fig. 11.- Gràfic de convergència de paràmetres

Com més iteracions es realitzin més precisió s'aconseguirà en l'estudi, però cal tenir en compte el temps de càlcul.

E.11.- Resultats a temps real de anàlisi

Un cop iniciat el càlcul, ja ens serà possible realitzar diferents operacions per l'obtenció de les dades de l'estudi a temps real, de forma escalar o vectorial.

L'eina que principalment s'usarà per l'obtenció dels resultats, serà l'anomenat "cut surface", o tall, tal i com s'observa a la figura 11. Aquest ens permetrà crear plans que tallin el model estudiat, i mostrar els resultats tant escolars com vectorials de la secció del paràmetre desitjat.

E.11.1.- Creació del talls

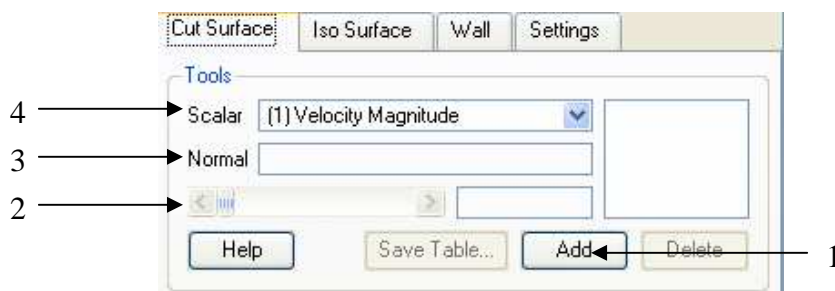


Fig. 11.- Pantalla per la creació de talls de visualització i presa de les dades experimentals

Passos a seguir per la creació del talls:

- 1.- Anar a la pestanya cut surface, tools, i clicar sobre **Add**. Automàticament es crearà un pla que tallarà el model. En podem crear tants com siguin necessaries.
- 2.- Aquest pla el podem desplaçar en sentit perpendicular a aquest, mitjançant el **cursor mòbil**.
- 3.- Si es desitja canviar el pla de la secció, ho indicarem mitjançant les coordenades del pla. Per exemple (0,0,1) dins on indica **Normal**.
- 4.- S'escollirà el paràmetre que voldrem visualitzar en els resultats gràfics.

Per la realització de la presa i visualització de dades que necessitem, necessitem tres seccions. 1.- Secció del port d'admissió, 2.- Secció del cilindre, 3.- Secció transversal. Un cop realitzades les tres seccions es visualitzarà l'estudi tal i com es s'observa a la figura 12.

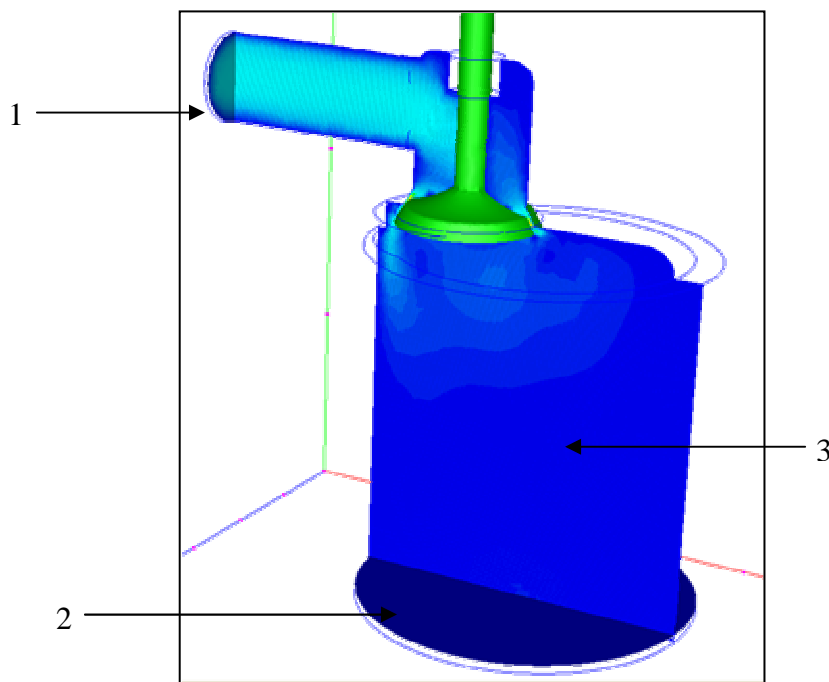


Fig. 12.- Visualització a temps real dels talls de visualització i adquisició dels resultats

E.11.2.- Aparença:

Tal i com s'observa a la figura 13, i situada sota la finestra de creació dels talls, a la pestanya de controls. Aquest pas no cada usuari realitzarà els canvis oportuns segons les zones que desitja visualitzar.

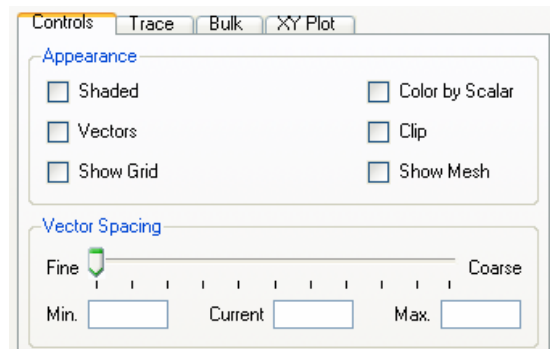


Fig. 13.- Pantalla per la modificació de l'aparença dels talls de mesura

Per una millor visualització dels talls, es pot modificar i controlar la seva aparença, es pot realitzar un aparença Shaded o vectorial. Els vectors es podrà modificar la seva intensitat, mitjançant el cursor mòvil.

E.11.3.- Resultats numèrics:

Situada sota la finestra de creació dels talls, dins el grup de pestanyes de control, hi ha la pestanya de **Bulk**, mostrada a la figura 14. Aquesta pestanya ens permetrà visualitzar els resultats numèrics de diferents paràmetres, dels talls creats.

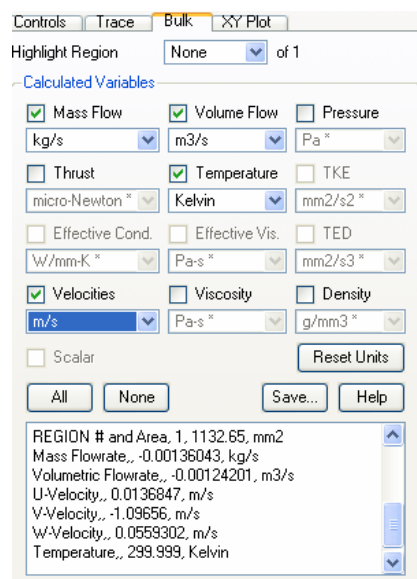


Fig. 14.- Pantalla per l'adquisició dels resultats numèrics dels talls

E.12.- Resultats postanàlisis

E.12.1.- Resultats numèrics

Tornarem al bulk i agafarem les dades finals dels talls d'entrada i sortida, per tant ja tindrem totes les dades experimentals, tan de l'entrada com de la sortida del fluid en travessar el sistema d'admissió amb una obertura de vàlvula de 1 mm.

Els resultats els podem veure en les taules de l'Annex X, on es veuen els diferents paràmetres en funció de les diferents obertures fixes de vàlvula de cada estudi.

Combinant les següents dades experimentals amb les dades geomètriques del sistema, podrem calcular el Cd.

E.12.2.- Gràfics XY

Es podran realitzar gràfics XY, una utilitat seria extreure els gràfics de la figura 15, que ens mostren la velocitat dels talls on prenem les dades, per tant la curva perfecte de fluid ens mostra que la presa de dades la fem en un punt on el fluid té un règim estable.

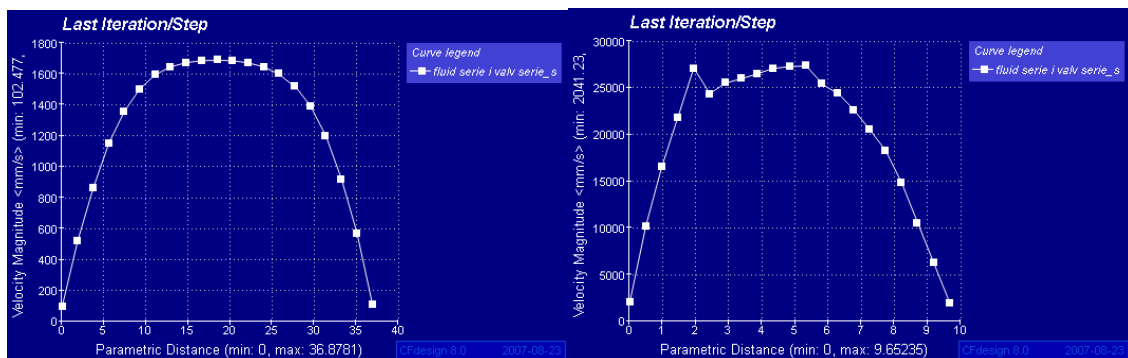


Fig. 15.- Gràfics XY de la velocitats d'entrada i sortida del model.

E.12.3.- Línies de fluxe

Tal i com s'observa a la figura 16, els diagrames de línies de fluxe, ens mostren d'una manera molt intuïtiva de la manera com es comporta el fluid en travessar el sistema d'entrada. També es molt útil per veure com entra el fluid i com es reparteix dins el cilindre.

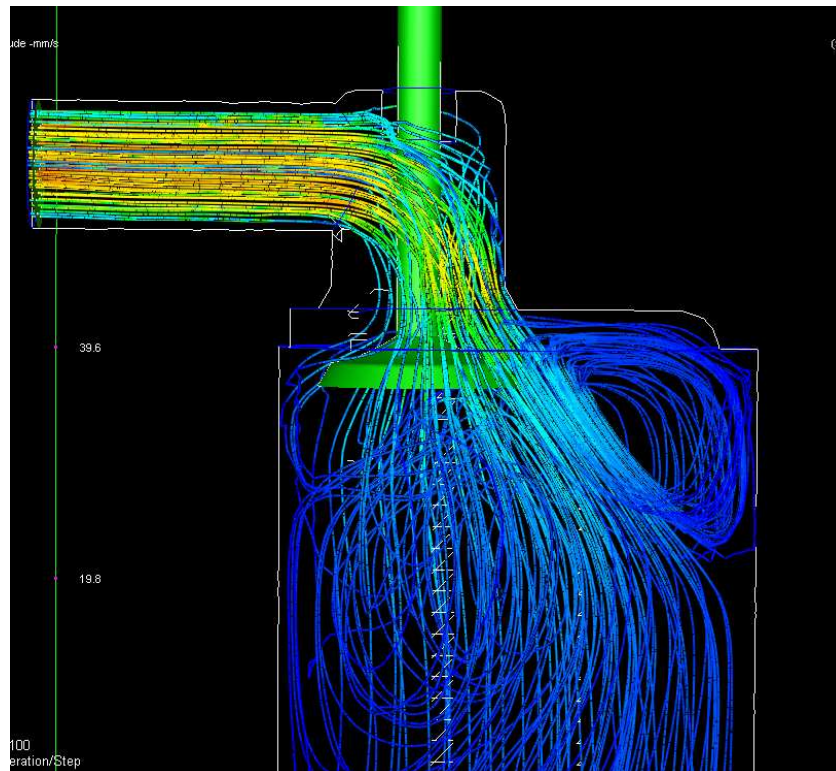


Fig. 16.- Diagrames de línies de fluxe del sistema d'admissió del motor Honda GX35 de sèrie

Annex E

ANNEX F.- DADES EXPERIMENTALS DEFINITIVES

F.1.- Presa de dades

F.1.1.- Admissió motor de sèrie

L [mm]	Qe [kg/s]	Qs [kg/s]	VFR _e [m3/s]	VFR _s [m3/s]	Ve [m/s]	Vs [m/s]	Te [K]	Ts [K]	Pre [Pa]	Prs [Pa]
S/V	1,30E-02	1,30E-02	1,03E-02	1,15E-02	134	10,20	279	292	-1,36E-15	-7000
0,5	2,98E-03	3,09E-03	2,47E-03	2,76E-03	32	2	292	293,14	-4,78E-17	-7000
1	4,70E-03	4,88E-03	3,87E-03	4,35E-03	51	3,84	290,67	293	-8,72E-17	-7000
1,5	6,43E-03	6,67E-03	5,26E-03	5,95E-03	69	5	289	293,11	-1,30E-16	-7000
2	7,25E-03	7,55E-03	5,90E-03	6,74E-03	77	6	287	293,10	-1,51E-16	-6999
2,5	8,18E-03	8,51E-03	6,62E-03	7,59E-03	87	6,70	286	293	-1,76E-16	-6999
3	8,53E-03	8,88E-03	6,90E-03	7,92E-03	90	7	285	293,08	-1,84E-16	-6999
3,5	9,14E-03	9,51E-03	7,36E-03	8,48E-03	96	7	284	293,08	-2,00E-16	-6999
4	9,59E-03	9,99E-03	7,70E-03	8,91E-03	101	8	283	293,02	-2,11E-16	-6998
6	9,76E-03	9,71E-03	8,02E-03	8,64E-03	104	8	290	299	-2,60E-16	-6998

F.1.2.- Admissió modificada 1

L [mm]	Qe [kg/s]	Qs [kg/s]	VFR _e [m3/s]	VFR _s [m3/s]	Ve [m/s]	Vs [m/s]	Te [K]	Ts [K]	Pre [Pa]	Prs [Pa]
S/V	1,35E-02	1,35E-02	1,13E-02	1,23E-02	84	10,83	296	298	-1,26E-13	-6925
0,5	3,96E-03	3,95E-03	3,36E-03	3,60E-03	25	3	300	299,99	-7,76E-14	-7000
1	5,26E-03	5,24E-03	4,46E-03	4,79E-03	33	4,22	299,34	300	-1,02E-13	-7000
1,5	6,80E-03	6,78E-03	5,76E-03	6,19E-03	43	5	299	299,98	-1,23E-13	-7000
2	7,84E-03	7,82E-03	6,63E-03	7,14E-03	49	6	299	299,97	-1,30E-13	-6999
2,5	8,77E-03	8,75E-03	7,41E-03	7,98E-03	55	7,05	298	300	-1,99E-13	-6999
3	9,50E-03	9,47E-03	8,01E-03	8,64E-03	60	8	298	299,96	-2,23E-13	-6999
3,5	1,04E-02	1,04E-02	8,79E-03	9,49E-03	66	8	297	299,95	-2,95E-13	-6999
4	1,11E-02	1,11E-02	9,37E-03	1,01E-02	70	9	297	299,94	-3,28E-13	-6999
6	1,17E-02	1,17E-02	9,86E-03	1,07E-02	74	9	297	299,93	-3,64E-13	-6998

F.1.3.- Admissió modificada 2

L [mm]	Qe [kg/s]	Qs [kg/s]	VFR _e [m3/s]	VFR _s [m3/s]	Ve [m/s]	Vs [m/s]	Te [K]	Ts [K]	Pre [Pa]	Prs [Pa]
S/V	1,61E-02	1,61E-02	1,34E-02	1,46E-02	100	12,86	294	297	-1,97E-13	-6934
0,5	4,26E-03	4,25E-03	3,66E-03	4,78E-03	27	3,73	299	299,97	2,32E-13	-7000
1	5,64E-03	5,63E-03	4,78E-03	5,14E-03	36	4,54	299,23	300	3,30E-13	-7000
1,5	8,44E-03	8,41E-03	7,13E-03	7,67E-03	53	7	298	299,96	6,31E-13	-6999
2	8,94E-03	8,91E-03	7,55E-03	8,13E-03	56	7	298	299,97	7,04E-13	-6999
2,5	9,77E-03	8,86E-03	8,24E-03	8,86E-03	61	7,83	298	300	8,47E-13	-7000
3	1,02E-02	1,01E-02	8,59E-03	9,25E-03	64	8	298	299,96	9,25E-13	-7000
3,5	1,12E-02	1,11E-02	9,41E-03	1,01E-02	70	9	297	299,95	1,18E-12	-6999
6	1,18E-02	1,18E-02	9,95E-03	1,07E-02	74	9	297	299,93	1,36E-12	-6998

F.1.4.- Escapament motor de sèrie

L [mm]	Qe [kg/s]	Qs [kg/s]	VFR _e [m ³ /s]	VFR _s [m ³ /s]	Ve [m/s]	Vs [m/s]	Te [K]	Ts [K]	Pre [Pa]	Prs [Pa]
S/N	7,02E-03	7,09E-03	5,96E-03	6,42E-03	5	57,43	300	297	7,00E+03	0
0,5	1,44E-03	1,49E-03	1,15E-03	1,23E-03	1	12	299	300,00	6,99E+03	0
1	1,94E-03	1,95E-03	1,68E-03	1,79E-03	1	13,31	299,99	300	6,90E+03	0
1,5	3,89E-03	3,90E-03	3,09E-03	3,30E-03	3	29	300	299,32	7,00E+03	0
2	5,97E-03	6,00E-03	4,75E-03	5,09E-03	4	45	300	298,44	7,00E+03	0
2,5	6,33E-03	6,38E-03	4,99E-03	5,34E-03	4	46,00	300	298	6,99E+03	0
3	6,89E-03	6,96E-03	5,48E-03	5,80E-03	5	52	300	298	6,99E+03	0
3,5	6,99E-03	7,05E-03	5,56E-03	5,95E-03	5	53	300	297,85	6,99E+03	0
4	6,86E-03	6,94E-03	4,85E+00	5,84E-03	5	52	300	298	6,99E+03	0
6	7,02E-03	7,09E-03	5,96E-03	6,42E-03	5	57,43	300	297	7,00E+03	0

F.1.5.- Escapament motor de sèrie

L [mm]	Qe [kg/s]	Qs [kg/s]	VFR _e [m ³ /s]	VFR _s [m ³ /s]	Ve [m/s]	Vs [m/s]	Te [K]	Ts [K]	Pre [Pa]	Prs [Pa]
S/N	9,02E-03	9,04E-03	7,66E-03	8,18E-03	7	56,77	300	298	6,99E+03	0
0,5	1,16E-03	1,21E-03	1,16E-03	1,27E-03	2	17	299	302,00	6,99E+03	0
1	1,74E-03	1,75E-03	1,38E-03	1,49E-03	1	13,31	299,99	300	6,90E+03	0
1,5	3,89E-03	3,90E-03	3,09E-03	3,30E-03	3	29	300	299,32	7,00E+03	0
2	5,97E-03	6,00E-03	4,75E-03	5,09E-03	4	45	300	298,44	7,00E+03	0
2,5	6,33E-03	6,38E-03	4,82E-03	5,44E-03	4	46,00	300	298	6,99E+03	0
3	6,89E-03	6,96E-03	5,48E-03	5,80E-03	5	52	300	298	6,99E+03	0
3,5	6,99E-03	7,05E-03	5,56E-03	5,95E-03	5	53	300	297,85	6,99E+03	0
4	7,02E-03	7,08E-03	5,54E-03	5,94E-03	5	52	300	298	6,99E+03	0
6	9,02E-03	9,04E-03	7,66E-03	8,18E-03	7	56,77	300	298	6,99E+03	0

F.2.- Resultats numèrics

F.2.1.- Admissió motor sèrie

L [mm]	Mid [kg/s]	Cs	At [m ²]	Ain [m ²]	Ate [m ²]	Cd Serie	RATIO P	Apt [m ²]
S/N	0,017279	0,684731	7,85E-05	7,85E-05	1,02E-04	0,75	1,08	1,36E-04
0,5	0,017243	0,684731	1,09E-05	7,85E-05	2,40E-05	0,18	1,08	1,36E-04
1	0,017243	0,684731	2,20E-05	7,85E-05	3,77E-05	0,28	1,08	1,36E-04
1,5	0,017244	0,684731	3,36E-05	7,854E-05	5,14E-05	0,39	1,08	1,36E-04
2	0,017245	0,684731	4,54E-05	7,85E-05	5,78E-05	0,44	1,08	1,36E-04
2,5	0,017245	0,684731	5,77E-05	7,85E-05	6,51E-05	0,49	1,08	1,36E-04
3	0,017245	0,684731	7,34E-05	7,85E-05	6,78E-05	0,52	1,08	1,36E-04
4	0,017245	0,684731	7,85E-05	7,85E-05	7,55E-05	0,55	1,08	1,36E-04
6	0,017247	0,684731	7,85E-05	7,85E-05	6,10E-05	0,58	1,08	1,36E-04

F.2.2.- Admissió motor modificat 1

L [mm]	Mid [kg/s]	Cs	At [m2]	Ain [m2]	Ate [m2]	Cd Serie	RATIO P	Apt [m2]
S/V	0,017105	0,684731	1,36E-04	1,36E-04	1,10E-04	0,79	1,07	1,36E-04
0,5	0,017045	0,684731	1,09E-05	1,36E-04	3,23E-05	0,23	1,08	1,36E-04
1	0,017045	0,684731	2,20E-05	1,36E-04	4,28E-05	0,31	1,08	1,36E-04
1,5	0,017045	0,684731	3,36E-05	1,36E-04	5,53E-05	0,40	1,08	1,36E-04
2	0,017046	0,684731	4,54E-05	1,36E-04	6,37E-05	0,46	1,08	1,36E-04
2,5	0,017046	0,684731	5,77E-05	1,36E-04	7,13E-05	0,51	1,08	1,36E-04
3	0,017046	0,684731	7,34E-05	1,36E-04	7,72E-05	0,56	1,08	1,36E-04
4	0,017046	0,684731	9,22E-05	1,36E-04	8,44E-05	0,61	1,08	1,36E-04
6	0,017047	0,684731	1,13E-04	1,36E-04	9,00E-05	0,65	1,08	1,36E-04

F.2.3.- Admissió motor modificat 2

L [mm]	Mid [kg/s]	Cs	At [m2]	Ain [m2]	Ate [m2]	Cd Serie	RATIO P	Apt [m2]
S/V	0,01713	0,68473	1,36E-04	1,36E-04	1,31E-04	0,94	1,07	1,36E-04
0,5	0,01705	0,68473	1,09E-05	1,36E-04	4,65E-05	0,33	1,08	1,36E-04
1	0,01705	0,68473	2,20E-05	1,36E-04	4,60E-05	0,33	1,08	1,36E-04
1,5	0,01705	0,68473	3,36E-05	1,36E-04	6,86E-05	0,49	1,08	1,36E-04
2	0,01705	0,68473	4,54E-05	1,36E-04	7,26E-05	0,52	1,08	1,36E-04
2,5	0,01705	0,68473	5,77E-05	1,36E-04	7,94E-05	0,53	1,08	1,36E-04
3	0,01705	0,68473	7,34E-05	1,36E-04	8,28E-05	0,59	1,08	1,36E-04
4	0,01705	0,68473	9,22E-05	1,36E-04	9,02E-05	0,65	1,08	1,36E-04
6	0,01705	0,68473	1,36E-04	1,36E-04	9,55E-05	0,69	1,08	1,36E-04

F.2.4.- Escapament motor sèrie

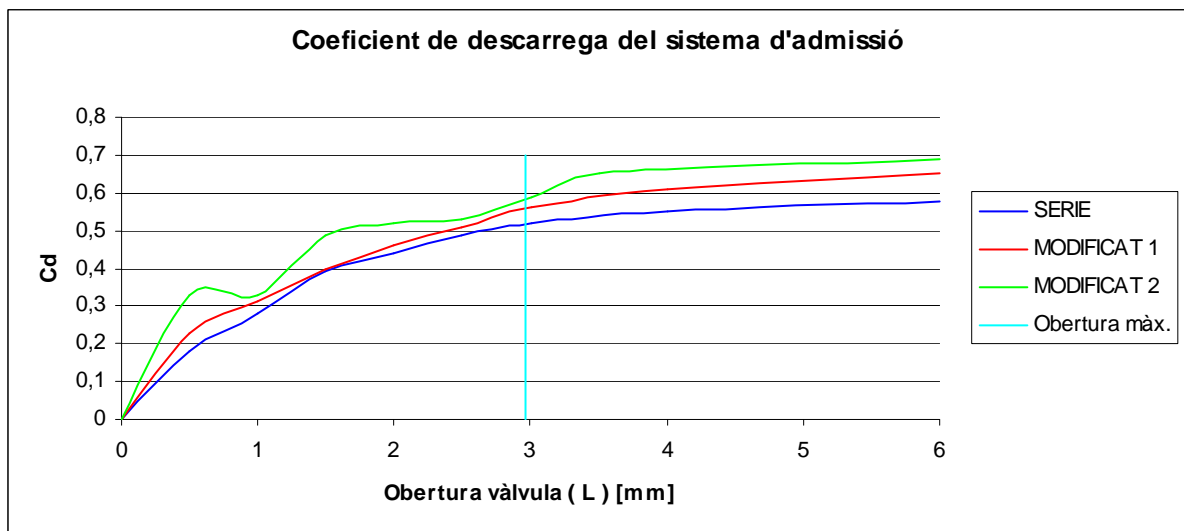
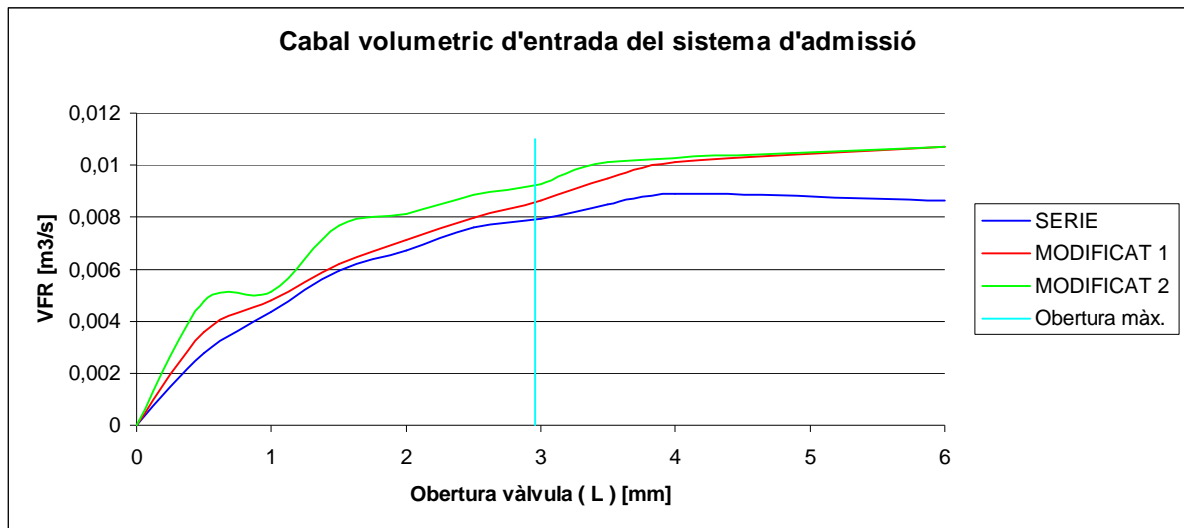
L [mm]	Mid [kg/s]	Cs	At [m2]	Ain [m2]	Ate [m2]	Cd Mod 1	RATIO P	Apt [m2]
S/V	0,02650	0,68473146	1,13E-04	1,13E-04	5,52E-05	0,48	1,07	1,15E-04
0,5	0,02639	0,68473146	1,42E-05	1,13E-04	1,13E-05	0,10	1,07	1,15E-04
1	0,02640	0,68473146	2,90E-05	1,13E-04	1,54E-05	0,13	1,07	1,15E-04
1,5	0,02642	0,68473146	4,43E-05	1,13E-04	3,06E-05	0,27	1,07	1,15E-04
2	0,02646	0,68473146	6,14E-05	1,13E-04	4,69E-05	0,41	1,07	1,15E-04
2,5	0,02646	0,68473146	8,03E-05	1,13E-04	4,98E-05	0,43	1,07	1,15E-04
3	0,02649	0,68473146	9,99E-05	1,13E-04	5,42E-05	0,47	1,07	1,15E-04
4	0,02649	0,68473146	1,13E-04	1,13E-04	5,50E-05	0,48	1,07	1,15E-04
6	0,02649	0,68473146	1,13E-04	1,13E-04	5,40E-05	0,47	1,07	1,15E-04

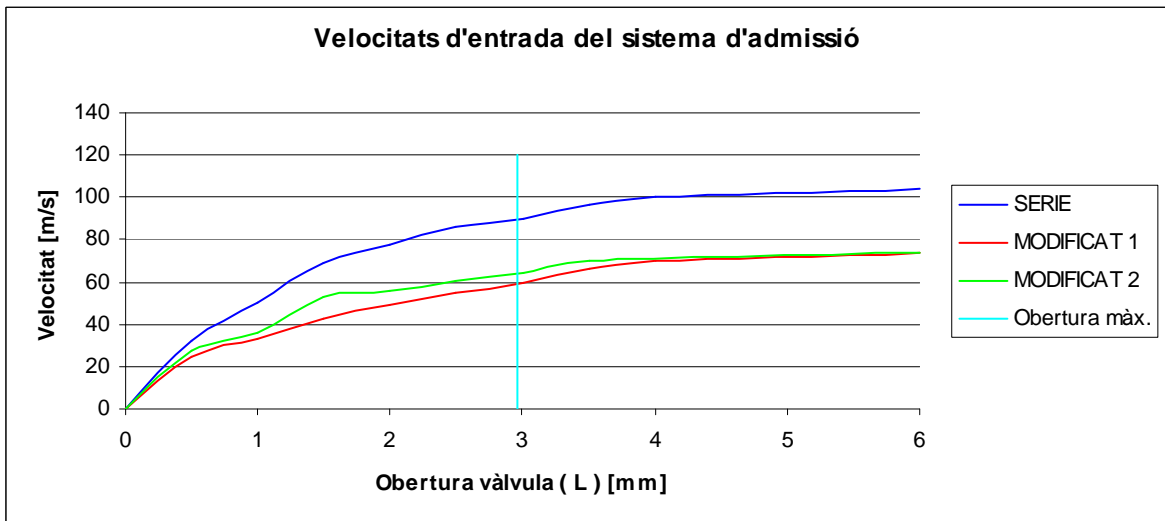
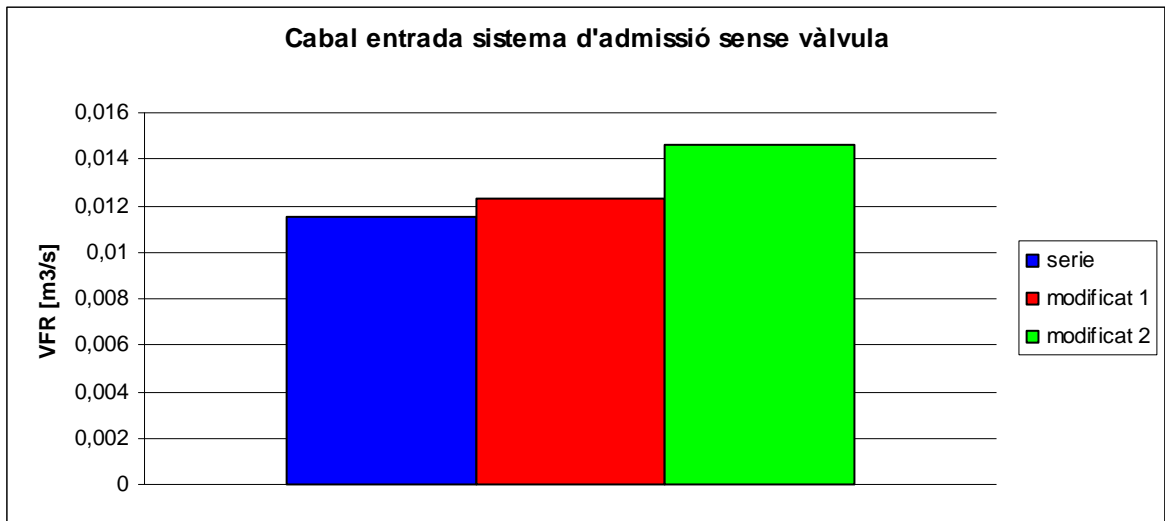
F.2.5.- Escapament motor modificat

L [mm]	Mid [kg/s]	Cs	At [m2]	Ain [m2]	Ate [m2]	Cd Mod 1	RATIO P	Apt [m2]
S/V	0,03158	0,68473	1,35E-04	1,35E-04	7,09E-05	0,62	1,07	1,14E-04
0,5	0,02653	0,68473	1,42E-05	1,35E-04	9,13E-06	0,08	1,07	1,14E-04
1	0,03146	0,68473	2,90E-05	1,35E-04	1,38E-05	0,12	1,07	1,14E-04
1,5	0,03149	0,68473	4,43E-05	1,35E-04	3,06E-05	0,27	1,07	1,14E-04
2	0,03153	0,68473	6,14E-05	1,35E-04	4,69E-05	0,41	1,07	1,14E-04
2,5	0,03154	0,68473	8,03E-05	1,35E-04	4,98E-05	0,44	1,07	1,14E-04
3	0,03156	0,68473	9,99E-05	1,35E-04	5,42E-05	0,48	1,07	1,14E-04
4	0,03157	0,68473	1,35E-04	1,35E-04	5,50E-05	0,48	1,07	1,14E-04
6	0,03156	0,68473	1,35E-04	1,35E-04	5,52E-05	0,48	1,07	1,14E-04

F.3.- Resultats Gràfics

F.3.1.- Sistema d'Admissió





F.3.1.- Sistema d'Escapament

