

Treball final de màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: Optimització del sistema d'escapament per a un ciclomotor de 49 cm³

Document: Memòria

Alumne: Ernest Ayala Pastor

Director/tutor: Lino Montoro Moreno

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Màquines i Motors Tèrmics

Convocatòria: Juny 2015

Índex de continguts

1. GLOSSARI	7
2. PROPOSTA	7
2.1. Origen del projecte	7
2.2. Motivació	8
2.3. Requeriments previs.....	8
3. INTRODUCCIÓ	8
3.1. Antecedents	8
3.2. Objecte del projecte.....	9
3.3. Especificacions i abast.....	9
4. DESCRIPCIÓ GENERAL DEL PROJECTE.....	9
4.1. Metodologia de treball	9
4.1.1. Estudi teòric.....	9
4.1.2. Captació de dades.....	10
4.1.3. Simulació.....	10
4.1.4. Disseny.....	10
4.1.5. Fabricació	11
4.1.5.1. Fabricació models en cartró.....	11
4.1.5.2. Fabricació escapaments en acer.....	11
4.1.6. Prova en banc de potència	11
5. CONCEPTES TEÒRICS.....	12
5.1. Escapament 2T.....	12
5.1.1. Introducció	12
5.1.2. Funcionament.....	13

5.1.3.	Geometria	15
5.1.3.1.	Colze	15
5.1.3.2.	Conus.....	15
5.1.3.3.	Cambra d'expansió	16
5.1.3.4.	Contra-conus.....	16
5.1.3.5.	Agulló	16
5.2.	Simulador OpenWam.....	17
5.2.1.	Introducció.....	17
5.2.2.	Mètodes de càlcul	17
5.2.3.	Blocs disponibles.....	18
6.	CAPTACIÓ DE DADES	19
6.1.	Metodologia.....	19
6.2.	Programa 2T Exhaust Calculator	20
6.3.	Programa OpenWam.....	21
6.3.1.	Blocs utilitzats.....	21
6.3.2.	Dades requerides.....	22
6.3.2.1.	Conducte 1 (Exterior – Caixa filtre)	22
6.3.2.2.	Conducte 2 (Caixa filtre – Carburador)	23
6.3.2.3.	Conducte 3 (Carburador – Càrter)	23
6.3.2.4.	Port d'admissió	24
6.3.2.5.	Port d'escapament	25
6.3.2.6.	Caixa del filtre.....	25
6.3.2.7.	Càrter	26
6.3.2.8.	Vàlvula de làmines.....	26
6.3.2.9.	Transfer admissió	27
6.3.2.9.1.	Càlcul dels coeficients de descàrrega	27
6.3.2.10.	Transfer escapament.....	29

6.3.2.10.1.	Càlcul dels coeficients de descàrrega.....	29
6.3.2.11.	Motor 2T	31
6.3.2.12.	Condicions inicials	33
6.3.3.	Escapament.....	34
6.3.3.1.	Colze	34
6.3.3.2.	Conus.....	35
6.3.3.3.	Cambra d'expansió	36
6.3.3.4.	Contra-conus.....	37
6.3.3.5.	Agulló	38
7.	SIMULACIÓ I RESULTATS	38
7.1.	Programa 2T Exhaust Calculator	38
7.1.1.	Metodologia.....	38
7.1.2.	Escapament a baixes revolucions (7000 rpm)	39
7.1.3.	Escapament a altes revolucions (9000 rpm).....	40
7.2.	Programa OpenWam.....	40
7.2.1.	Metodologia	40
7.2.2.	Simulació escapament a baixes revolucions (7000 rpm)	41
7.2.2.1.	Cambra d'expansió	41
7.2.2.2.	Conus.....	42
7.2.2.3.	Contra-conus.....	42
7.2.2.4.	Colze	43
7.2.2.5.	Geometria de l'escapament.....	43
7.2.2.6.	Corba de potència.....	44
7.2.3.	Simulació escapament a altes revolucions (9000 rpm)	45
7.2.3.1.	Cambra d'expansió	45
7.2.3.2.	Conus.....	46
7.2.3.3.	Contra-conus.....	46

7.2.3.4.	Colze	47
7.2.3.5.	Geometria de l'escapament	47
7.2.3.6.	Corba de potència.....	48
8.	DISSENY	48
8.1.	Desenvolupament de xapa.....	49
8.1.1.	Tub Ø28 0º-15º (A.4.)	49
8.1.2.	Tub Ø28 15º-15º (A.5.)	50
8.1.3.	Conus Ø25x240xØ75 (B.8.).....	51
8.1.4.	Conus Ø75x200xØ17 (B.10.).....	52
8.1.5.	Conus Ø25x175xØ75 (C.8.).....	53
8.1.6.	Conus Ø75x170xØ17 (C.10.)	54
8.2.	Plànols	55
8.2.1.	Informació	56
8.2.2.	Plànol 1. Especejament.....	57
8.2.3.	Plànol 2. Peces cartró (A2-A4-A5-C7)	58
8.2.4.	Plànol 3. Peces cartró (B7-A11).....	59
8.2.5.	Plànol 4. Peces cartró (A6-A3)	60
8.2.6.	Plànol 5. Peces cartró (B8)	61
8.2.7.	Plànol 6. Peces cartró (B9)	62
8.2.8.	Plànol 7. Peces cartró (B10-C10)	63
8.2.9.	Plànol 8. Peces cartró (C8-C9).....	64
8.2.10.	Plànol 9. Peces acer (A1)	65
8.2.11.	Plànol 10. Peces acer (A2-A3-A4-A5-A6).....	66
8.2.12.	Plànol 11. Peces acer (B7-C7-A11).....	67
9.	FABRICACIÓ	68
9.1.	Fabricació models de cartró.....	68

9.1.1.	Tall del desenvolupament 2D dels elements	68
9.1.2.	Unió dels elements	68
9.2.	Fabricació escapaments en acer	69
9.2.1.	Preparació de material.....	69
9.2.2.	Tall de tub i poliment.....	70
9.2.3.	Marcació, tall i poliment de xapa	70
9.2.4.	Plegat manual de xapa	70
9.2.5.	Soldadura	71
10.	PROVA EN BANC MOTOR	72
10.1.	Resultats prova escapament 7000 rpm.....	73
10.2.	Resultats prova escapament 9000 rpm.....	73
11.	COMPARATIVA ENTRE LA RESPOSTA TEÒRICA I REAL	74
11.1.	Escapament 7000 rpm.....	74
11.2.	Escapament 9000 rpm.....	75
12.	ESTAT D'AMIDAMENTS	76
12.1.	Material.....	76
12.2.	Mà d'obra	77
13.	PRESSUPOST	77
13.1.	Material.....	77
13.2.	Mà d'obra	78
14.	CONCLUSIONS.....	79
15.	AGRAÏMENTS	80
16.	BIBLIOGRAFIA	81
17.	ANNEX.....	82
17.1.	Aspectes teòrics generals.....	82
17.1.1.	Motor de 2 temps (2T)	82
17.1.3.	Funcionament.....	83

17.1.4.	Cicle pràctic.....	84
17.1.5.	Disseny dels elements - Llumeneres.....	84
17.1.6.	Diagrama de distribució.....	85
17.1.7.	Admissió.....	86
17.1.8.	Faldilla del pistó.....	86
17.1.9.	Vàlvula rotativa.....	87
17.1.10.	Vàlvula de làmines.....	87
17.1.11.	Injecció directa/indirecta.....	88
17.2.	Elements.....	89
17.2.1.	Càrter.....	89
17.2.2.	Cilindre.....	89
17.2.3.	Culata.....	90
17.2.4.	Cigonyal.....	90
17.2.5.	Biela.....	91
17.2.6.	Pistó i segments.....	91
18.	INDEX DE FIGURES.....	92
19.	INDEX DE TAULES.....	95

1. GLOSSARI

- **2T** – Fa referència a un motor de 2 temps de combustió interna.
- **4T** – Fa referència a un motor de 4 temps de combustió interna.
- **PMI** – És l'acrònim de punt mort inferior, posició més baixa que pot assolir un pistó durant el seu moviment alternatiu.
- **Transfer** – Conducte d'unió entre el càrter del motor i la cambra de combustió.
- **RPM** – És l'acrònim de revolucions per minut.
- **CV** – És l'acrònim de cavalls de vapor, una unitat de potència.
- **Bufador** – Tècnica de soldadura que utilitza un gas combustible per fondre el metall i unir-lo també conegut com a soplet.
- **CC** – És l'acrònim de les unitats de volum centímetres cúbics (cm³).
- **OpenWam** – Simulador creat per el CMT de la Universitat Politècnica de València.
- **PMS** – És l'acrònim de punt mort superior, posició més alta que pot assolir un pistó durant el seu moviment alternatiu.
- **Llumenera** – Orifici que connecta el cilindre amb l'exterior. En funció de les característiques del fluid que hi circuli podem trobar llumeneres d'admissió o escapament.
- **TVD** – Metodologia de càlcul utilitzada per al càlcul de dinàmica de fluids en programari OpenWam.

2. PROPOSTA

2.1. Origen del projecte

El projecte té com a origen el fet que l'empresa TECNIGAS, dedicada al disseny i fabricació d'escapaments, va treure al mercat un ciclomotor. Aquest incorpora un sistema d'escapament enfocat a la reducció d'emissions contaminants, fet que li permet superar la normativa EURO3 a costa de reduir el seu rendiment. Per aquest motiu, es va decidir fabricar dos escapaments per tal d'augmentar el rendiment del motor en dos règims de gir diferents sense intervenir en el factor de la reducció d'emissions contaminants i emissions sonores.

2.2. Motivació

El gran interès que he tingut sempre per les màquines i els motors de combustió interna en particular, per la mecànica de fluids i, unit a la passió pel motociclisme, m'han motivat a realitzar aquest projecte amb la finalitat d'ampliar coneixements en la temàtica, entrar en contacte amb la indústria de l'automoció i passar-ho bé fent-lo.

2.3. Requeriments previs

Abans de començar a realitzar el projecte ha estat necessari realitzar un estudi teòric sobre el funcionament de l'escapament en els motors 2T. A més a més, s'ha hagut d'aprendre a utilitzar el simulador i el programa per al pre-dimensionament dels escapaments. Per altra banda, ha calgut estudiar i aprendre a realitzar dissenys per a plegat de xapa i soldadura.

3. INTRODUCCIÓ

3.1. Antecedents

L'empresa TECNIGAS va treure al mercat un ciclomotor de 49 cc i 2T anomenat ByeBike® com el de la Fig. 1. Ciclomotor ByeBike. Aquest vehicle va orientat a un públic que cerca un mitjà de transport econòmic i fiable sense grans pretensions de velocitat i potència. Degut a les estrictes normatives europees anti-contaminació, han hagut de dotar al motor d'un escapament que els permeti assolir nivells de contaminació per sota dels límits establerts, a costa de reduir l'eficiència del motor degut a un ineficient aprofitament de la geometria de l'escapament.



Fig. 1. Ciclomotor ByeBike

Font: /www.byebike.com/

3.2. Objecte del projecte

L'objectiu del projecte ha consistit en la simulació, per ordinador, de la resposta d'un motor de 49 cc i 2T per tal de trobar la geometria de l'escapament que ens permeti assolir la màxima potència possible per uns règims de gir de 7000 i 9000 rpm. Un cop obtinguts els resultats de les simulacions, s'ha dissenyat i fabricat els escapaments en cartró i acer. Finalment es van muntar els escapaments al motor per ser provats en un banc de potència per tal de comparar la resposta simulada de la resposta real.

Cal puntualitzar que, per tal de reduir el temps, la complexitat i el cost de la fabricació, els escapaments es van dissenyar amb una sola etapa de conus i contra conus i amb colze sense conicitat.

3.3. Especificacions i abast

L'abast del projecte es limita a la simulació, disseny, fabricació i prova dels dos escapaments. No es tindran en compte les normatives europees d'emissió de gasos contaminats ni les normatives d'emissions acústiques així com tampoc es centrarà en la preparació i adequació del banc de potència per a la execució de les proves.

4. DESCRIPCIÓ GENERAL DEL PROJECTE

4.1. Metodologia de treball

4.1.1. Estudi teòric

En l'estudi teòric previ, s'ha estudiat el funcionament del motor de dos temps de combustió interna així com les seves variants i possibilitats de millora. També s'ha estudiat la relació entre l'ús de determinades geometries en el conducte d'escapament i com aquestes influeixen en la resposta del motor. Per últim s'ha aprofundit en la simulació i concretament en l'ús de determinats programes informàtics que s'utilitzaran en fases posteriors del projecte.

4.1.2. Captació de dades

El programes informàtics de simulació utilitzats requereixen ser alimentats amb una sèrie de dades que tant sols poden ser extretes del propi motor i in-situ. Per aquest motiu ha estat necessari desmuntar el motor per tal de poder mesurar i calcular tot un seguit de paràmetres requerits pels diferents programes.

4.1.3. Simulació

La simulació s'ha realitzat mitjançant un programa anomenat OpenWam. Aquest programa ha estat dissenyat pel centre d'estudis de motors tèrmics de la Universitat Politècnica de València i permet la simulació de motors de 2T i 4T. Disposa d'una gran varietat de mòduls que permeten realitzar simulacions amb un alt grau de precisió. Per altra banda s'han utilitzat un programa de disseny d'escapaments per a motors 2T que, malgrat tenir una menor precisió, han servit de base per al pre-dimensionament de la geometria de l'escapament. Aquests programa aporta unes dimensions inicials de l'escapament a partir de les quals s'inicia la simulació i la posterior optimització. Aquest programes és el "2T Exhaust Calculator". Treballa sota els principis teòrics exposats pel Dr. G.P. Blair en els seus llibres:

- "Basic Design of Two-Stroke Engines"
- "Design and Simulation of Two-Stroke Engines"

4.1.4. Disseny

Un cop obtinguda la geometria més adequada per a cada règim es va procedir al seu disseny enfocat a la fabricació. Això va implicar que certs valors va haver de ser modificats lleugerament per facilitar la fabricació i adaptar-se als productes de comerç disponibles.

4.1.5. Fabricació

El procés de fabricació engloba la construcció dels models de cartró per acabar d'ajustar la geometria dels escapaments a la geometria real del ciclomotor i la construcció dels escapaments en si.

4.1.5.1. Fabricació models en cartró

Els models de cartró es van construir en cartolina de 0.01 mm. Totes les peces que componen l'escapament van ser dissenyades com a xapa per tal de poder ser construïdes amb cinta adhesiva i a l'hora ser impreses sobre la cartolina sense la necessitat d'utilitzar impressores especials. La finalitat dels models en cartró és la de poder veure i modificar, in-situ, la geometria resultant de la simulació per tal d'ajustar-la a la geometria real del ciclomotor.

4.1.5.2. Fabricació escapaments en acer

Els escapaments pròpiament dits s'han realitzat a partir de retalls de material sobrant per evitar haver de comprar grans volums de material que, posteriorment, no serien utilitzats. Malgrat això, els retalls disposaven de la qualitat i especificacions necessàries per poder ser construïts sense gaires complicacions i alhora garantir que els resultats de la simulació s'ajustessin perfectament a la realitat. S'ha utilitzat tub d'acer amb espessor de 1.5 mm, passamà de 40x4 mm i xapa d'acer de 0.8 mm. Els colzes s'han realitzat a partir de talls de tub en angle degut a que no es tenia disposició d'una plegadora de tub de la mateixa manera que la xapa ha estat conformada mitjançant una plegadora manual degut a que els diàmetres amb els que es treballava feien impossible l'ús de plegadores industrials en les que els radis de curvatura mínims disponibles superaven els nostres requeriments.

4.1.6. Prova en banc de potència

Un cop els escapaments van ser construïts es van provar en un banc de rodets inercial a l'empresa Tecnigas sobre un ByeBike. El banc de rodets permet obtenir

la corba de potència del motor per així poder comparar els resultats teòrics amb els experimentals i extreure les conclusions sobre la simulació i els propis escapaments per, en un hipotètic futur, realitzar les modificacions pertinents i poder assolir els objectius desitjats.

5. CONCEPTES TEÒRICS

5.1. Escapament 2T

5.1.1. Introducció

Tal i com s'explica a l'apartat 17.1.3, durant la fase d'escapament la llumenera d'admissió es troba oberta de tal manera que són els gasos frescos els encarregats d'expulsar els gasos cremats del cilindre. El principal problema és que els gasos frescos no són capaços de poder extreure tots els gasos cremats degut a la seva diferència d'energia. Per aquest motiu és necessari disposar d'algun sistema que permeti evacuar els gasos cremats del cilindre i, a l'hora, mantenir els gasos frescos dins del cilindre. Aquest sistema és el tubarro que utilitza les ones sonores de pressió generades durant la explosió per aspirar els gasos cremats del cilindre i crear una sobre pressió per tal de que els gasos frescos no abandonin el motor en la fase que les llumeneres d'alimentació i escapament es troben obertes.

5.1.2. Funcionament

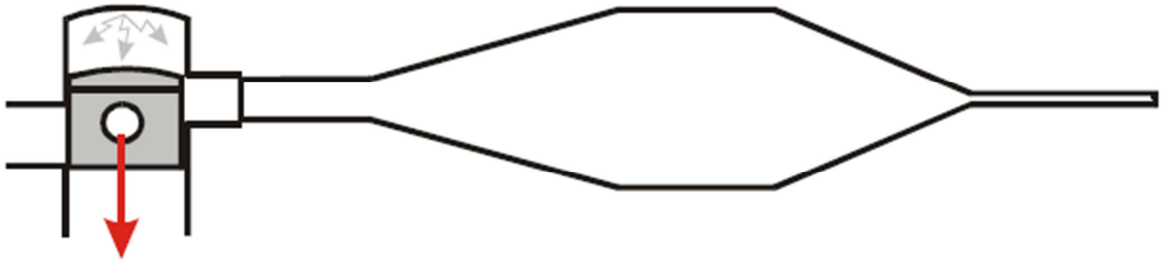


Fig. 2. Fase 1 explosió

Font: /www.bultaco.org/

Partim del instant en què el pistó està en el punt mort superior (PMS). La guspira de la bugia produeix l'explosió alliberant l'energia continguda en el combustible en forma de calor i l'energia mecànica empeny el pistó cap avall.

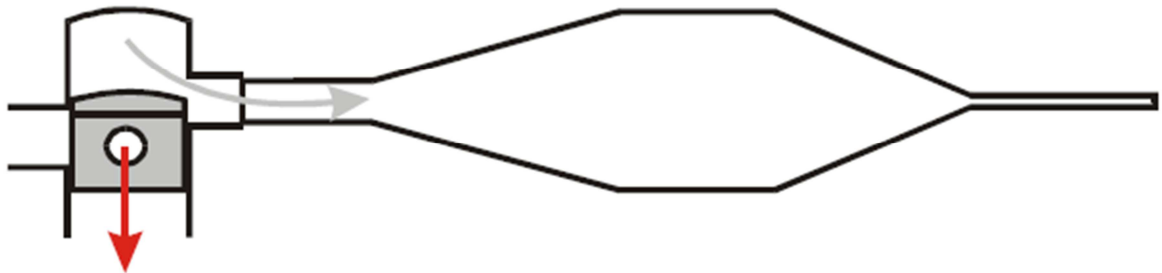


Fig. 3. Fase 2 Escapament

Font: /www.bultaco.org/

Durant el descens del pistó es comença a obrir la llumenera d'escapament, en aquest moment es produeix una gran ona de pressió provocada per l'explosió i l'obertura sobtada de la llumenera. Aquesta ona viatja a la velocitat del so que varia en funció de la temperatura. Recorre la primera part de l'escapament anomenat colze.

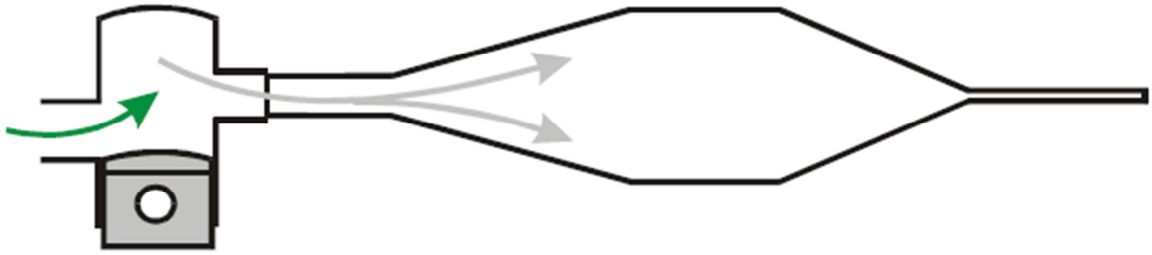


Fig. 4. Fase 3 Alimentació

Font: /www.bultaco.org/

El pistó continua descendint i obre la llumenera d'admissió. És el moment en el que els gasos frescos que disposen d'una certa pressió degut a la precompressió "conviuen" amb els ja cremats. En aquest moment és necessari que l'ona sonora arribi al con, on es produeix una depressió que provoca una succió que facilita l'entrada al cilindre als gasos frescos a l'hora que n'expulsa es cremats. Aquesta fase ha de durar el temps que triga el pistó entre l'obertura de la llumenera d'admissió i el punt mort inferior (P.M.I.).

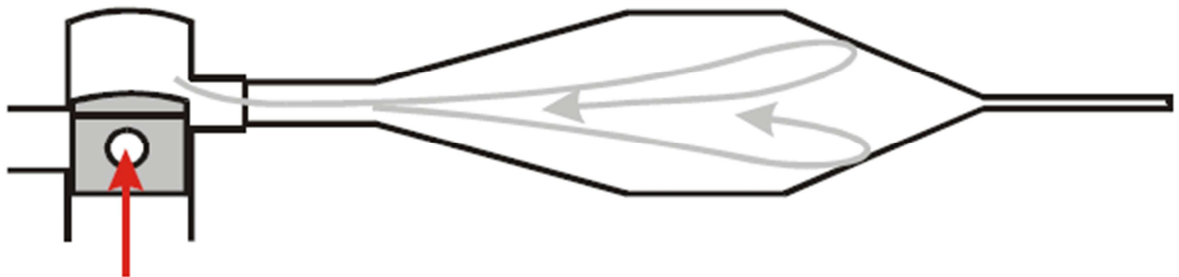


Fig. 5. Fase 4. Compressió

Font: /www.bultaco.org/

Un cop tancades les llumeneres d'admissió i el pistó es troba en plena pujada per arribar al punt mort superior (PMS), encara roman oberta la llumenera d'escapament. Com a conseqüència es poden perdre part dels gasos frescos de dins del cilindre. En aquest moment entra en acció el contra-con, actuant de forma contrària al con, provocant una ona de pressió que torna cap al cilindre i que produeix un taponament a la llumenera d'escapament evitant la sortida dels gasos frescos.

5.1.3. Geometria

Per tal que un escapament pugui influir en les ones de pressió tal i com s'ha explicat en l'apartat anterior, és necessari que la geometria dels elements que el componen es dimensionin per a un mateix règim de treball per tal que puguin treballar conjuntament. Cal comentar que els escapaments es dissenyen per tal d'aportar una determinada resposta al motor en un acotat règim de revolucions. Així doncs, es pot afirmar que el motor 2T és un motor amb poca linealitat i que sovint costa controlar.

5.1.3.1. Colze

El colze és la part inicial de l'escapament i connecta el cilindre amb el conus. Permet posicionar i dirigir el cos de l'escapament quan es disposa de reduïdes zones per allotjar-lo. Pot fabricar-se com a tub de secció constant o cònic. Aquesta segona opció permet reduir la longitud final de l'escapament.



Fig. 6. Colze escapament 2T

Font: Pròpia

5.1.3.2. Conus

És la secció encarregada de crear la succió que ajuda a extreure els gasos cremats del cilindre. Pot construir-se, en una sola etapa, en escapaments senzills o, en tres etapes, en escapaments de major rendiment. Normalment, sol ser de major longitud que el contra-conus i la seva conicitat no sol superar els 15°.

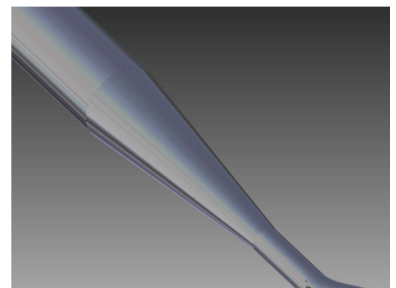


Fig. 7. Conus escapament 2T

Font: Pròpia

5.1.3.3. Cambra d'expansió

La cambra d'expansió és la zona central de l'escapament i de secció constant. Modificant la seva longitud es pot ajustar el règim de revolucions en el que el motor aporta major potència. Cambres d'expansió llargues milloren la resposta a baixes revolucions mentre que cambres curtes milloren la resposta a altes revolucions.

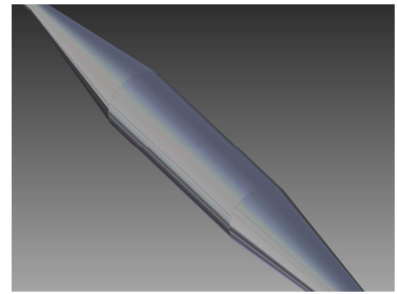


Fig. 8. Cambra expansió escapament 2T

Font: Pròpia

5.1.3.4. Contra-conus

El contra conus és la secció encarregada de crear la sobrepressió per tal de retornar la mescla fresca que ha abandonat el cilindre al trobar-se la llumenera d'escapament oberta. La seva longitud, per norma general, sol ser menor que la del conus i la seva inclinació, superior, sense superar els 20°.

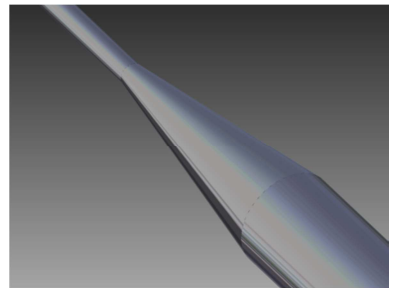


Fig. 9. Contra-conus escapament 2T

Font: Pròpia

5.1.3.5. Agulló

L'agulló és la part final de l'escapament. La seva longitud i secció no influeixen gaire sobre la resposta final del motor. Tot i així, una secció massa gran, redueix l'efecte de contra-pressió del contra conus i una secció massa petita, pot provocar sobreescalfaments del motor donat que aporta una gran pèrdua de càrrega en el conducte d'escapament i impedeix la correcta evacuació dels gasos.

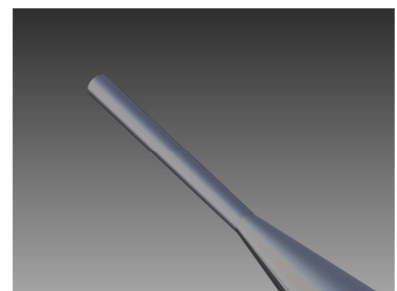


Fig. 10. Agulló escapament 2T

Font: Pròpia

5.2. Simulador OpenWam

5.2.1. Introducció

El programa OpenWam ha estat desenvolupat pel departament de motors tèrmics de la Universitat Politècnica de València. És un programa totalment lliure dissenyat per poder resoldre problemes de dinàmica de fluids unidimensionals permetent, d'aquesta manera, poder simular el comportament de motors i màquines que treballen amb fluids compressibles.



Fig. 11. Logotip UPV

Font: /www.cmt.upv.es/



Fig. 12. Logotip CMT

Font: /www.cmt.upv.es/



Fig. 13. Logotip programa OpenWam

Font: /www.cmt.upv.es/

El programa treballa amb blocs que representen diferents elements que, habitualment, componen les màquines per a les quals ha estat dissenyat el programa. La seva combinació permet crear màquines i instal·lacions complexes. Cada bloc ha de ser estrictament detallat amb tots els paràmetres que el defineixen. Un cop introduïdes les dades i units els blocs, el programa permet executar la simulació aportant molta informació de cada element que compon la màquina.

5.2.2. Mètodes de càlcul

El programa és capaç de treballar amb tres tipus de mètodes de càlcul diferents. Aquests són:

- Lax-Wendroff
- CE-SE
- TVD

Tots ells són models d'accions d'ones. S'utilitzen per tal de simular el comportament de fluids compressibles en règim unidimensional i no estacionari. A més a més tenen en compte les reduccions de secció en conductes, transferències de calor i fregament de fluids amb les parets. Les equacions, al cap i a la fi, tracten la conservació de la massa, la quantitat de moviment i l'energia.

Durant la simulació el programa recomanava la utilització del mètode Total Variation Dismishing (TVD).

5.2.3. Blocs disponibles

A continuació es mostren tots els blocs disponibles en el programa. Això no implica que es facin servir tots.

Nodes d'unió		Ramificació	Connexions		Vàlvula	Elements OD		Cambra de volum Constant
		Unió entre dos conductes			Vàlvula d'accelerador			Cambra de volum variable
		Pèrdua pressió laminar			Unió a dipòsit			Venturi
		Pèrdua pressió turbulenta			Transfer	Motors		Motor 4T
		Extrem a l'atmosfera			Vàlvula rotativa			Motor 2T
		Extrem a P i T Constant			Vàlvula de làmines			Cilindre 4T
		Cambra anecoica			Vàlvula de descàrrega			Cilindre 2T
		Extrem tancat			Estatore turbina	Compressors		Turbocompressor
		Compressor de cargol			Rotor turbina			Compressor

Taula 1. Blocs de treball OpenWam

6. CAPTACIÓ DE DADES

6.1. Metodologia

Les dades requerides pels dos programes de simulació van ser extrets directament del motor. La majoria d'ells són mesures geomètriques que amb un micròmetre, peu de rei i transportador d'angles era suficient. Altres dades requerides com el volum de la caixa del filtre o el volum del càrter van ser extrets omplint ambdues cavitats amb aigua i oli i mesurant el volum de líquid que s'hi havia introduït.



Fig. 14. Càlcul volum caixa filtre

Font: Pròpia



caixa filtre

Font: Pròpia



Fig. 16. Perforació pistó

Font: Pròpia



Fig. 17. Càlcul volum càrter

Font: Pròpia

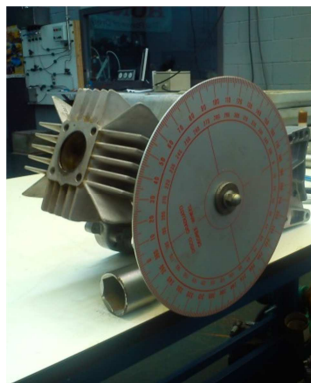


Fig. 18. Càlcul graus
escapament

Font: Pròpia

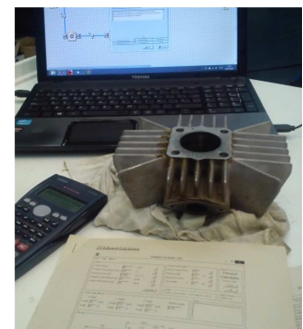


Fig. 19. Càlcul geometries
motor

Font: Pròpia

6.2. Programa 2T Exhaust Calculator

El programa requereix d'uns certs paràmetres per poder realitzar els càlculs de les dimensions de l'escapament. Aquests paràmetres són:

PARÀMETRE	UNITATS	VALOR		
Cilindrada	cm ³	49.9		
Duració escapament	º	174		
Velocitat gir objectiu	rpm	7000 – 9000		
Diàmetre escapament	mm	25		
Longitud escapament	mm	33.75		
Factor longitud	-	15.49		
Angle colze	º	0		
Factor diàmetre	-	2.68		
Angle del conus	º	5-10		
PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	
Contra conus en tres etapes	1ra etapa	Longitud	mm	0
		angle	º	0
	2ona etapa	Longitud	mm	0
		angle	º	0
	3ra etapa	Longitud	mm	-
		angle	º	10-15

Taula 2. Dades requerides programa 2T Exhaust Calculator

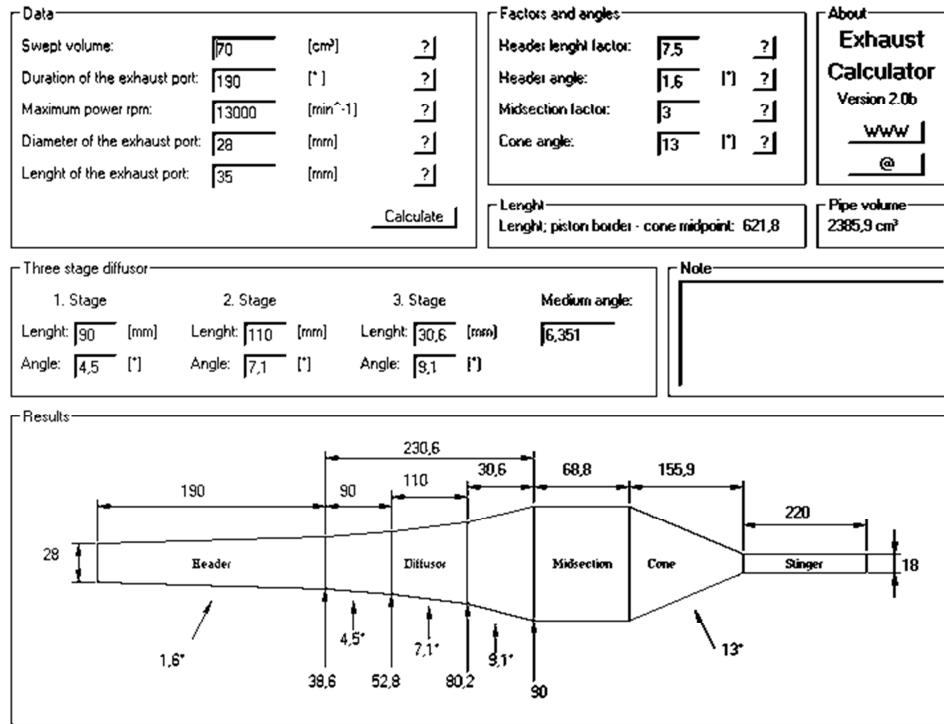


Fig. 20. Interfície de treball programa 2T Exhaust Calculator

Font: 2T Exhaust Calculator

6.3. Programa OpenWam

6.3.1. Blocs utilitzats

Tal i com s'ha comentat anteriorment, el programa OpenWam treballa amb blocs. Cada bloc requereix unes dades determinades. A continuació es mostren els blocs utilitzats.

	Unió entre dos conductes		Transfer
	Extrem a l'atmosfera		Vàlvula de làmines
	Unió a dipòsit		Cambra de volum Constant
	Cambra de volum variable		Condicions inicials
	Motor 2T		Cilindre 2T

Taula 3. Blocs utilitzats programa OpenWam

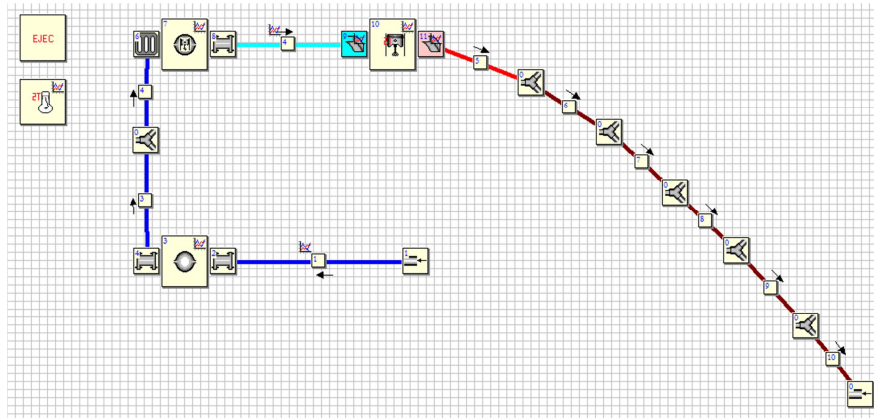


Fig. 21. Interfície de treball programa OpenWam

Font: OpenWam

6.3.2. Dades requerides

6.3.2.1. Conducte 1 (Exterior - Caixa filtre)

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	13.7
	Tipus conducte	-	<i>Intake pipes</i>		Longitud	mm	153.5
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	17.5
	Rugositat	mm	0.0015	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	23.2		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	20	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1		Fracció gasos cremats	-	0
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	1

Taula 4. Dades requerides programa OpenWam (Conducte 1)

6.3.2.2. Conducte 2 (Caixa filtre – Carburador)

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	31.7
	Tipus conducte	-	<i>Intake pipes</i>		Longitud	mm	77.75
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	31.7
	Rugositat	mm	0.0015	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	23.6		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	20	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1		Fracció gasos cremats	-	0
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	1

Taula 5. Dades requerides programa OpenWam (Conducte 2)

6.3.2.3. Conducte 3 (Carburador – Càrter)

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	18.7
	Tipus conducte	-	<i>Intake pipes</i>		Longitud	mm	49
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	25

	Rugositat	mm	0.0015	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	36.3		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	29	Composició	Fracció combustible	-	0.07
	Press. Inicial gas	Bar	1		Fracció gasos cremats	-	0
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0.93

Taula 6. Dades requerides programa OpenWam (Conducte 3)

6.3.2.4. Port d'admissió

Paràmetre		Unitats	Valor	Paràmetre		Unitats	Valor
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	23,8
	Tipus conducte	-	<i>Intake port</i>		Longitud	mm	40
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	23,8
	Rugositat	mm	0.2	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	94,4		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	29	Composició	Fracció combustible	-	0.07
	Press. Inicial gas	Bar	1		Fracció gasos cremats	-	0
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0.93

Taula 7. Dades requerides programa OpenWam (Port d'admissió)

6.3.2.5. Port d'escapament

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	22
	Tipus conducte	-	<i>Exhaust port</i>		Longitud	mm	39
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	23
	Rugositat	mm	0.2	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	400		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	390	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1.1		Fracció gasos cremats	-	1
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0

Taula 8. Dades requerides programa OpenWam (Port d'escapament)

6.3.2.6. Caixa del filtre

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Volum	cm ³	860	Composició	Fracció combustible	-	0
	Temp. Inicial gas	°C	20		Fracció gasos cremats	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1		Fracció aire fresc	-	1

Taula 9. Dades requerides programa OpenWam (Caixa del filtre)

6.3.2.7. Càrter

	PARÀMETRE	UNITATS	VALOR
Dades	Volum	cm ³	267.5
	Temp. Inicial gas	°C	29
	Press. Inicial gas	Bar	1
	Longitud biela	mm	79.75
	Carrera pistó	mm	40
	Diàmetre pistó	mm	39.88
	Rati de compressió	-	1.23
	Control velocitat	-	<i>Driven by the engine</i>
Composició	Fracció combustible	-	0.07
	Fracció gasos cremats	-	0
	Fracció aire fresc	-	0.93

Taula 10. Dades requerides programa OpenWam (Càrter)

6.3.2.8. Vàlvula de làmines

	PARÀMETRE	UNITATS	VALOR		PARÀMETRE	UNITATS	VALOR
Dades	Model	-	0D	Coef. Descàrrega	Increment eix X	-	0,5
	Diàmetre	mm	35		Inlet Cd	-	0.6
	Direcció opertura	-	<i>Inlet to volume</i>		Outlet Cd	-	0

Taula 11. Dades requerides programa OpenWam (Vàlvula de làmines)

6.3.2.9. Transfer admissió

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE	Nº	OBERTURA (mm)	INLET CD	OUTLET CD
Dades	Alçada	mm	8.3	Coef. Descàrrega	1	0	0	0
	Amplada	mm	56.4		2	1.38	0.145	0.085
	Radi Min.	mm	2		3	2.76	0.264	0.147
	Radi Max.	mm	2		4	4.14	0.383	0.21
	Posició BDC	mm	0		5	5.52	0.503	0.271
	Diàmetre ref.	mm	23.8		6	8.3	0.743	0.4

Taula 12. Dades requerides programa OpenWam (Transfer admissió)

6.3.2.9.1. Càlcul dels coeficients de descàrrega

Per tal de poder determinar els coeficients de descàrrega dels transfers d'admissió seria necessari col·locar el cilindre en un banc de flux per calcular la relació entre la pressió de l'aire que transcorre per l'entrada del conducte i la pressió a la sortida (Eq. 1).

$$Cd = \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot A}} \quad \text{Eq. 1}$$

On:

Cd – coeficient de descàrrega Q – cabal (m³/h)

Δh – increment de pressió (Pa) A – àrea (m²)

Amb els mitjans dels que disposava era impossible realitzar aquestes proves així que s'han realitzat una regressió lineal dels coeficients de descàrrega d'uns transfers coneguts per tal de poder calcular l'equació que determina el coeficient en funció de l'altura de llumenera oberta.

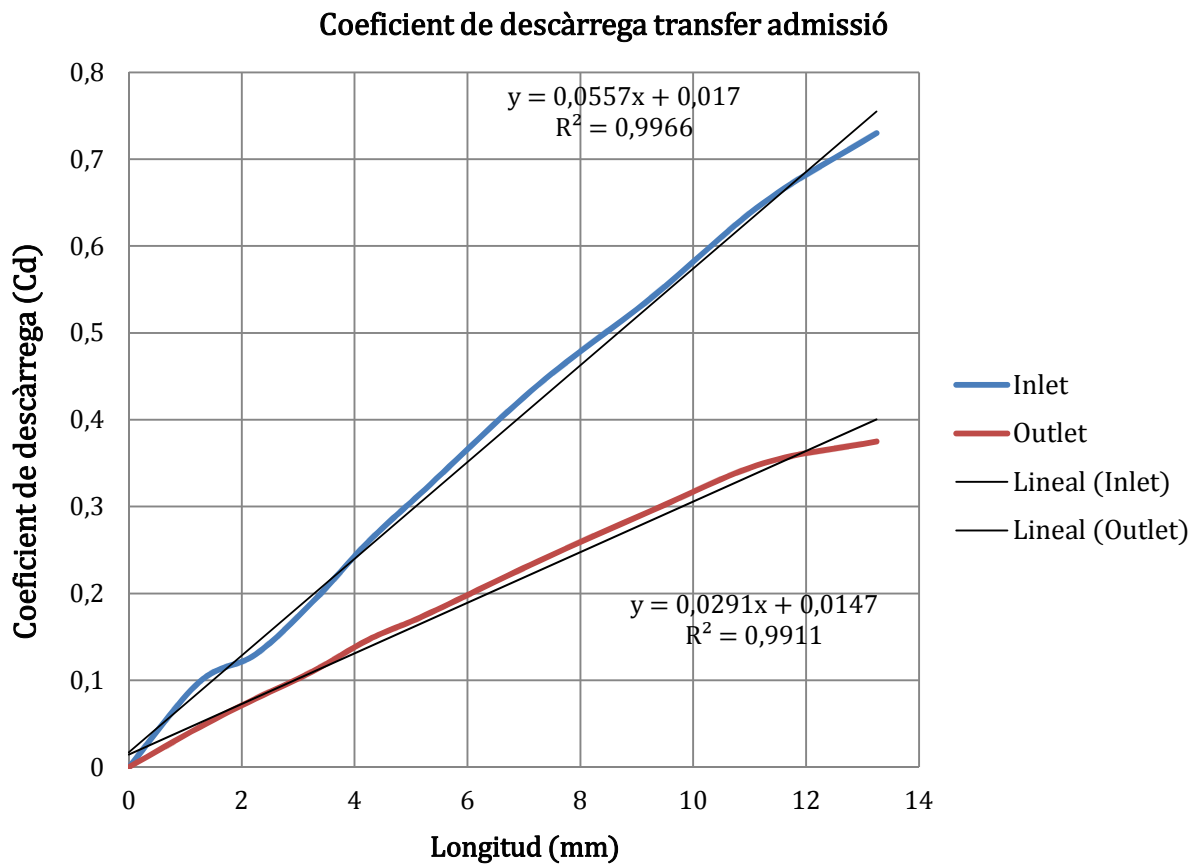


Fig. 22. Coeficients de descàrrega transfers admissió

Font: Pròpia

$$Cd (\text{Inlet}) = 0.0557 \cdot l + 0.017$$

$$Cd (\text{Outlet}) = 0.0291 \cdot l + 0.0147$$

6.3.2.10. Transfer escapament

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE	Nº	OBERTURA (mm)	INLET CD	OUTLET CD
Dades	Alçada	mm	14.7	Coef. Descàrrega	1	0	0	0
	Amplada	mm	28.6		2	2.93	0.2	0.311
	Radi Min.	mm	2		3	5.88	0.36	0.49
	Radi Max.	mm	2		4	8.81	0.516	0.667
	Posició BDC	mm	0		5	11.74	0.672	0.745
	Diàm. ref.	mm	22		6	14.7	0.83	0.8

Taula 13. Dades requerides programa OpenWam (Transfer escapament)

6.3.2.10.1. Càlcul dels coeficients de descàrrega

Per tal de poder determinar els coeficients de descàrrega dels transfers d'admissió seria necessari col·locar el cilindre en un banc de flux per calcular la relació entre la pressió de l'aire que transcorre per l'entrada del conducte i la pressió a la sortida (Eq. 1).

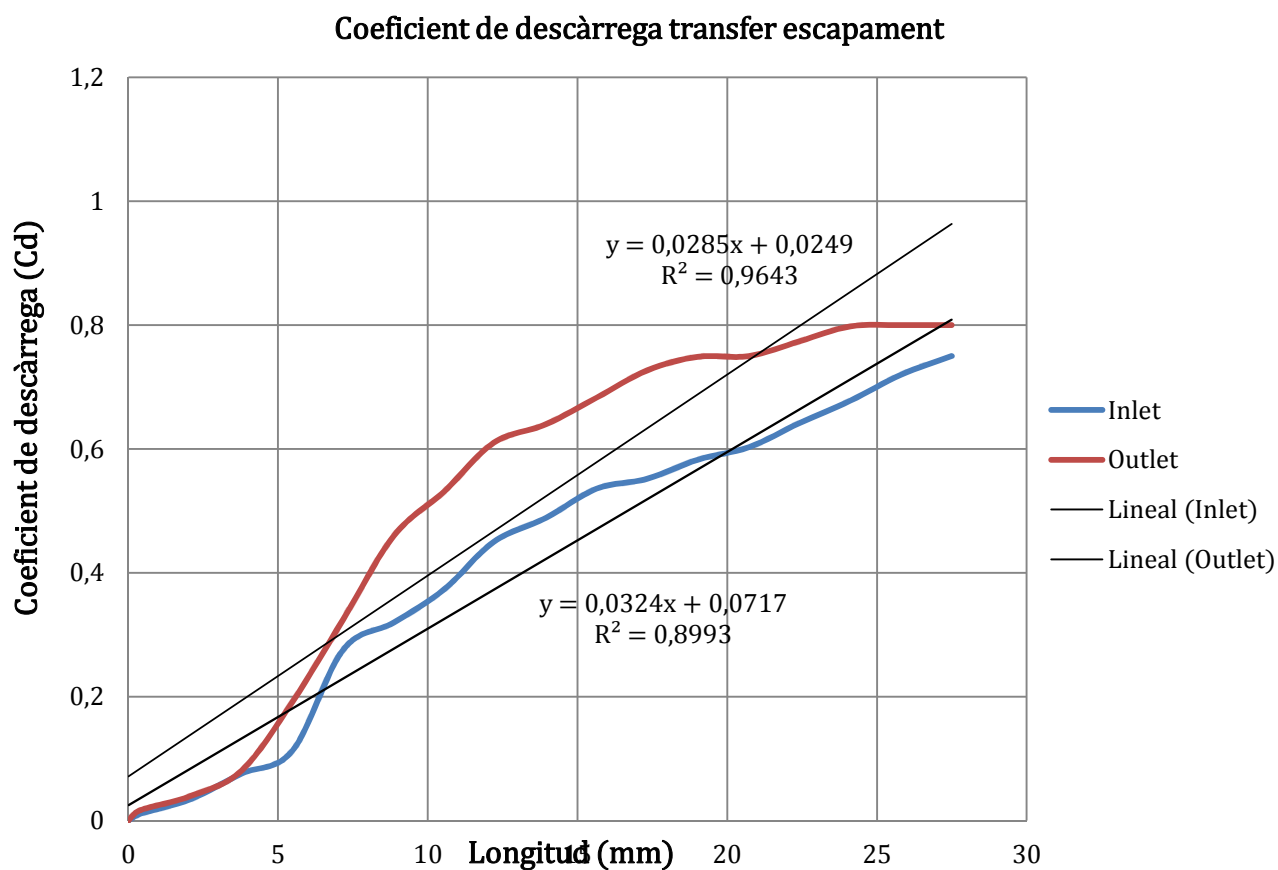
$$Cd = \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot A}} \quad \text{Eq. 1}$$

On:

Cd – coeficient de descàrrega Q – cabal (m³/h)

Δh – increment de pressió (Pa) A – àrea (m²)

Amb els mitjans dels que disposava era impossible realitzar aquestes proves així que s'han realitzat una regressió lineal dels coeficients de descàrrega d'uns transfers coneguts per tal de poder calcular l'equació que determina el coeficient en funció de l'altura de llumenera oberta.



Font: Pròpia

$$Cd (\text{Inlet}) = 0.0324 \cdot l + 0.0717$$

$$Cd (\text{Outlet}) = 0.0285 \cdot l + 0.0249$$

6.3.2.11. Motor 2T

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Transferència de calor	Gruix paret cilindre	mm	11	Transferència de calor	Conductivitat mat. culata	W/m/K	70
	Conductivitat mat. cilindre	W/m/K	70		Densitat mat. culata	Kg/m ³	7800
	Densitat mat. cilindre	Kg/m ³	7800		Calor esp. mat. culata	J/Kg/K	460
	Calor esp. mat. cilindre	J/Kg/K	460		Àrea pistó	m ²	12.56
	Gruix paret pistó	mm	1.7		Temp, mitja pistó	°C	106.4
	Conductivitat mat. pistó	W/m/K	70		Àrea culata	m ²	12.56
	Densitat mat. pistó	Kg/m ³	7800		Temp, mitja culata	°C	90.4
	Calor esp. mat. pistó	J/Kg/K	460		Temp, mitja cilindre	°C	94.4
	Gruix paret culata	mm	8		Temp. refrigerant	°C	50
Condicions treball	Tipus de motor	-	<i>Spark ignited</i>	Condicions treball	Pressió sortida cil.	-	1
	Condicions d'operació	-	<i>Steady State</i>		Relació comb-aire	-	0.067
	Càlcul EGR	-	<i>No</i>		Poder calorífic comb.	kJ/Kg	46600

	Càlcul temp. Paret	-	<i>Variable</i>		Densitat fuel	Kg/m ³	760
	Vel. Inicial	rpm	7000 - 9000		Model combustió	-	<i>Imposing heat release Law</i>
Geometria	Longitud biela	mm	79.75	Geometria	Secció "Blow-by"	m ²	0
	Carrera pistó	mm	40		Coefficient "Blow-by"	-	0
	Diàmetre pistó	mm	39.88		Excentricitat	mm	0
	Rati de compressió	-	9.5		Diàmetre passador	mm	12
	Diàmetre bol	mm	1		Alçada pistó	mm	49
	Alçada bol	mm	1		Massa biela	Kg	0.06365
	Dist. entre vàlvules	mm	5		Massa pistó + anells + passador	Kg	0.07656

Taula 14. Dades requerides programa OpenWam (Motor 2T)

6.3.2.12. Condicions inicials

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Metodologia càlcul	-	<i>Independent</i>	Dades	Espècie de càlcul	-	<i>Simplified</i>
	Cicles simulació	s	10-1		Permesos càlculs externs	-	<i>No</i>
	Pressió ambiental	Bar	1		Considerar tipus combustible	-	<i>Yes</i>
	Temperatura ambiental	°C	20		Tipus combustible	-	<i>Gasoline</i>
Composició atmosfèrica	Fracció combustible	-	0	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Fracció gasos cremats	-	0		Nº Courant	-	0.9
	Fracció aire fresc	-	1				

Taula 15. Dades requerides programa OpenWam (Condicions inicials)

6.3.3. Escapament

Per tal de poder dimensionar l'escapament cal realitzar les proves modificant la geometria de cada una de les parts que el componen fins a assolir els resultats desitjats. A continuació es mostren les parts que componen l'escapament i els paràmetres que les defineixen dins el programa. Les dades geomètriques que defineixen la forma de cada tram es mostren en verd per tal d'expressar que són aquestes les que es variaran duran el procés de disseny.

6.3.3.1. Colze

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	25
	Tipus conducte	-	<i>Exhaust pipe</i>		Longitud	mm	350-400
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	25
	Rugositat	mm	0.02	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	88.6		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	380	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1.1		Fracció gasos cremats	-	1
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0

Taula 16. Dades requerides programa OpenWam (Colze)

6.3.3.2. Conus

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	25
	Tipus conducte	-	<i>Exhaust pipe</i>		Longitud	mm	175 - 240
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	75
	Rugositat	mm	0.02	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	44.6		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	360	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1.1		Fracció gasos cremats	-	1
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0

Taula 17. Dades requerides programa OpenWam (Conus)

6.3.3.3. Cambra d'expansió

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	75
	Tipus conducte	-	<i>Exhaust pipe</i>		Longitud	mm	20-270
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	75
	Rugositat	mm	0.02	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	37.2		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	310	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1.1		Fracció gasos cremats	-	1
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0

Taula 18. Dades requerides programa OpenWam (Cambra expansió)

6.3.3.4. Contra-conus

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	75
	Tipus conducte	-	<i>Exhaust pipe</i>		Longitud	mm	200-170
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	17
	Rugositat	mm	0.02	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	30.6		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	280	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1.1		Fracció gasos cremats	-	1
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0

Taula 19. Dades requerides programa OpenWam (Contra-conus)

6.3.3.5. Agulló

PARÀMETRE		UNITATS	VALOR	PARÀMETRE		UNITATS	VALOR
Dades	Mallat	mm	10	Geometria	Diàmetre entrada	mm	17
	Tipus conducte	-	<i>Exhaust pipe</i>		Longitud	mm	190
	Càlcul temp. paret	-	<i>Constant</i>		Diàmetre sortida	mm	17
	Rugositat	mm	0.02	Mètode numèric	Mètode	-	TVD
	Temp. Inicial paret	°C	27.3		Nº Courant	-	0.9
	Temp. Inicial gas	°C	200	Composició	Fracció combustible	-	0
	Press. Inicial gas	Bar	1.1		Fracció gasos cremats	-	1
	Vel. Inicial gas	m/s	0		Fracció aire fresc	-	0

Taula 20. Dades requerides programa OpenWam (Agulló)

7. SIMULACIÓ I RESULTATS

7.1. Programa 2T Exhaust Calculator

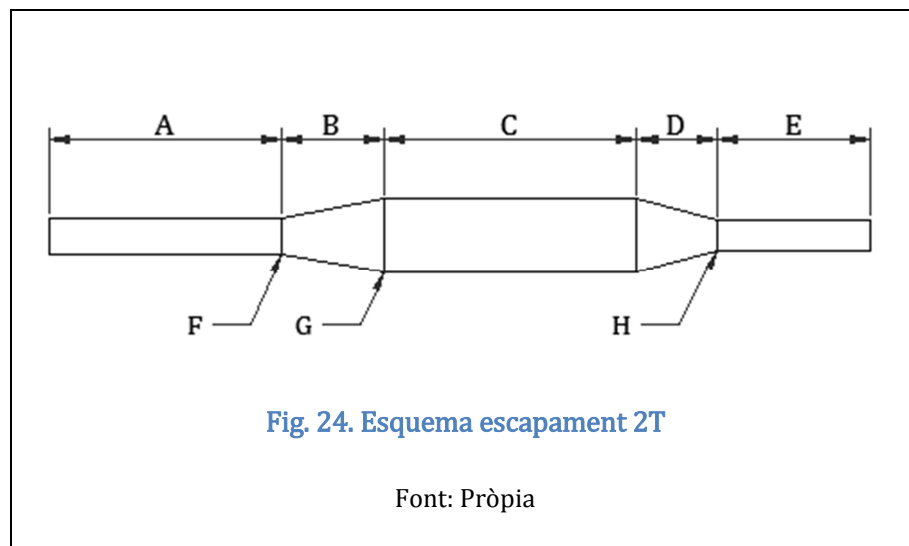
7.1.1. Metodologia

El programa proporciona la geometria de l'escapament a partir de paràmetres geomètrics i coeficients de forma. Amb aquests últims es pot pre-seleccionar determinades mides com la longitud del colze i el diàmetre de la cambra

d'expansió. Amb aquests valors, el programa proporciona la geometria total en funció dels valors geomètrics seleccionats.

Per tal de poder estandarditzar ambdós escapaments s'ha fixat un diàmetre màxim de 75 mm. Per altra banda, degut a la geometria del motor és necessari disposar d'un colze amb una longitud mínima de 320 mm per poder col·locar el con, contra con i cambra d'expansió lluny d'objectes que entorpeixin el pas tals com la tapa del generador i estriberes del conductor. Per altra banda, permet reduir la complexitat del dimensionament final amb el programa OpenWam degut a que el nombre de trams d'escapament es redueixen.

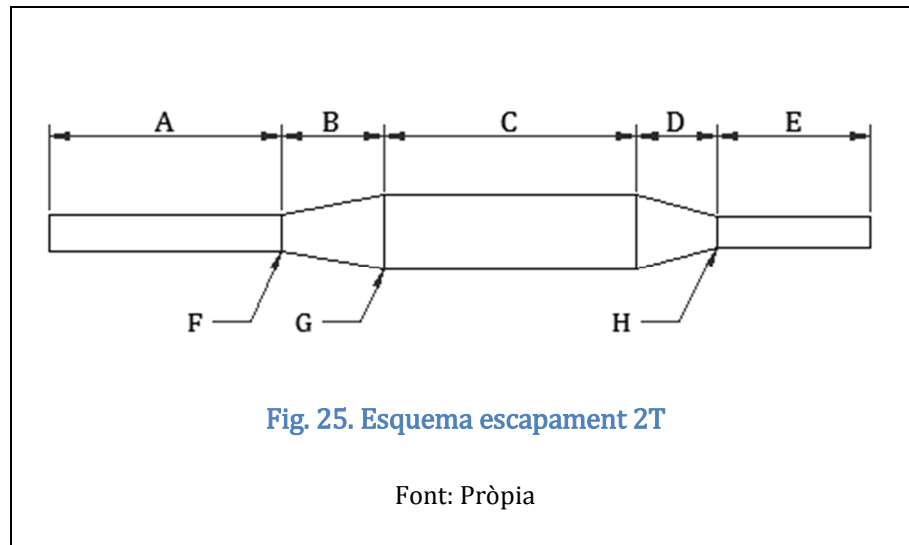
7.1.2. Escapament a baixes revolucions (7000 rpm)



DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS	DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS
A	400	mm	E	190	mm
B	203.8	mm	F	25	mm
C	243.2	mm	G	75	mm
D	166	mm	H	16.5	mm

Taula 21. Resultats 2T Exhaust Calculator escapament 7000 rpm

7.1.3. Escapament a altes revolucions (9000 rpm)



DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS	DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS
A	400	mm	E	190	mm
B	159.3	mm	F	25	mm
C	71.6	mm	G	75	mm
D	146.7	mm	H	16.5	mm

Taula 22. Resultats 2T Exhaust Calculator escapament 9000 rpm

7.2. Programa OpenWam

7.2.1. Metodologia

El programa permet simular la resposta del motor en funció dels blocs utilitzats i la informació que aquests contenen. L'objectiu és aconseguir la geometria de l'escapament que ens permeti assolir la major potència possible al règim de revolucions indicat. Així doncs, primer s'han dimensionat primerament la longitud de la cambra d'expansió. Un cop trobada la longitud de la cambra d'expansió, aquesta es fixa i es procedeix a la simulació del motor variant la longitud del con, contra con i per últim el colze. Finalment s'ha simulat el

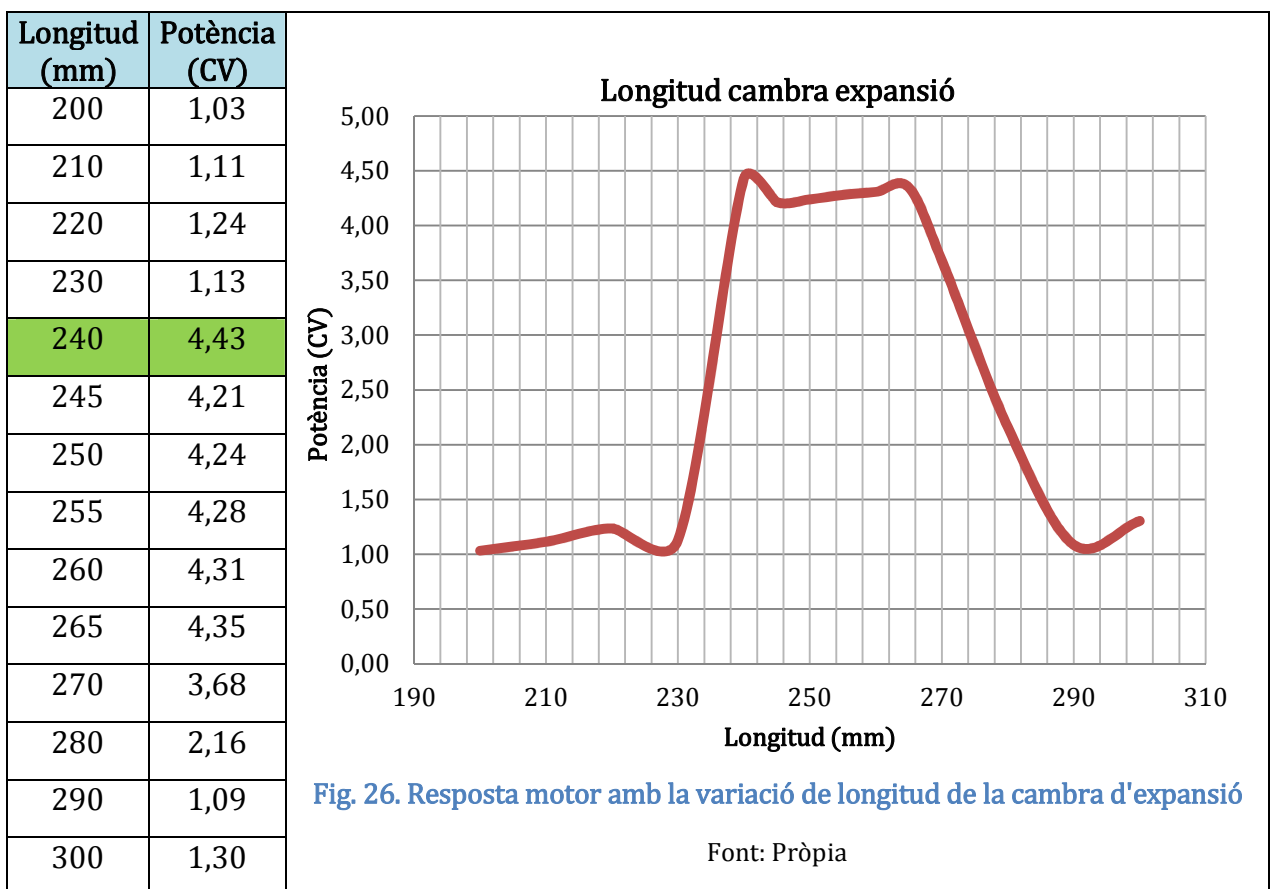
funcionament del motor en tot el ventall de revolucions (0 – 15000 rpm) per tal d'assegurar que l'escapament i el motor treballen tal i com es desitja.

Les variacions de longitud en la simulació s'han realitzant en trams de 5 mm ja que, longituds inferiors no són rellevant donat que durant el procés de fabricació es poden veure reduïdes per l'efecte de la soldadura.

Es simulen 50 cicles de treball per tal de poder realitzar una mitjana acurada degut a que el programa per sota dels 10 cicles proporciona valors fora d'escala ja que el motor encara no ha assolit la velocitat de règim i els valors no són representatius.

7.2.2. Simulació escapament a baixes revolucions (7000 rpm)

7.2.2.1. Cambra d'expansió



Taula 23. Resultats de la simulació cambra d'expansió per l'escapament de 7000 rpm

7.2.2.2. Conus

Longitud (mm)	Potència (CV)
180	1,10
190	1,13
200	4,43
205	4,09
210	4,14
215	4,21
220	4,27
225	4,31
230	4,36
235	4,42
240	4,51
245	2,93
250	1,02

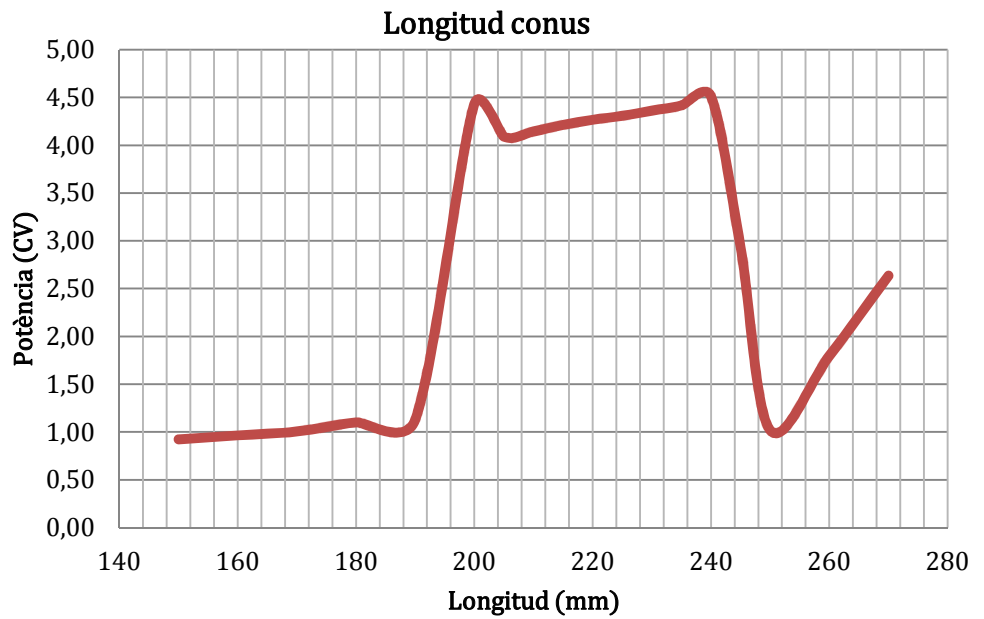


Fig. 27. Resposta motor amb la variació de longitud del conus

Font: Pròpia

Taula 24. Resultats de la simulació del conus per l'escapament de 7000 rpm

7.2.2.3. Contra-conus

Longitud (mm)	Potència (CV)
165	4,16
170	4,12
175	4,20
180	4,27
185	4,31
190	4,38
195	4,40
200	4,51
210	0,99
220	1,02
230	1,07
240	1,97
250	2,35
260	2,72
270	3,98

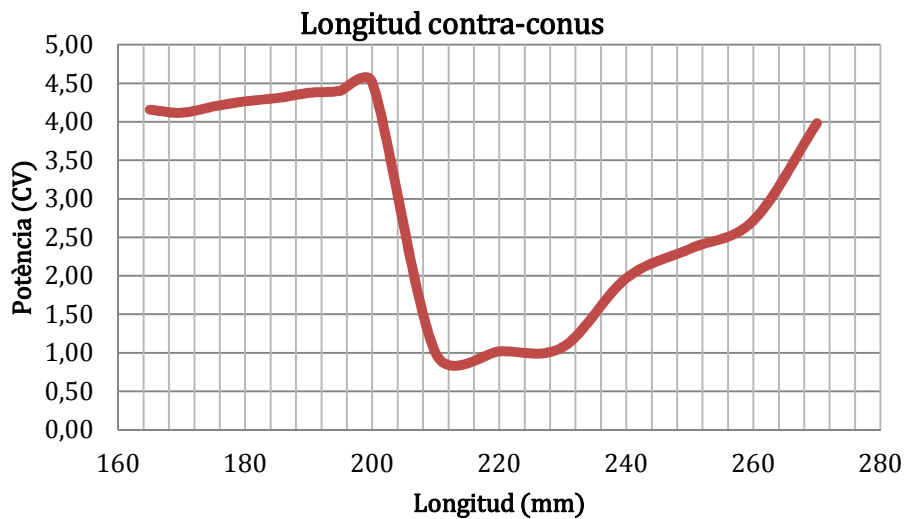


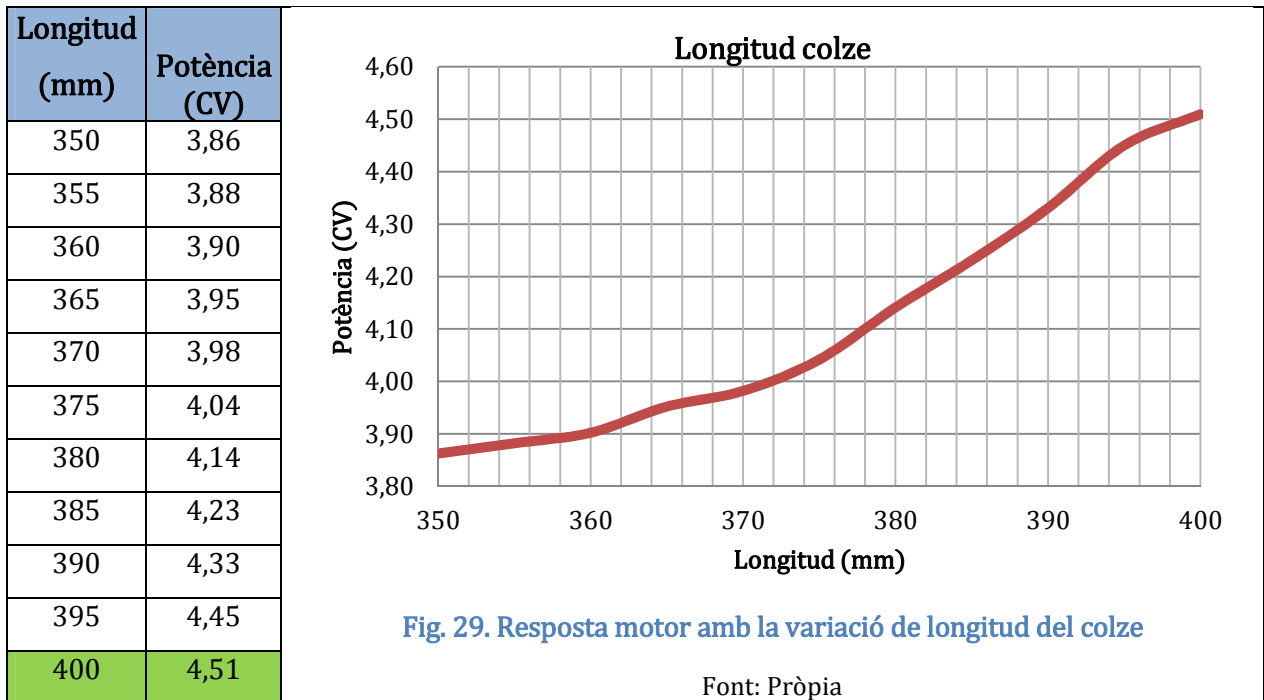
Fig. 28. Resposta motor amb la variació de longitud del contra-conus

Font: Pròpia

NOTA: El programa OpenWam no permet realitzar càlculs amb conicitats superiors als 20°.

Taula 25. Resultats de la simulació del contra-conus per l'escapament de 7000 rpm

7.2.2.4. Colze



Taula 26. Resultats de la simulació del colze per l'escapament de 7000 rpm

7.2.2.5. Geometria de l'escapament

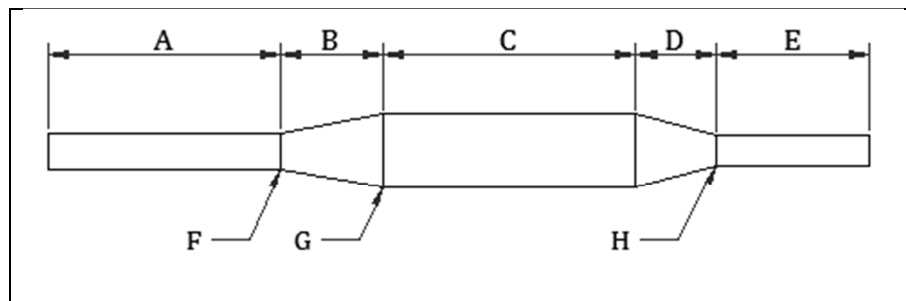


Fig. 30. Esquema escapament 2T

Font: Pròpia

DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS	DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS
A	400	mm	E	190	mm
B	240	mm	F	25	mm
C	240	mm	G	75	mm
D	200	mm	H	17	mm

Taula 27. Resultats OpenWam escapament 7000 rpm

7.2.2.6. Corba de potència

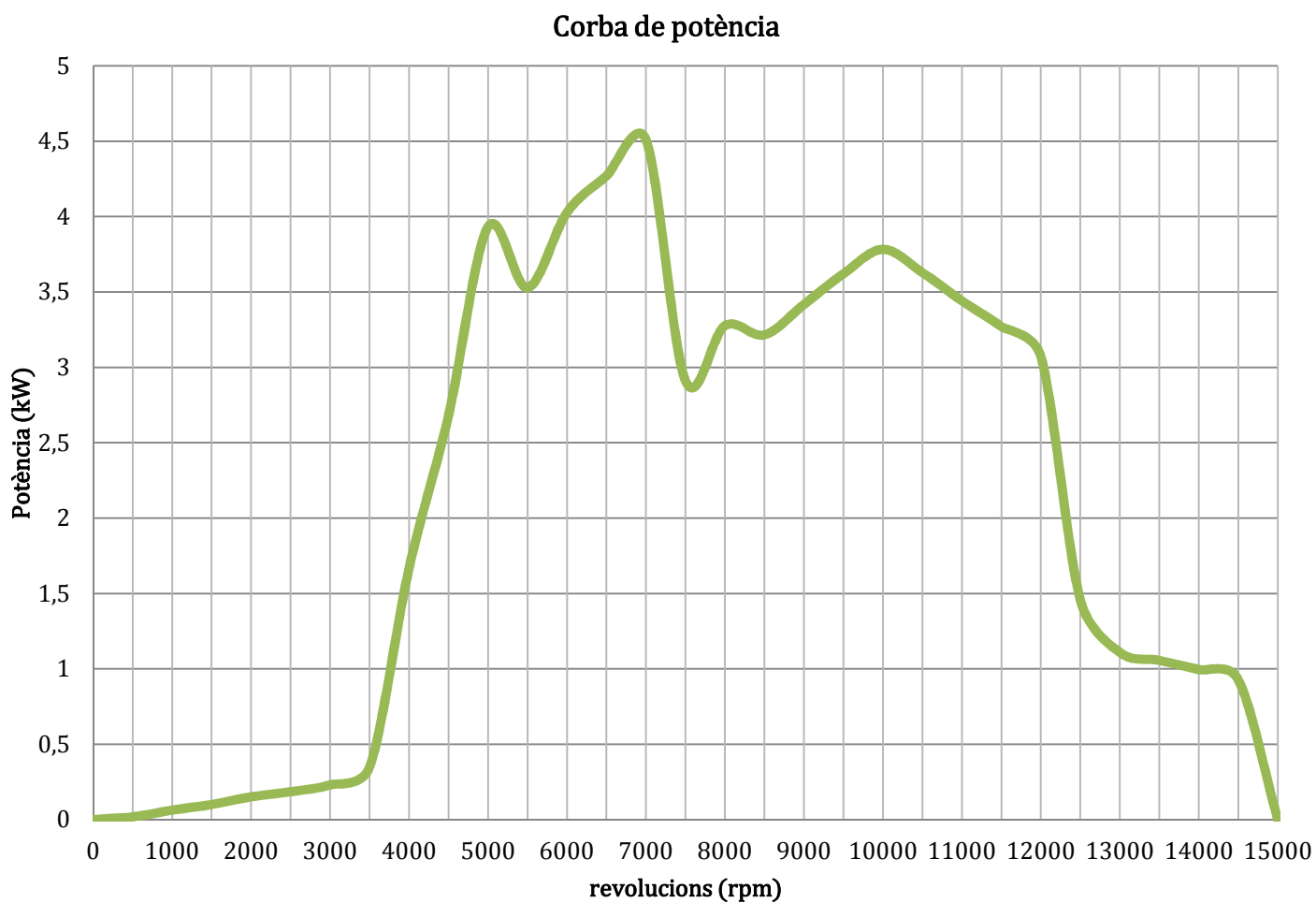
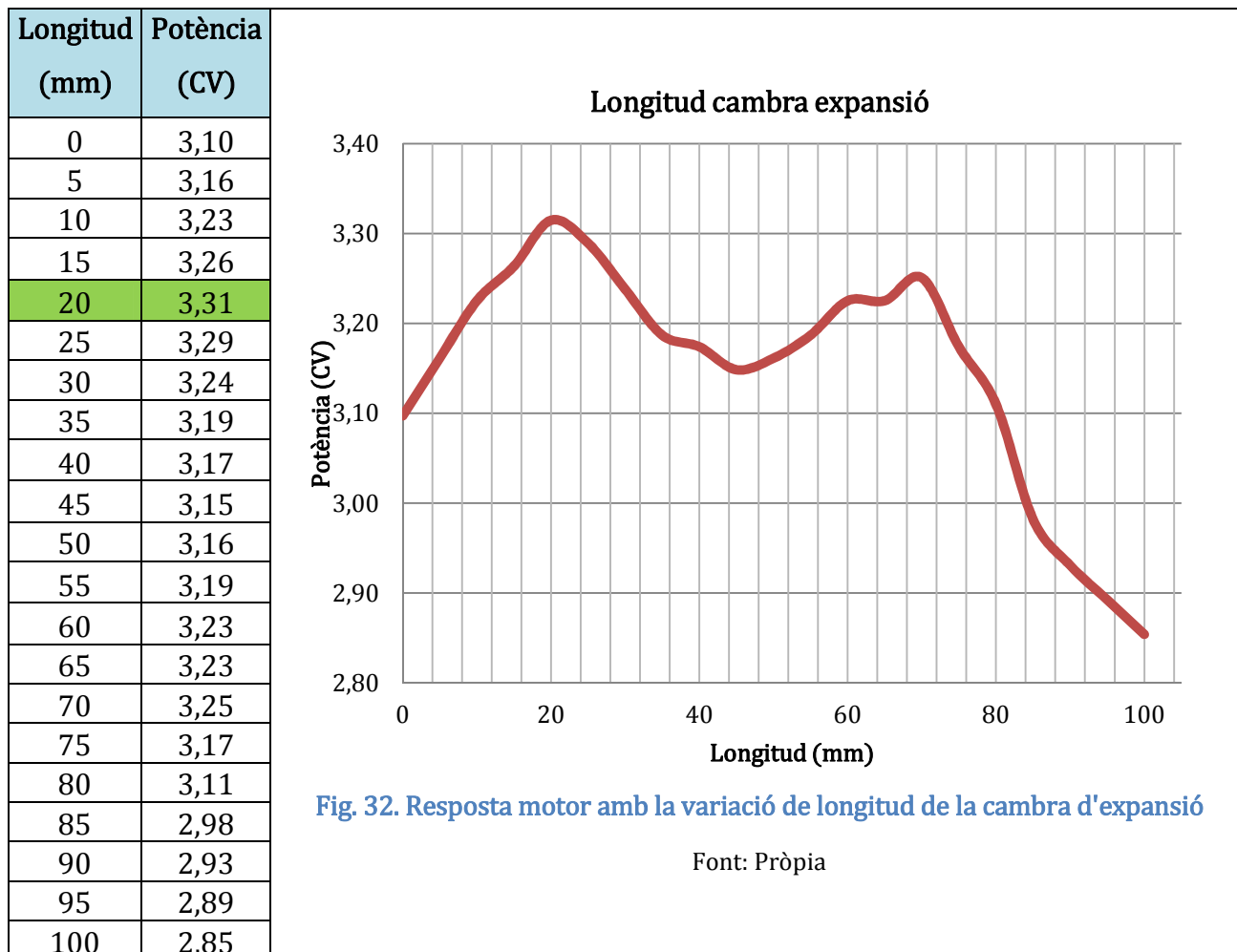


Fig. 31. Corba de potència escapament 7000 rpm

Font: Pròpia

7.2.3. Simulació escapament a altes revolucions (9000 rpm)

7.2.3.1. Cambra d'expansió



Taula 28. Resultats de la simulació cambra d'expansió per l'escapament de 9000 rpm

7.2.3.2. Conus

Longitud (mm)	Potència (CV)
3,11	3,11
3,15	3,15
3,17	3,17
3,19	3,19
3,11	3,11
3,06	3,06
3,15	3,15
3,16	3,16
3,19	3,19
3,25	3,25
3,15	3,15
3,02	3,02
2,92	2,92
2,88	2,88
2,85	2,85

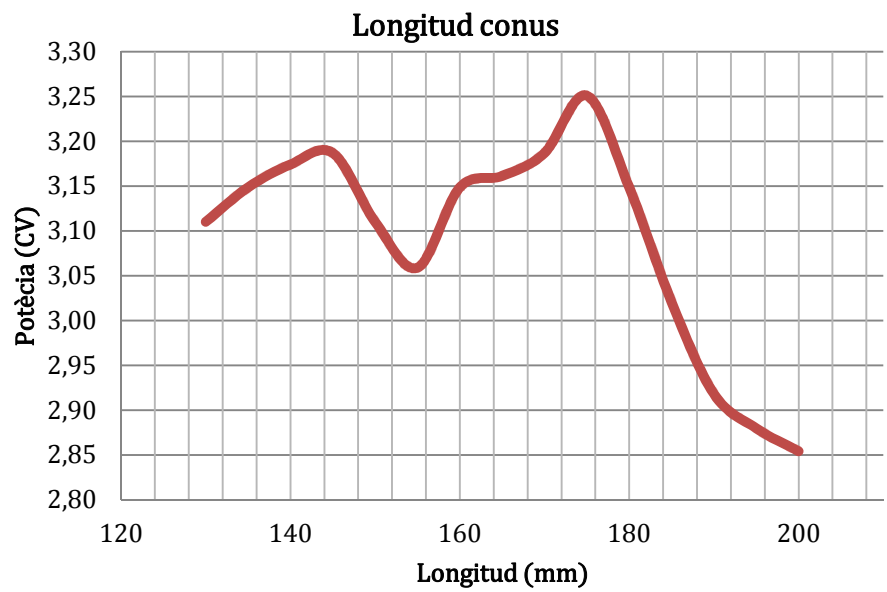


Fig. 33. Resposta motor amb la variació de longitud del conus

Font: Pròpia

Taula 29. Resultats de la simulació del conus per l'escapament de 9000 rpm

7.2.3.3. Contra-conus

Longitud (mm)	Potència (CV)
170	3,31
175	3,28
180	3,21
185	3,17
190	2,96
195	2,91
200	2,85

NOTA: El programa OpenWam no permet realitzar càlculs amb conicitats superiors als 20°. Per aquest motiu no s'ha pogut simular la resposta del motor amb longituds inferiors als 170 mm.

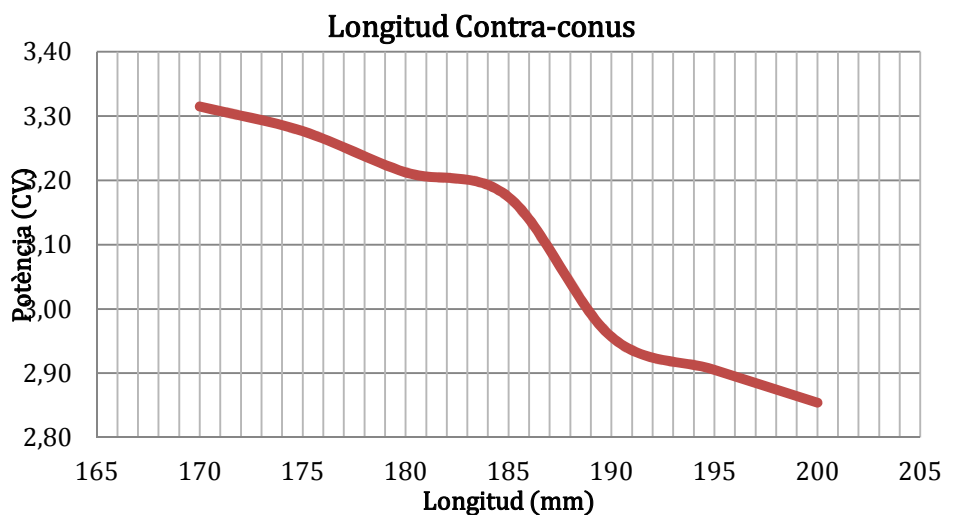
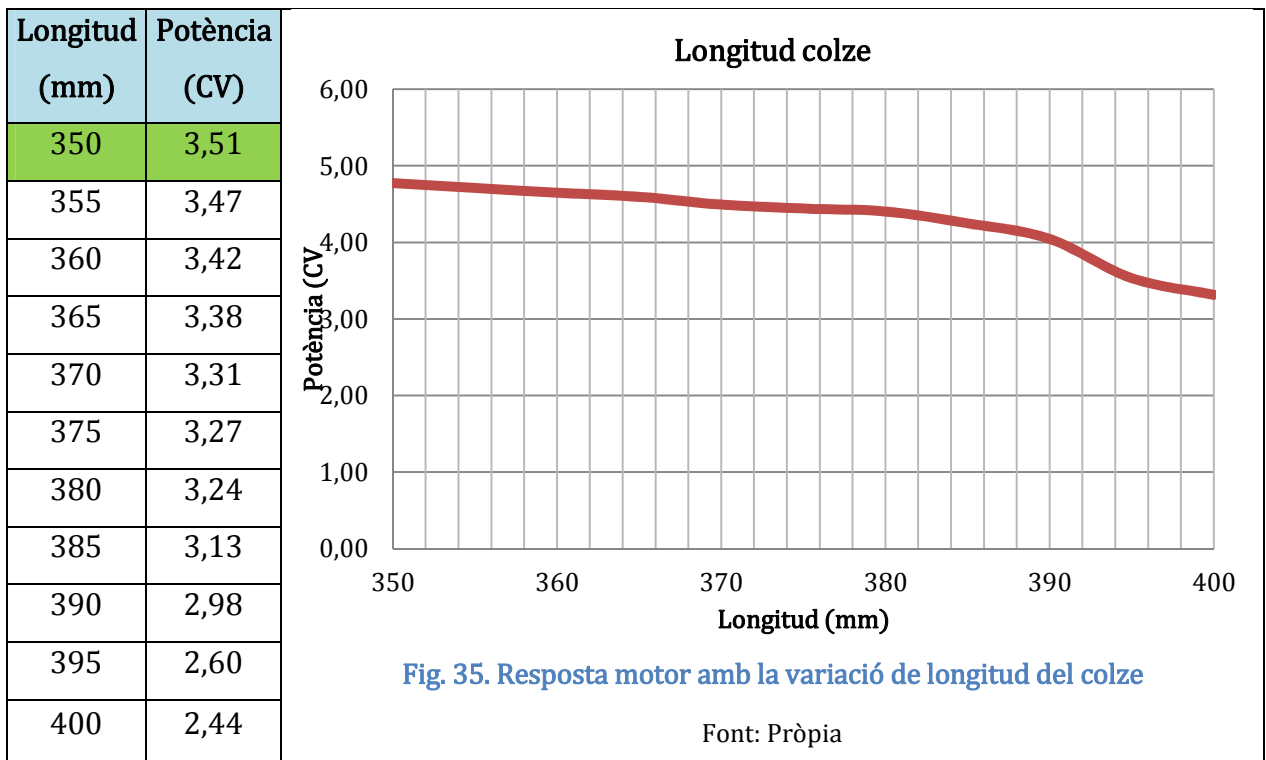


Fig. 34. Resposta motor amb la variació de longitud del contra-conus

Font: Pròpia

Taula 30. Resultats de la simulació del contra-conus per l'escapament de 9000 rpm

7.2.3.4. Colze



Taula 31. Resultats de la simulació del colze per l'escapament de 9000 rpm

7.2.3.5. Geometria de l'escapament

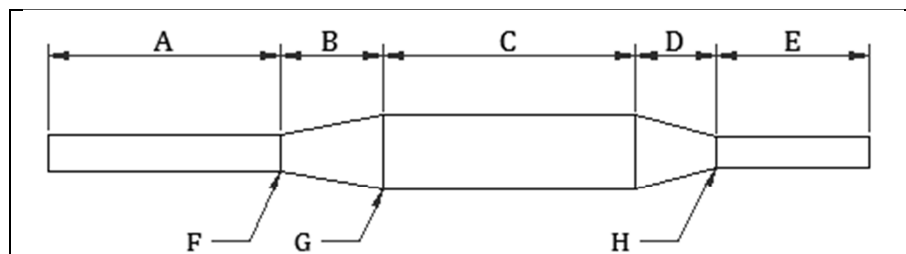


Fig. 36. Esquema escapament 2T

Font: Pròpia

DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS	DIMENSIÓ	VALOR	UNITATS
A	350	mm	E	190	mm
B	175	mm	F	25	mm
C	20	mm	G	75	mm
D	170	mm	H	17	mm

Taula 32. Resultats OpenWam escapament 9000 rpm

7.2.3.6. Corba de potència

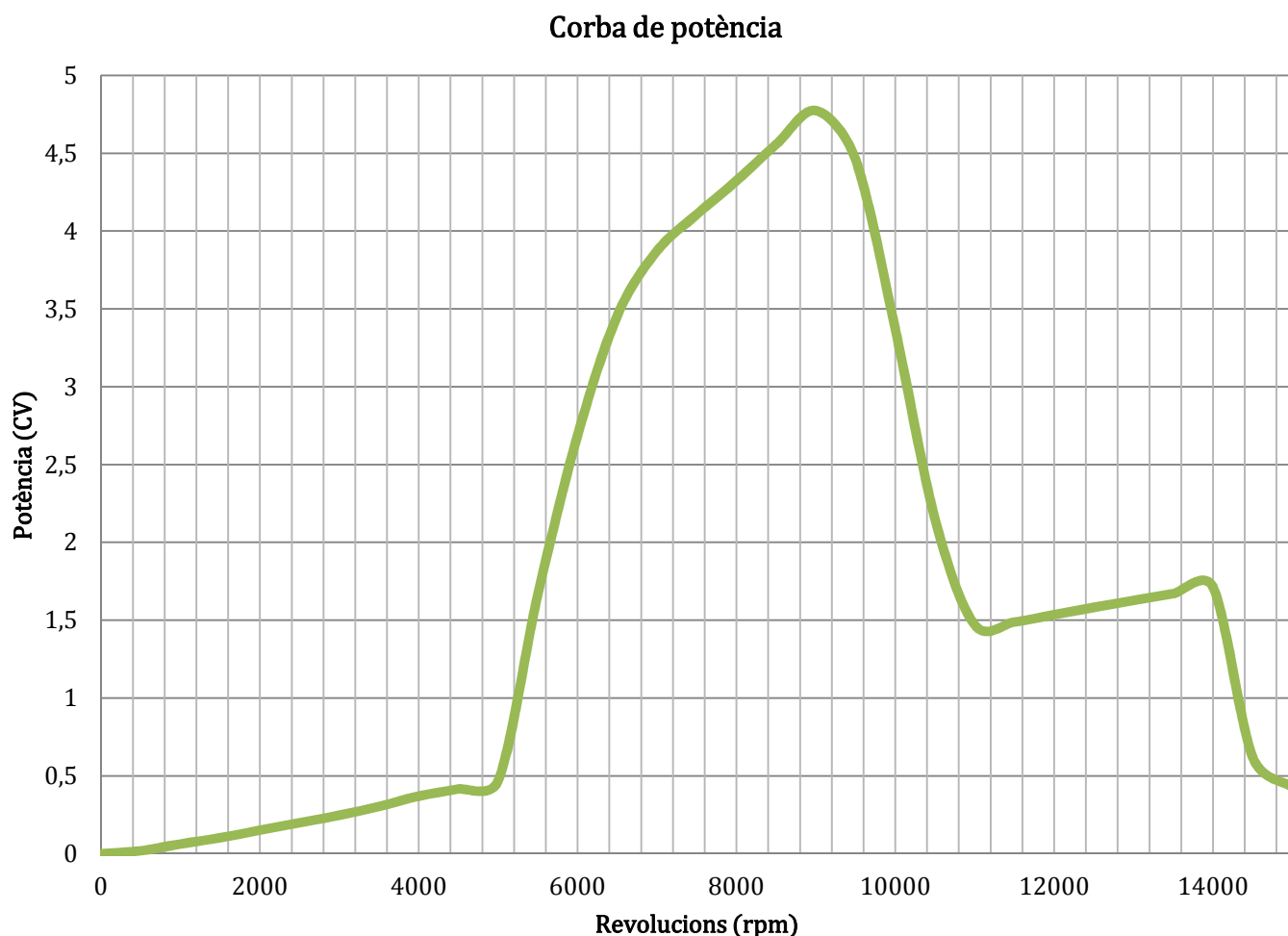


Fig. 37. Corba de potència escapament 9000 rpm

Font: Pròpia

8. DISSENY

Un cop que la geometria de cada element dels escapaments ha estat definida es va decidir com dur-lo a terme. Al no disposar d'una plegadora de tub em vaig veure obligat a realitzar els colzes amb trossos de tub tallats en angle. Per altra banda, es va haver de realitzar el desenvolupament de xapa d'aquests tubs tallats per tal de poder fabricar els models en cartró. Els conus, al fabricar-se amb xapa, també van calcular-se els seus desenvolupaments de xapa.

8.1. Desenvolupament de xapa

8.1.1. Tub Ø28 0°-15° (A.4.)

Pas 1: Definició de la geometria

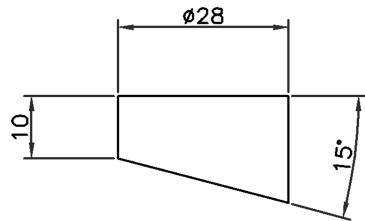


Fig. 38. Geometria tub tall 15°

Font: Pròpia

Pas 2: Divisió del perfil en n parts iguals.

Quantes majors divisions, major precisió.

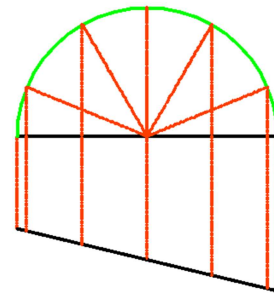


Fig. 39. Divisions tub tall 15°

Font: Pròpia

Pas 3: Divisió del perímetre del tub en $2 \times N - 1$ parts.

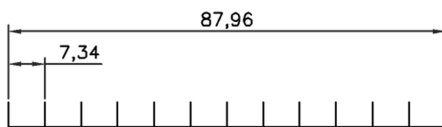


Fig. 40. Divisió del perímetre del tub

Font: Pròpia

Pas 4: Traslladar la longitud de les divisions del tub a les divisions del perímetre

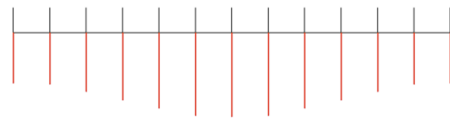


Fig. 41. Divisions tub sobre divisions perímetre

Font: Pròpia

Pas 5: Unir els vèrtex de cada divisió del perímetre.

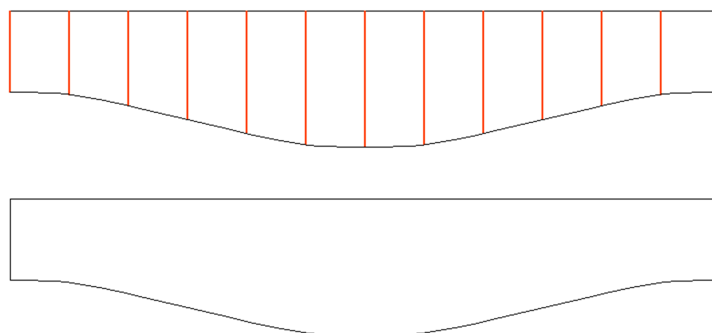


Fig. 42. Unió dels vèrtex i figura final

Font: Pròpia

8.1.2. Tub Ø28 15°-15° (A.5.)

Pas 1: Definició de la geometria

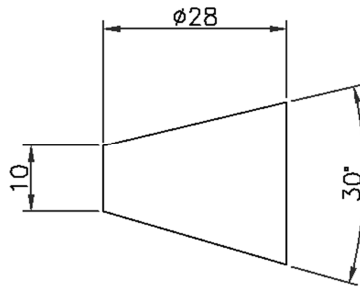


Fig. 43. Geometria tub tall 30°

Font: Pròpia

Pas 2: Seccionar el perfil per la meitat

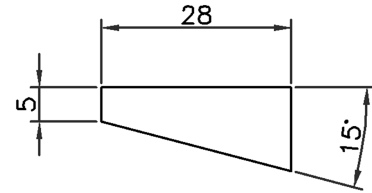


Fig. 44. Geometria tub tall 30° seccionat

Font: Pròpia

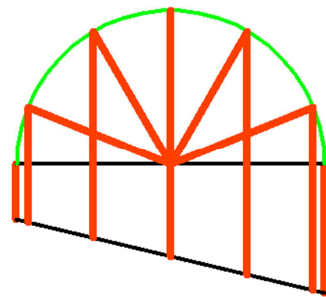
Pas 3: Divisió del perfil en n parts iguals.
Quantes mes divisions, major precisió.

Fig. 45. Divisió tub tall 30°

Font: Pròpia

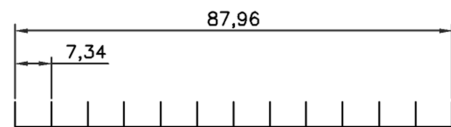
Pas 4: Divisió del perímetre del tub en
 $2 \times N - 1$ parts.

Fig. 46. Divisió del perímetre del tub

Font: Pròpia

Pas 5: Traslladar la longitud de les
divisions del tub a les divisions del
perímetreFig. 47. Divisions tub sobre divisions
perímetre

Font: Pròpia

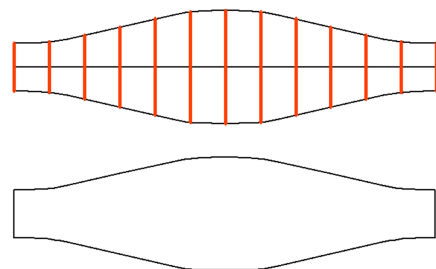
Pas 6: Unir els vèrtex de cada divisió
del perímetre i fer-ne la simetria
respecte l'eix central.

Fig. 48. Unió dels vèrtex i figura final

Font: Pròpia

8.1.3. Conus Ø25x240xØ75 (B.8.)

Pas 1: Definició de la geometria

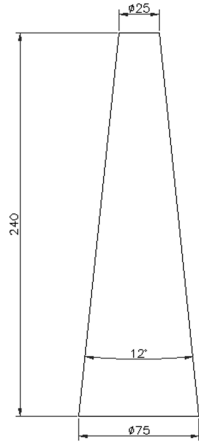


Fig. 49. Geometria conus B.8.

Font: Pròpia

Pas 2: Crear anell amb vèrtexs del conus

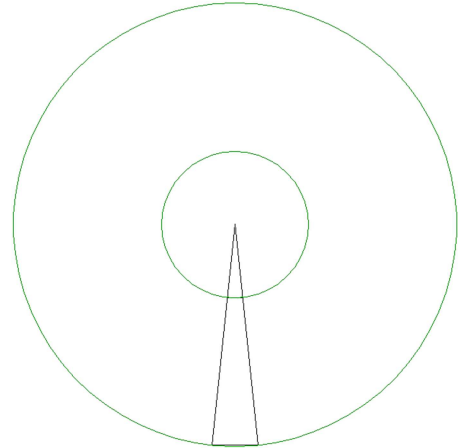


Fig. 50. Anell disseny xapa conus B.8.

Font: Pròpia

Pas 3: Calcular angle

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{\left(\frac{h \cdot R}{R-r}\right)^2 + R^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi}$$

$$\rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot 37.5}{\sqrt{\left(\frac{240 \cdot 37.5}{37.5 - 12.5}\right)^2 + 37.5^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = 37.29^\circ$$

Pas 4: Definir la geometria desplegada

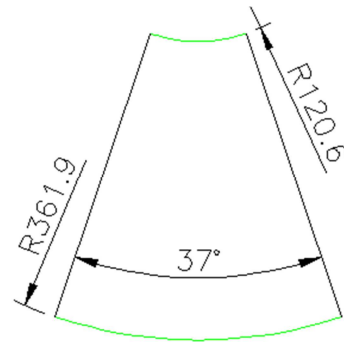


Fig. 51. Desplegament xapa conus B.8.

Font: Pròpia

8.1.4. Conus Ø75x200xØ17 (B.10.)

Pas 1: Definició de la geometria

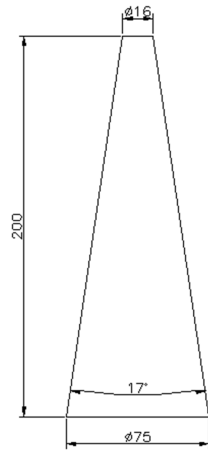


Fig. 52. Geometria conus B.10.

Font: Pròpia

Pas 2: Crear anell amb vèrtexs del conus

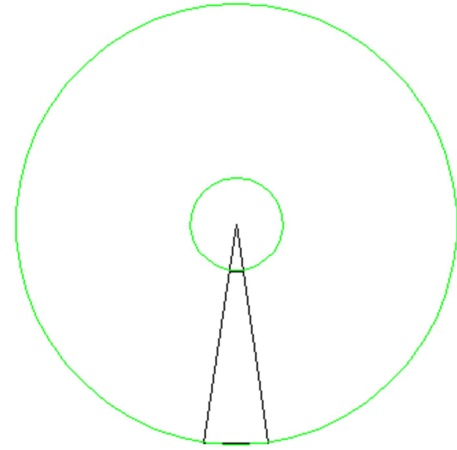


Fig. 53. Anell disseny xapa conus B.10.

Font: Pròpia

Pas 3: Calcular angle

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{\left(\frac{h \cdot R}{R-r}\right)^2 + R^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi}$$

$$\rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot 37.5}{\sqrt{\left(\frac{200 \cdot 37.5}{37.5 - 8}\right)^2 + 37.5^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = 52.53^\circ$$

Pas 4: Definir la geometria desplegada

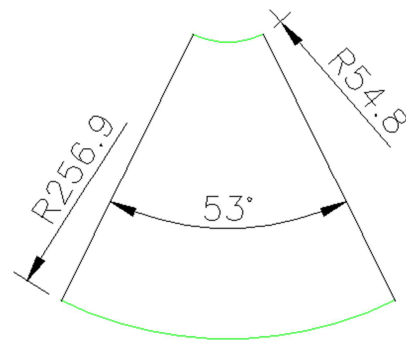


Fig. 54. Desplegament xapa conus B.10.

Font: Pròpia

8.1.5. Conus Ø25x175xØ75 (C.8.)

Pas 1: Definició de la geometria

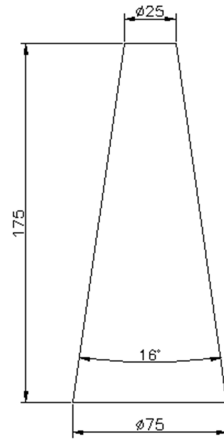


Fig. 55. Geometria conus C.8.

Font: Pròpia

Pas 2: Crear anell amb vèrtexs del conus

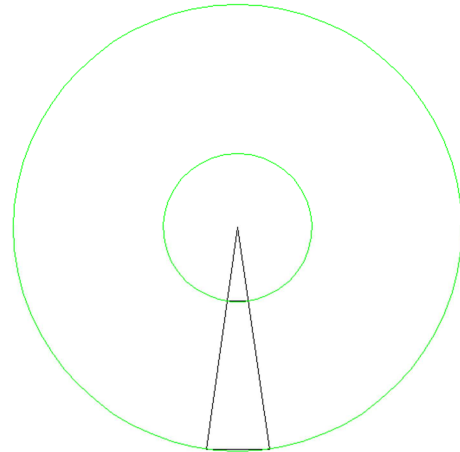


Fig. 56. Anell disseny xapa conus C.8.

Font: Pròpia

Pas 3: Calcular angle

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{\left(\frac{h \cdot R}{R-r}\right)^2 + R^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi}$$

$$\rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot 37.5}{\sqrt{\left(\frac{175 \cdot 37.5}{37.5 - 12.5}\right)^2 + 37.5^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi}$$

$$= 50.91^\circ$$

Pas 4: Definir la geometria desplegada

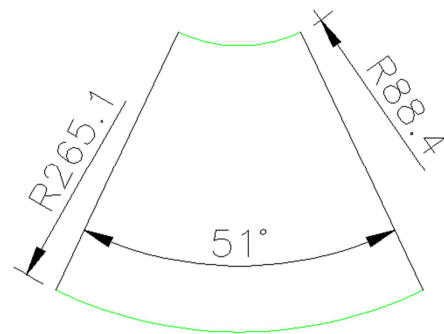


Fig. 57. Desplegament xapa conus C.8.

Font: Pròpia

8.1.6. Conus Ø75x170xØ17 (C.10.)

Pas 1: Definició de la geometria

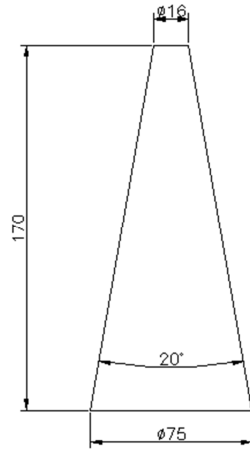


Fig. 58. Geometria conus C.10.

Font: Pròpia

Pas 2: Crear anell amb vèrtexs del conus

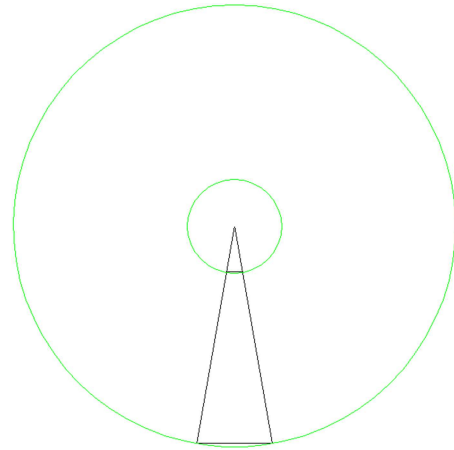


Fig. 59. Anell disseny xapa conus C.10.

Font: Pròpia

Pas 3: Calcular angle

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{\left(\frac{h \cdot R}{R-r}\right)^2 + R^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi}$$

$$\rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot 37.5}{\sqrt{\left(\frac{170 \cdot 37.5}{37.5-8}\right)^2 + 37.5^2}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} = 61.55^\circ$$

Pas 4: Definir la geometria desplegada

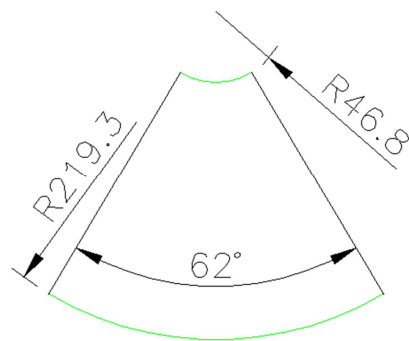


Fig. 60. Desplegament xapa conus C.10.

Font: Pròpia

8.2. Plànols

- Informació
- Plànol 1. Especejament
- Plànol 2. Peces cartró (A2-A4-A5-C7)
- Plànol 3. Peces cartró (B7-A11)
- Plànol 4. Peces cartró (A6-A3)
- Plànol 5. Peces cartró (B8)
- Plànol 6. Peces cartró (B9)
- Plànol 7. Peces cartró (B10-C10)
- Plànol 8. Peces cartró (C8-C9)
- Plànol 9. Peces acer (A1)
- Plànol 10. Peces acer (A2-A3-A4-A5-A6)
- Plànol 11. Peces acer (B7-C7-A11)

INFORMACIÓ:

Els plànols es divideixen en plànols per a la fabricació dels models en cartró i els escapament en acer.

1+1 unitats indica que calen dues unitats. Una per a la fabricació dels models de cartró i l'altre per al marcatge de la xapa.

Les peces tenen una nomenclatura específica que indica si són peces genèriques o úniques per a cada escapament.

CONTINGUT:

Plànol 1 --- Espesejament

Plànol 2 --- Peces cartró (A2-A4-A5-C7)

Plànol 3 --- Peces cartró (B7-A11)

Plànol 4 --- Peces cartró (A6-A3)

Plànol 5 --- Peces cartró (B8)

Plànol 6 --- Peces cartró (B9)


Plànol 7 --- Peces cartró (B10-C10)

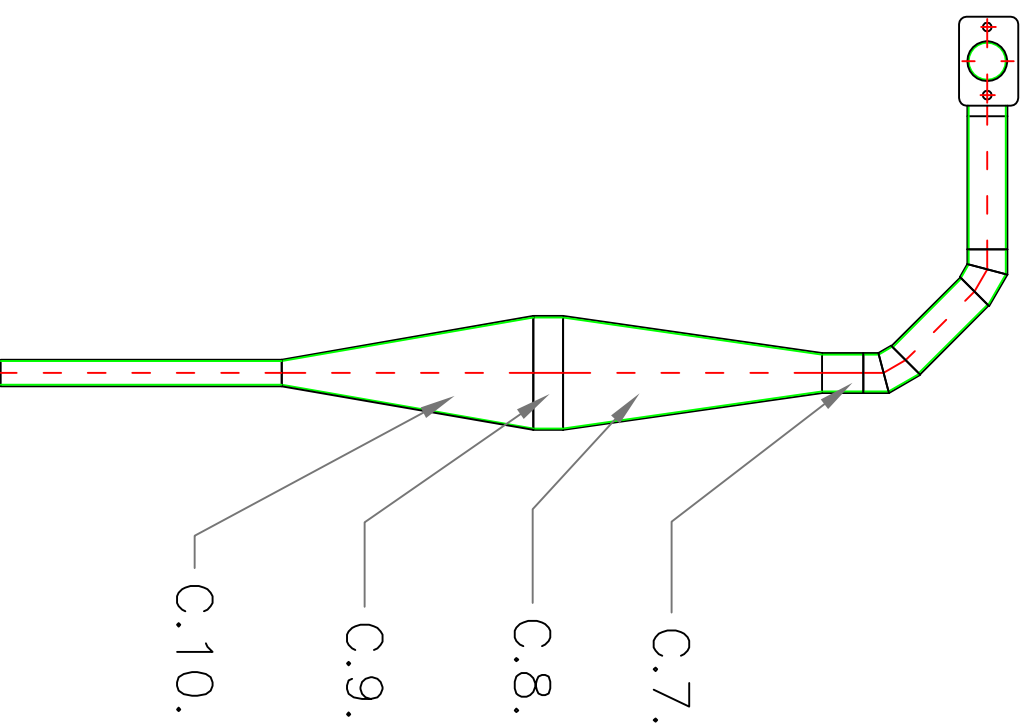
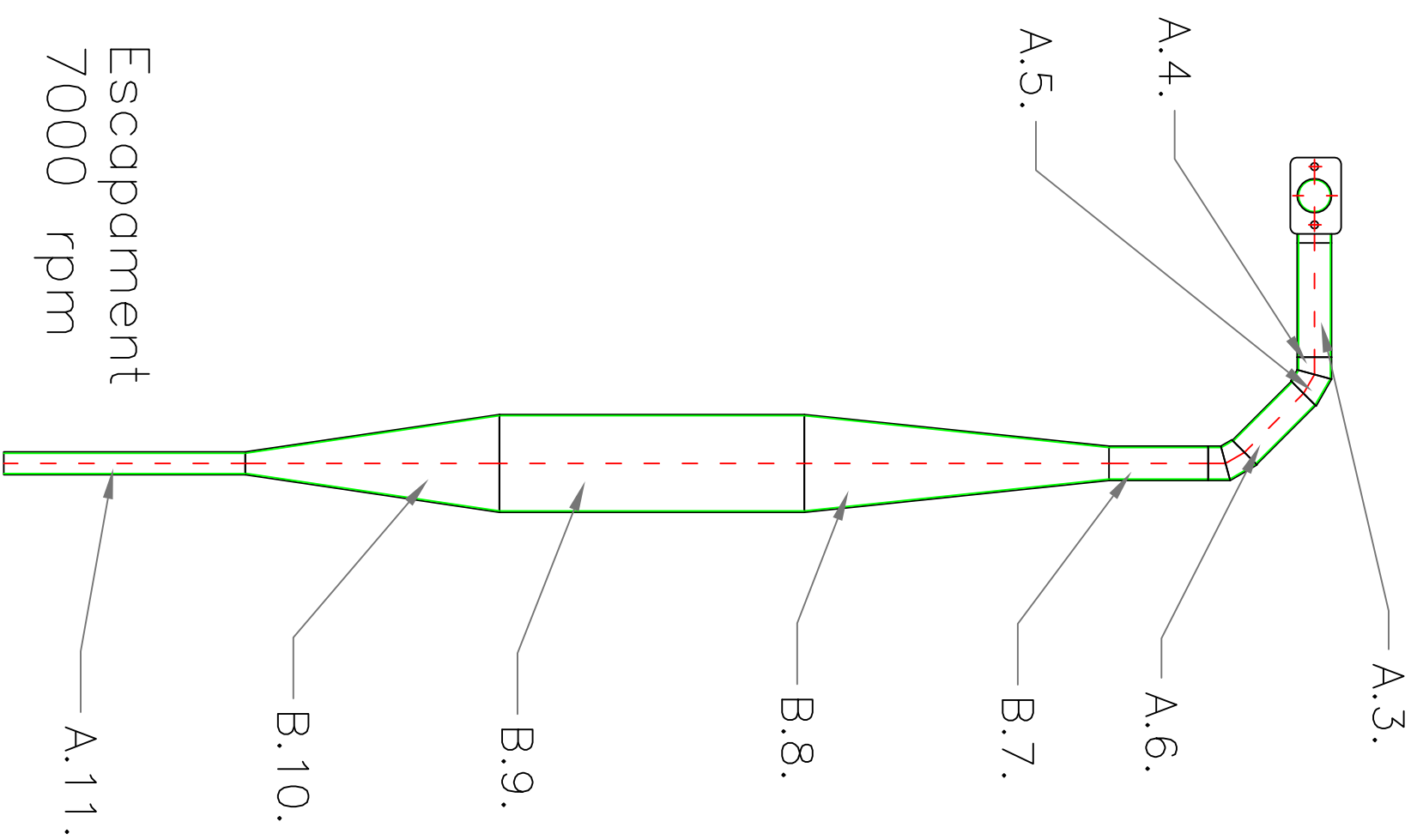
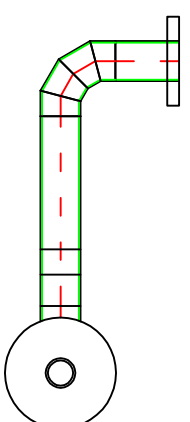
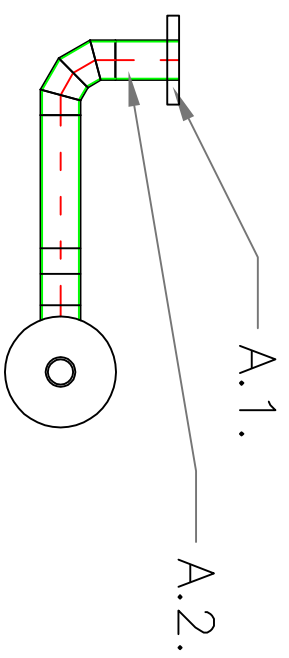
Plànol 8 --- Peces cartró (C8-C9)

Plànol 9 --- Peces acer (A1)

Plànol 10 --- Peces acer (A2-A3-A4-A5-A6)

Plànol 11 --- Peces acer (B7-C7-A11)

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		 UdG	Escola politècnica Superior
<i>Dibuixat</i>	25/05/15	ERNEST AYALA			
<i>Compro.</i>					
<i>Escala</i>	<i>INFORMACIÓ</i>				Nº plànol -
					Substitueix a:
					Especialitat MEI




CODI	DESCRIPCIÓ	UNITATS
A.1.	Pletina d'unió	2
A.2.	Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 43$	2
A.3.	Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 90$	2
A.4.	Secció Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 17 \times 15^\circ$	8
A.5.	Secció Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 24 \times 30^\circ$	8
A.6.	Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 66$	2
B.7.	Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 78$	1
C.7.	Tub $\phi 27 \times 1.5 \times 28$	1
B.8.	Conus $\phi 25 \times 240 \times \phi 75$	1
C.8.	Conus $\phi 25 \times 175 \times \phi 75$	1
B.9.	Tub $\phi 75 \times 0.8 \times 240$	1
C.9.	Tub $\phi 75 \times 0.8 \times 20$	1
B.10.	Conus $\phi 75 \times 200 \times \phi 17$	1
C.10.	Conus $\phi 75 \times 170 \times \phi 17$	1
A.11.	Tub $\phi 20 \times 1.5 \times 190$	2

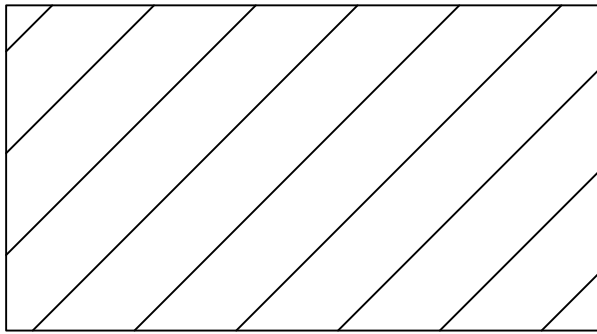
Escapament
9000 rpm

NOMENCLATURA

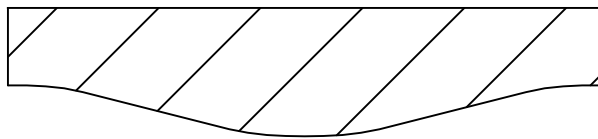
- A.X. – Element compartit entre ambdós escapaments
- B.X. – Element exclusiu de l'escapament de 7000 rpm
- C.X. – Element exclusiu de l'escapament de 9000 rpm

Escapament
7000 rpm

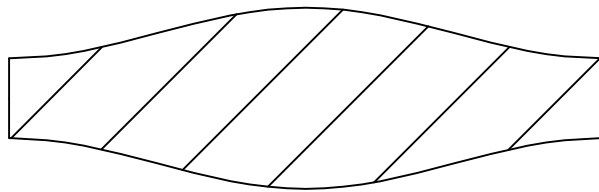
	Data	Nom			
Dibuixat	25/05/15	ERNEST	AYALA		
Compro.					
Escola	 UdG			Escola politècnica Superior	
Escala				1:5	ESPECEJAMENT
				Substitueix a:	
				Especialitat MEI	



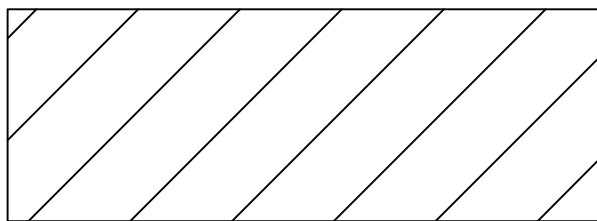
Peça A.2.
2 unitats



Peça A.4.
8 unitats




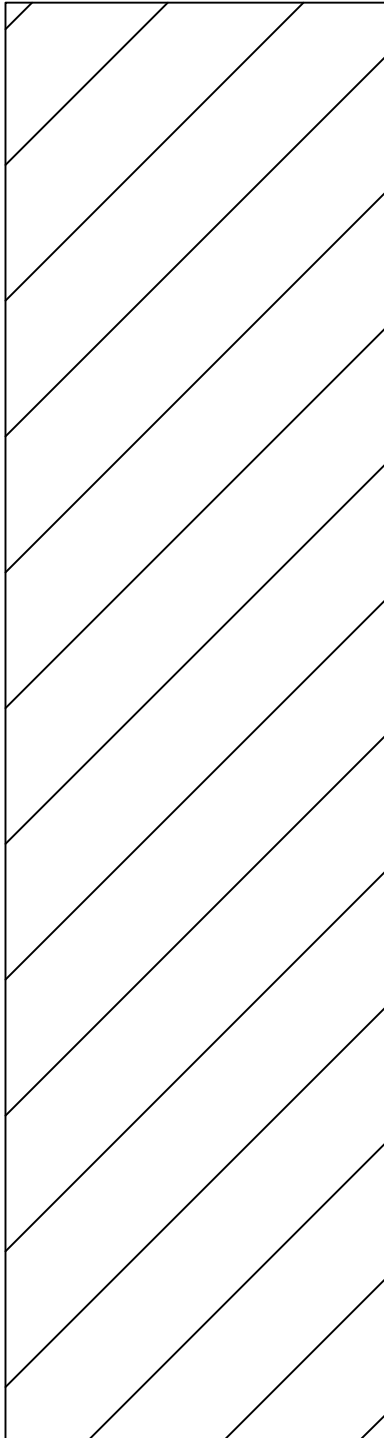
Peça A.5.
8 unitats



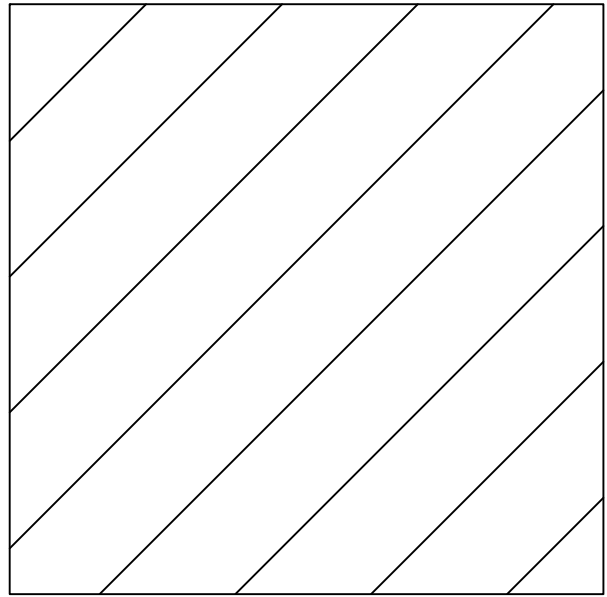
Peça C.7.
1 unitat

NOTA: L'cotació no es necessària degut a que la impressió es realitza a escala 1:1

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		 Escola politècnica Superior
<i>Dibuixat</i>	25/05/15	ERNEST AYALA		
<i>Compro.</i>				
<i>Escala</i> 1:1	<i>PECES-CARTRÓ</i>			<i>Nº plànol</i> 2
				<i>Substitueix a:</i>
				<i>Especialitat</i> MEI




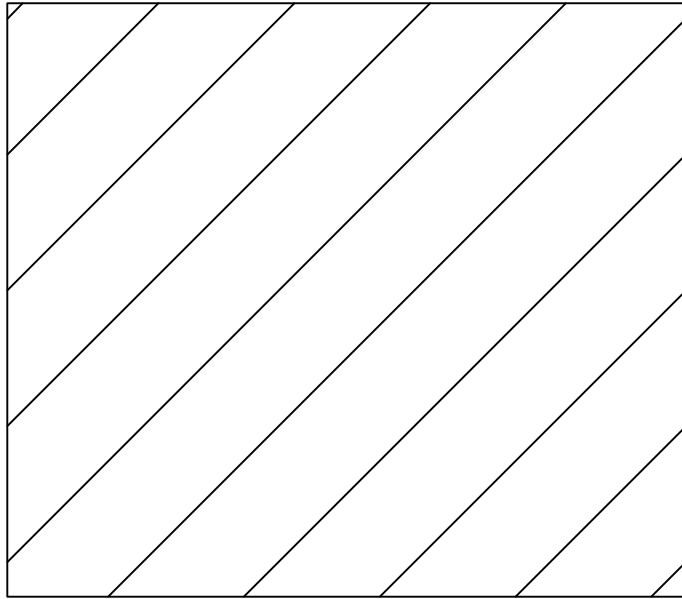
Peça A.11.
2 unitats



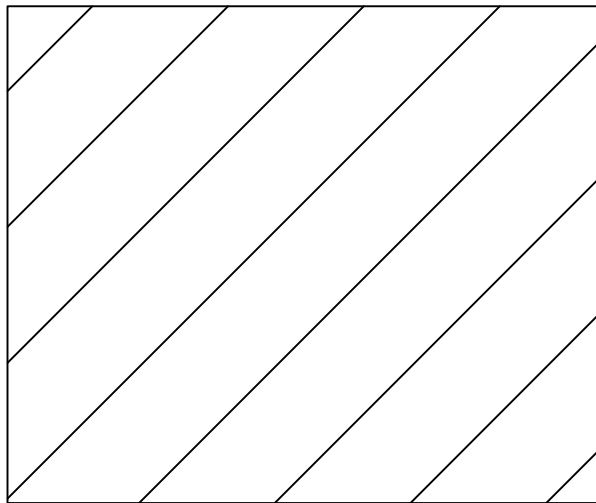
Peça B.7.
1 unitat

NOTA: L'cotació no es necessària degut a que la impressió es realitza a escala 1:1

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		 UdG	<i>Escola politècnica Superior</i>
<i>Dibuixat</i>	25/05/15	ERNEST AYALA			
<i>Compro.</i>					
<i>Escala</i> 1:1	<i>PECES-CARTRÓ</i>			<i>Nº plànol 3</i>	
				<i>Substitueix a:</i>	
				<i>Especialitat MEI</i>	




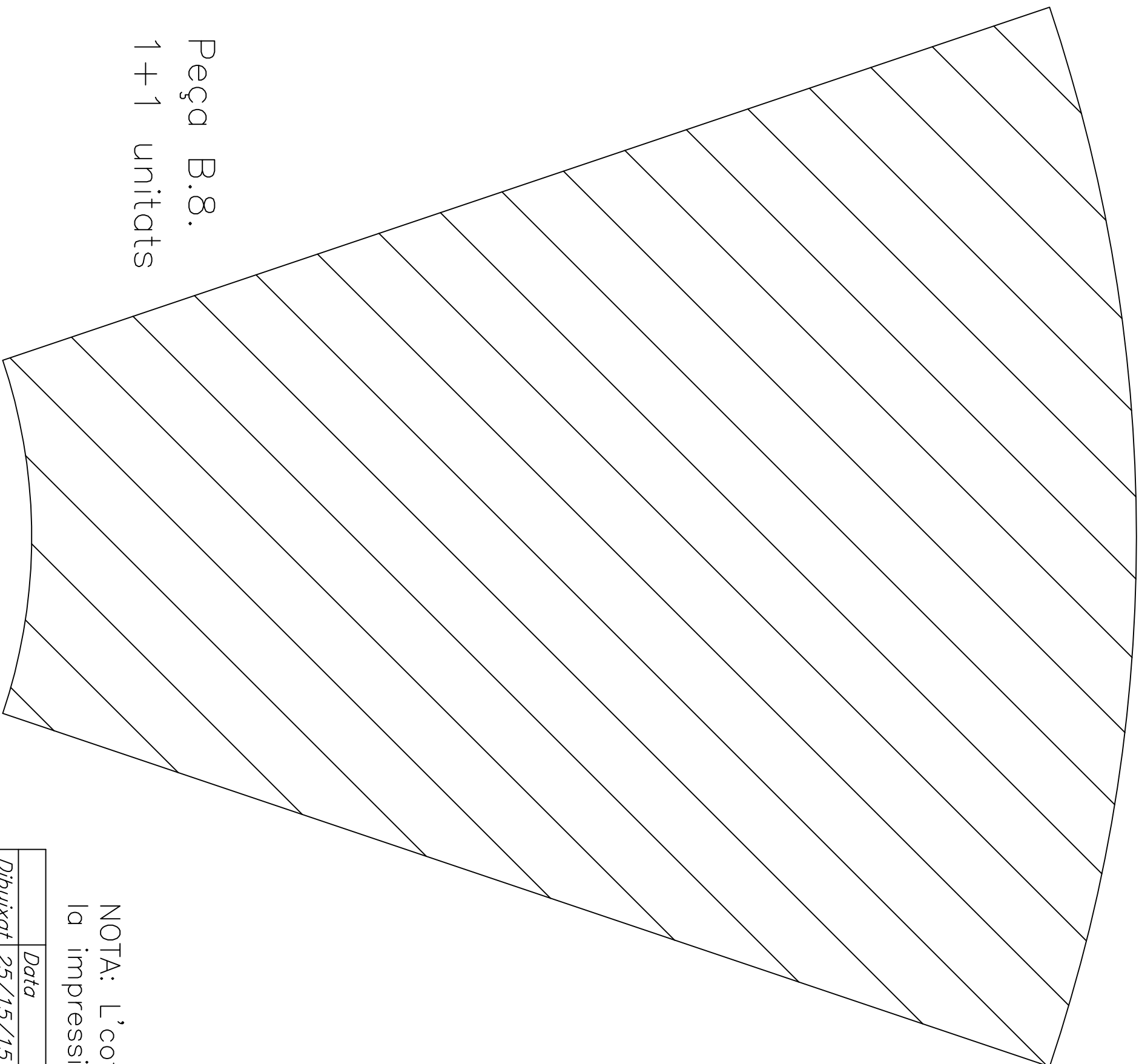
Peça A.3.
2 unitats



Peça A.6.
2 unitats

NOTA: L'cotació no es necessària degut a que la impressió es realitza a escala 1:1

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		 UdG	<i>Escola politècnica Superior</i>
<i>Dibuixat</i>	25/05/15	ERNEST AYALA			
<i>Compro.</i>					
<i>Escala</i> 1:1	<i>PECES-CARTRÓ</i>			<i>Nº plànol</i> 4	
				<i>Substitueix a:</i>	
				<i>Especialitat</i> MEI	



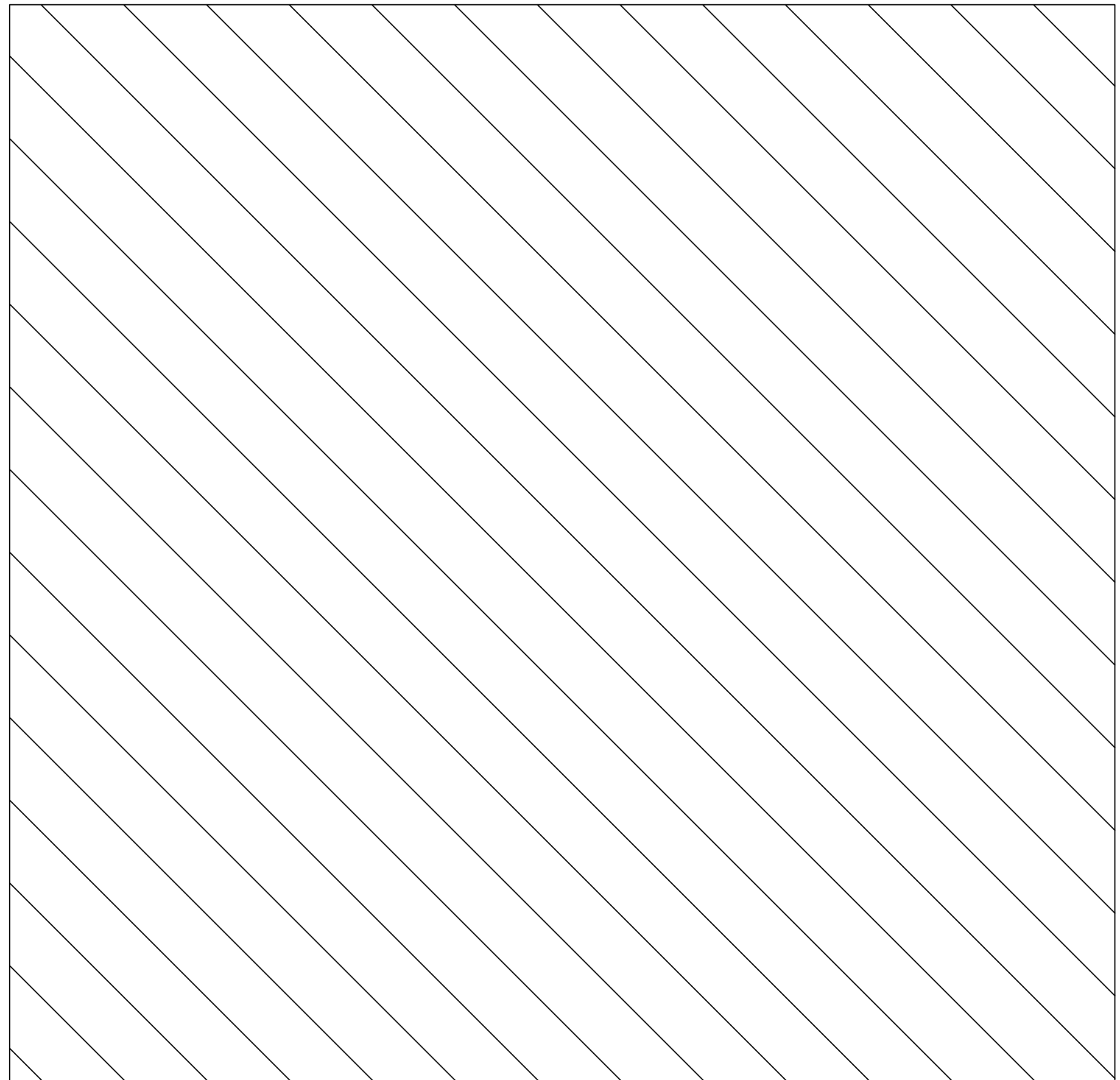
Peça B.8.
1+1 unitats

NOTA: L'cotació no es necessària degut a que
la impressió es realitza a escala 1:1

	Data	Nom			
Dibuixat	25/15/15	ERNEST	AYALA		
Compro.					
Escola	PECES - CARTRO				Nº plànol 5
1:1					Substitueix a:
					Especialitat MEI

Escola politècnica
Superior

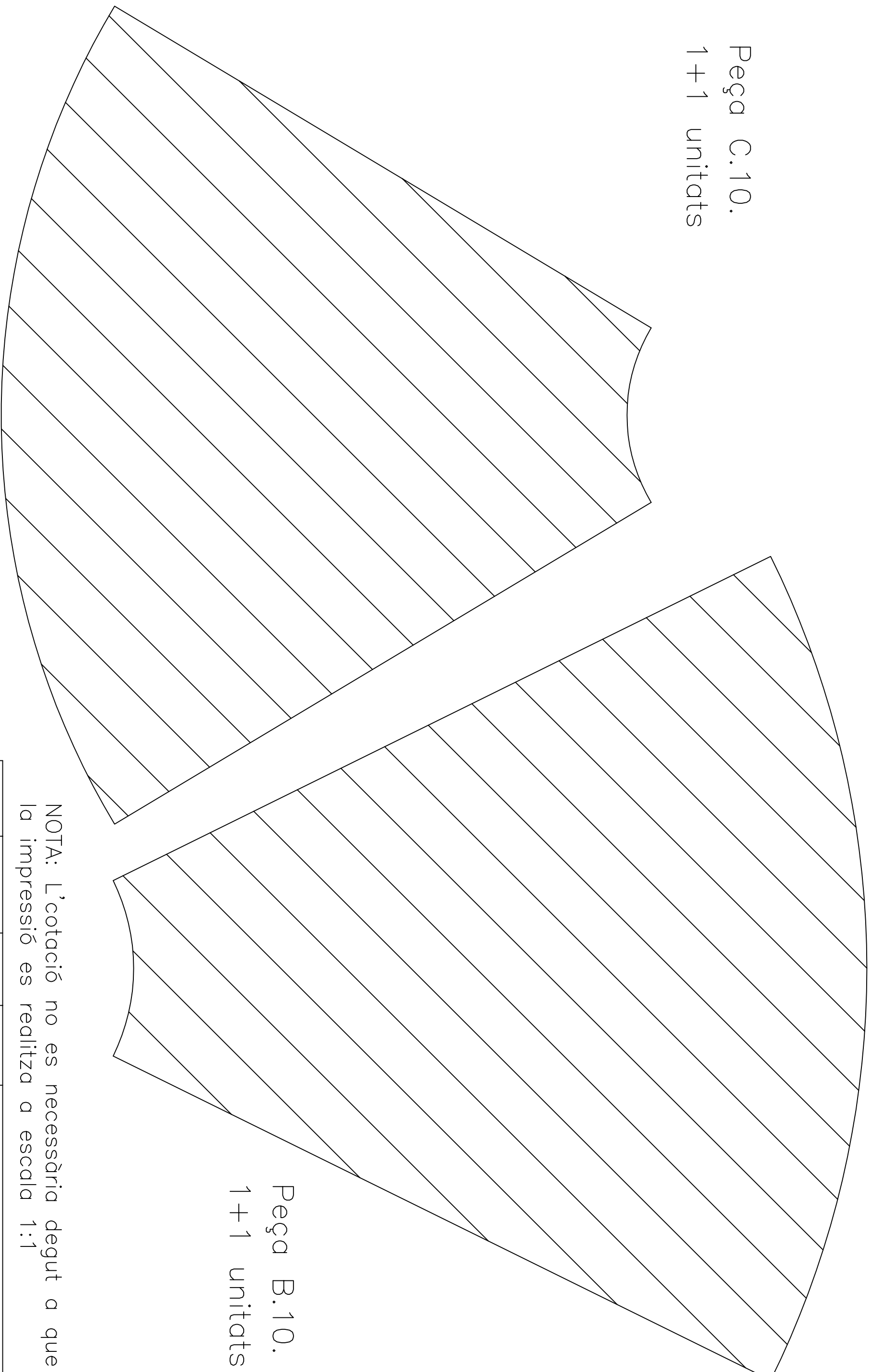
Peça B.9.
1+1 unitats



NOTA: L'cotació no es necessària degut a que la impressió es realitza a escala 1:1

<i>Data</i>	<i>Nom</i>		<i>Escola politècnica Superior</i>
<i>Dibuixat</i>	25/15/15 ERNEST AYALA		
<i>Compro.</i>			
<i>Escala</i>	PECES – CARTRÓ		<i>Nº plànol 6</i>
1:1			<i>Substueix a:</i>
			<i>Especialtat MEI</i>

Peça C.10.
1+1 unitats

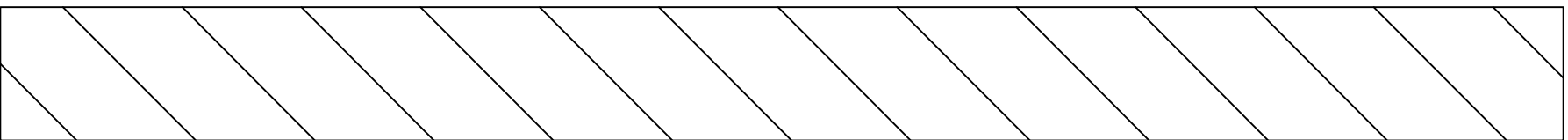


Peça B.10.
1+1 unitats

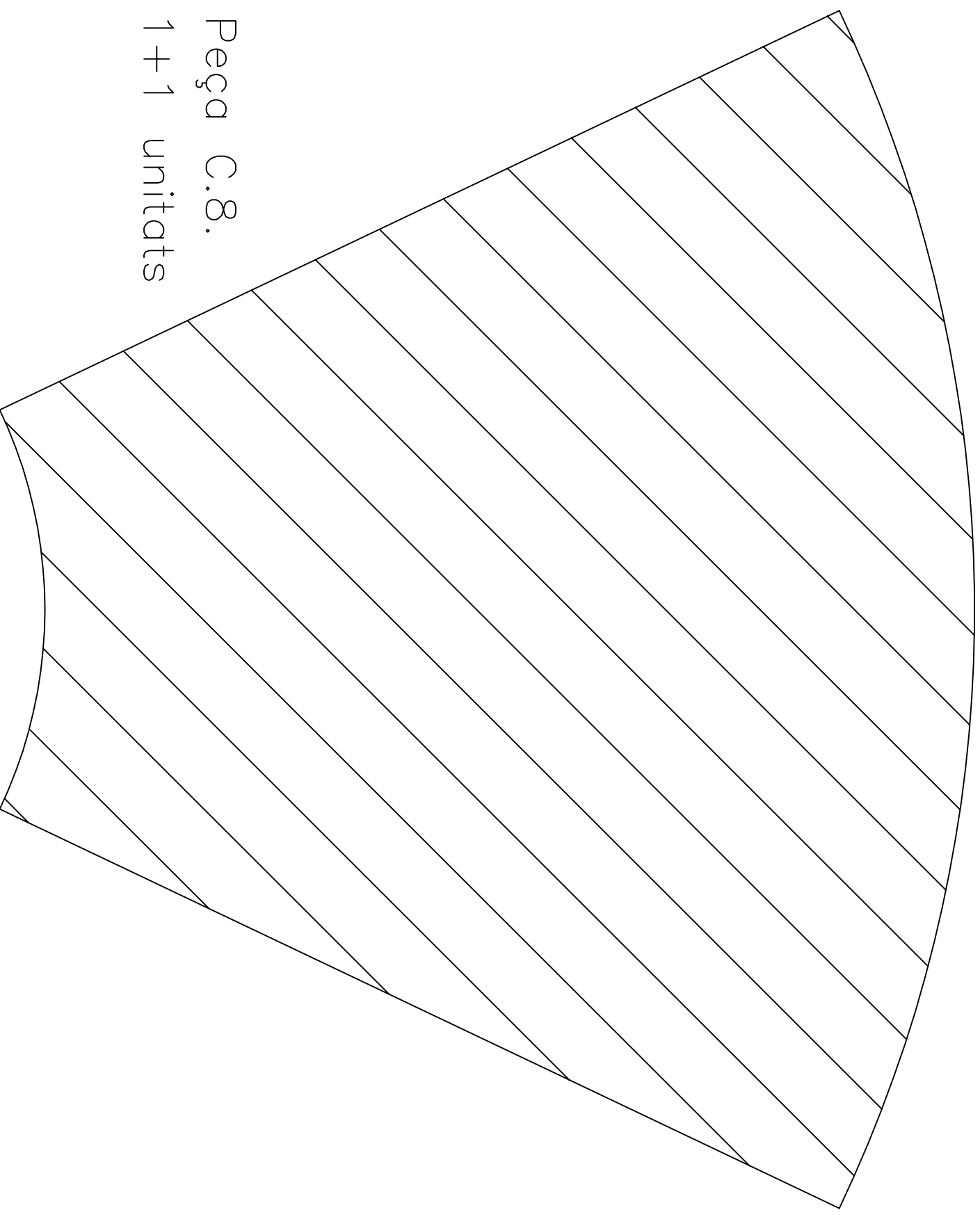
NOTA: L'cotació no es necessària degut a que la impressió es realitza a escala 1:1

<i>Data</i>	<i>Nom</i>		<i>Escola politècnica Superior</i>
<i>Dibuixat</i>	25/15/15 ERNEST AYALA		
<i>Compro.</i>		<i>UdG</i>	
<i>Escala</i>	1:1	<i>PECES – CARTRO</i>	
		<i>Nº plànol</i>	7
		<i>Substueix a:</i>	
		<i>Especialitat</i>	MEI

Peça C.9.
1+1 unitats



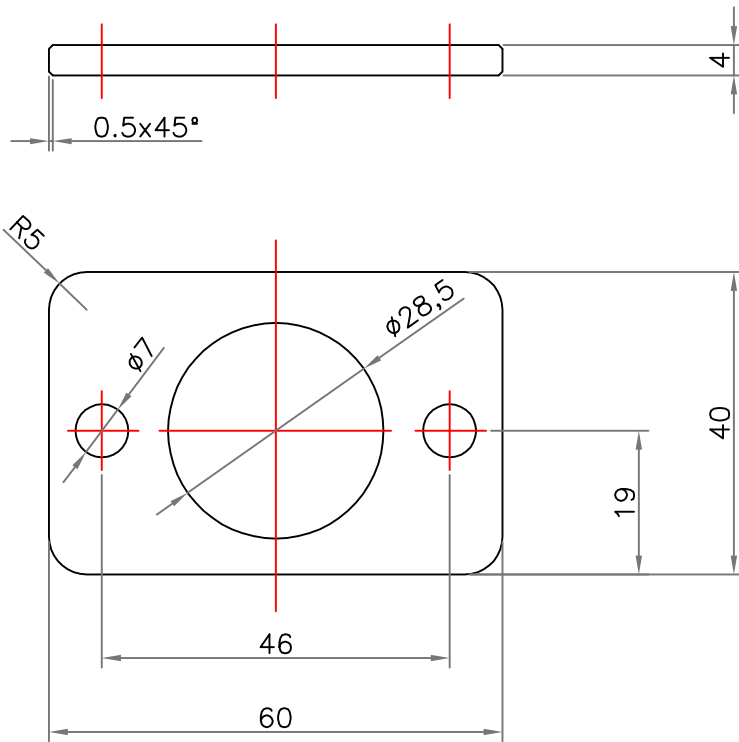
Peça C.8.
1+1 unitats



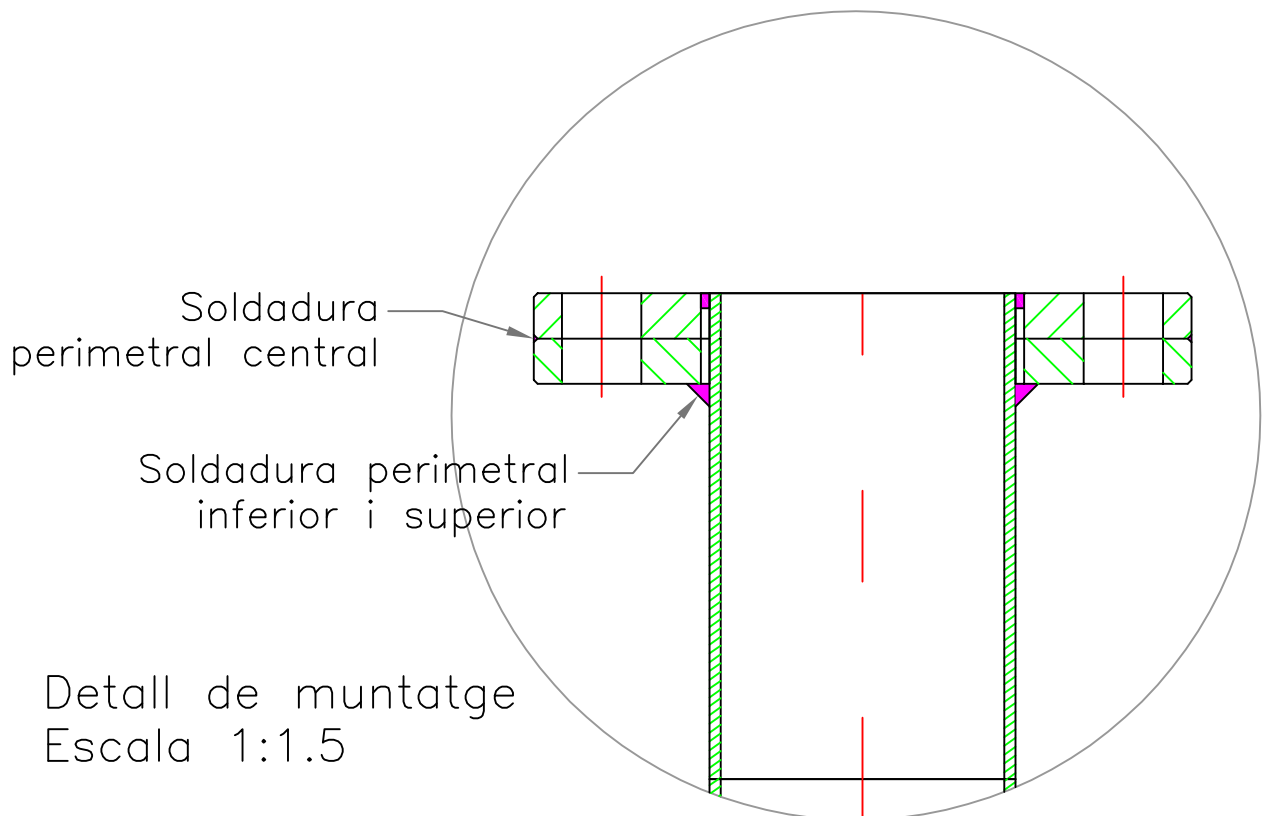
NOTA: L'cotació no es necessària degut a que la impressió es realitza a escala 1:1


	Data	Nom			
Dibuixat	25/15/15	ERNEST	AYALA		
Compro.					
Escola	PECES - CARTRÓ				Nº plànol 8
1:1					Substueix a:
					Especialitat MEI

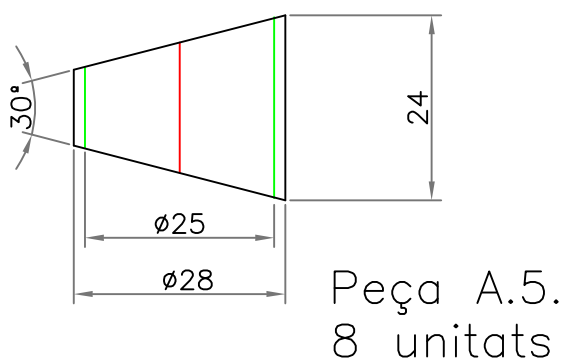
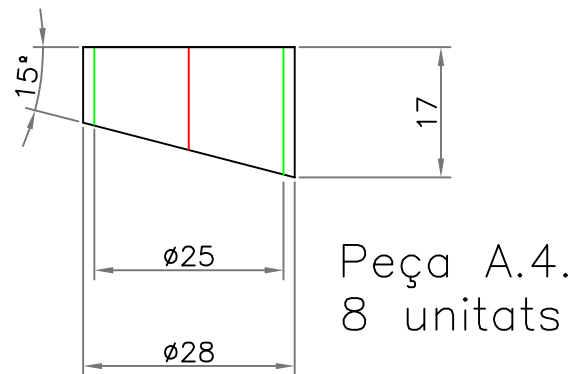
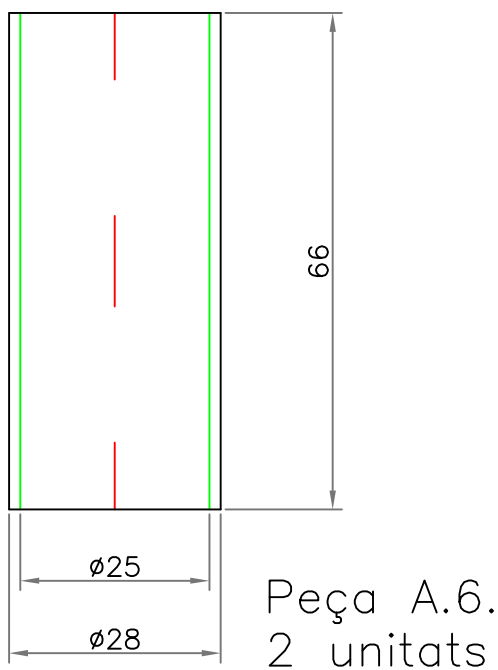
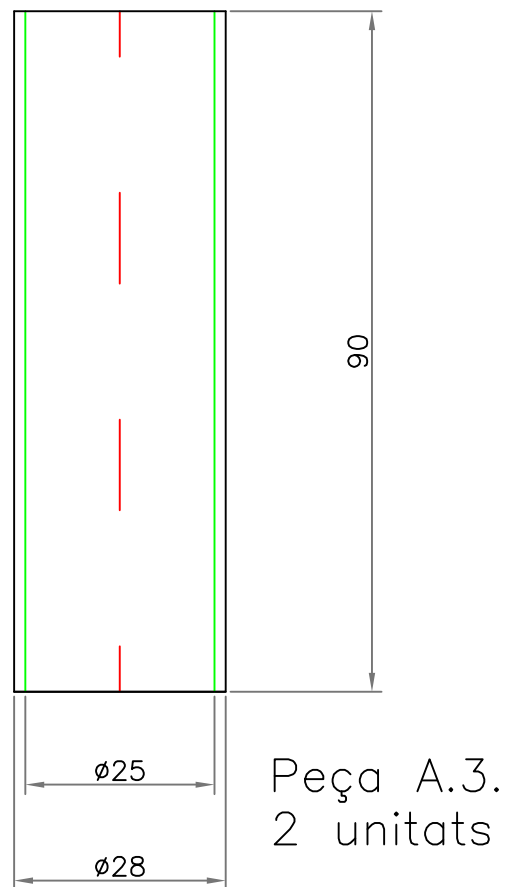
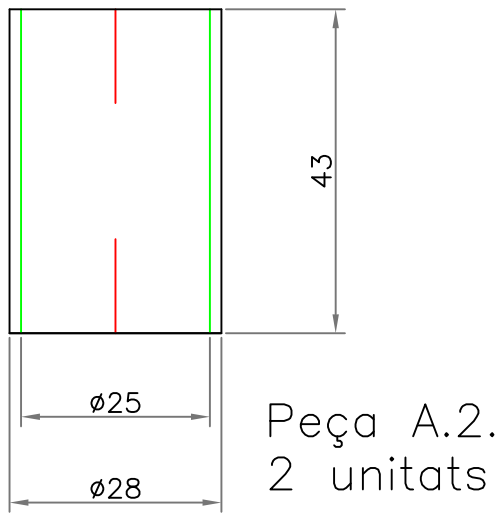
Escola politècnica
Superior




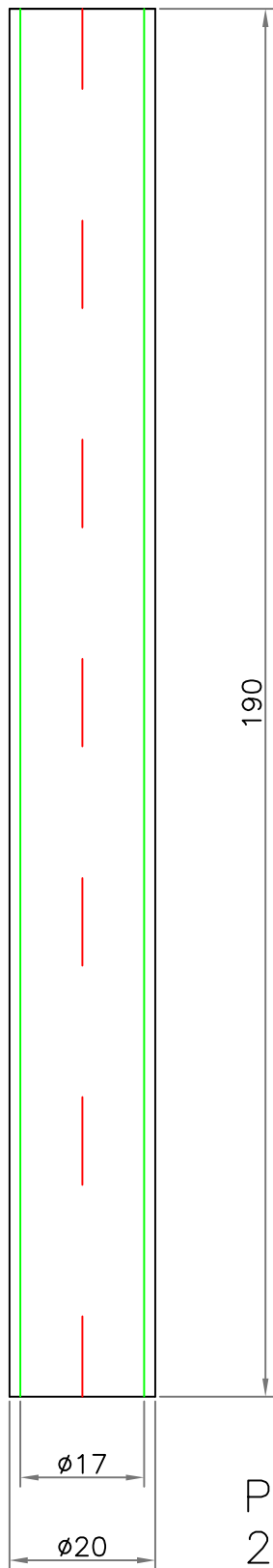
Peça A.1.
4 unitats



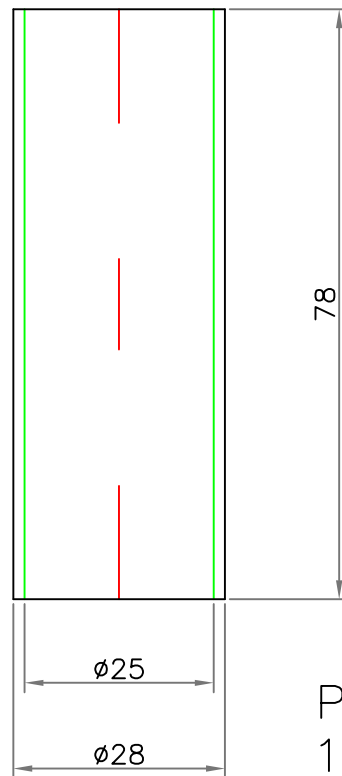
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		 Escola politècnica Superior
<i>Dibuixat</i>	25/05/15	ERNEST AYALA		
<i>Compro.</i>				
<i>Escala</i>	PECES-ACER			Nº plànol 9
1:1				Substueix a:
				Especialitat MEI



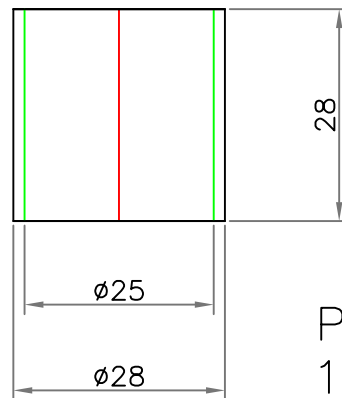
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		 Escola politècnica Superior
<i>Dibuixat</i>	25/05/15	ERNEST AYALA		
<i>Compro.</i>				
<i>Escala</i> 1:1	<i>PECES-ACER</i>			<i>Nº plànol</i> 10
				<i>Substitueix a:</i>
				<i>Especialitat</i> MEI




Peça A.11.
2 unitats



Peça B.7.
1 unitat



Peça C.7.
1 unitat

	Data	Nom		 Escola politècnica Superior
Dibuixat	25/05/15	ERNEST AYALA		
Compro.				
Escala 1:1	<i>PECES-ACER</i>			N° plànol 11 Substueix a: Especialitat MEI

9. FABRICACIÓ

9.1. Fabricació models de cartró

La fabricació dels models de cartró va realitzar-se en una tarda. Amb el desenvolupament de xapa de tots els elements retallats, es van anar unint un a un amb cinta adhesiva. La finalitat del model de cartró és simular el procés de fabricació i conèixer les dimensions reals de l'escapament per poder fer modificacions en funció de la geometria del ciclomotor.

9.1.1. Tall del desenvolupament 2D dels elements

-Un cop dissenyats tots els elements dels escapaments i extreta la seva geometria desplegada, es van imprimir sobre cartolina de dimensions A3 i A4, en funció de la seva superfície, per tal de poder ser impreses a escala 1:1 amb una impressora domèstica. Del contrari hagués estat més llarg i difícil el procés de marcatge tant de la cartolina com de la xapa d'acer posterior. Amb les cartolines marcades tant sols es van haver de retallar les peces.

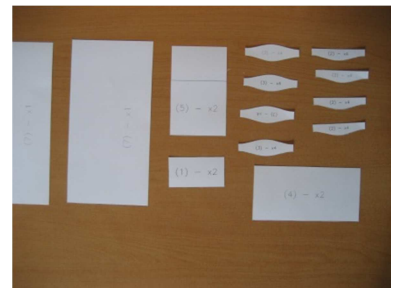


Fig. 61. Retalls de peces desplegadas

Font: Pròpia

9.1.2. Unió dels elements

Amb totes les peces retallades tant sols es van haver d'unir amb cinta adhesiva.



Fig. 62. Colze escapament de cartolina

Font: Pròpia



Fig. 63. Escapament acabats

Font: Pròpia

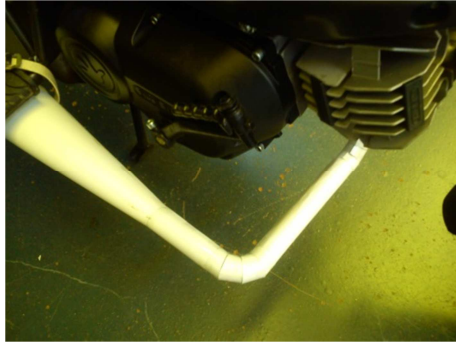


Fig. 64. Prova escapament 7000 rpm sobre ciclomotor

Font: Pròpia

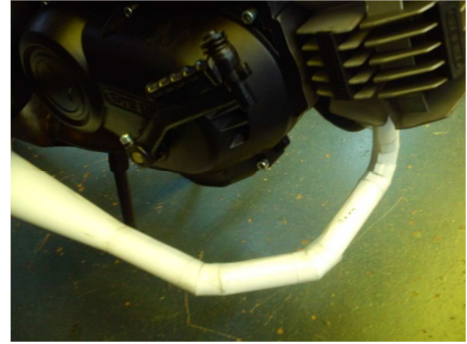


Fig. 65. Modificació colze escapament 7000 rpm

Font: Pròpia

9.2. Fabricació escapaments en acer

El procés de fabricació va tenir una durada de cinc dies. Es va realitzar al taller mecànic de l'empresa PIA.SA i el taller de reparació de motocicletes Bonvini Motors. Al taller mecànic de PIA.SA es van realitzar els talls i perforacions de les xapes que, posteriorment, s'utilitzarien com a elements d'unió de l'escapament i el motor a l'hora que van subministrar-me el material necessari per a la fabricació. Al taller Bonvini Motors van realitzar-se el tall i plegat de xapa i la soldadura.

9.2.1. Preparació de material

La preparació del material va consistir en cercar el material del que es disposava i seleccionar aquell que fos més adient per a la fabricació. Un cop seleccionat el tub, xapa i passamà es van netejar, polir i cobrir amb una fina capa d'oli per protegir-lo donat que passaria un mes fins que es comencés a fabricar donat que, amb la geometria del material seleccionat, es realitzarien les simulacions dels escapaments.

9.2.2. Tall de tub i poliment

Un cop coneguda la geometria dels dos escapaments, es va procedir a tallar el tub. Va tallar-se utilitzant una serra de cinta ubicada al taller mecànic de PIA.SA. Aquesta serra permet fer talls amb una relativa precisió i fer talls en angle. Un cop tallat el tub es van polir els vèrtexs interiors i exteriors amb moles i es van planejar amb una radial de peu per tal d'assegurar el paral·lelisme entre cares.



Fig. 66. Tubs tallats i polits

Font: Pròpia

9.2.3. Marcació, tall i poliment de xapa

Es disposava d'una xapa d'acer de 0.8 mm de gruix d'alta maleabilitat indicat per a la fabricació d'escapaments. Damunt la xapa es van col·locar els models en cartró per tal de poder marcar la xapa per al seu posterior tall amb tisores de metall. Un cop tallat es van polir les superfícies i els vèrtexs.



Fig. 67. Marcat de xapa

Font: Pròpia

9.2.4. Plegat manual de xapa

El plegat de xapa es va realitzar de forma manual amb una plegadora casolana. El funcionament és el mateix que una plegadora industrial amb la diferència que la curvatura es dona de forma manual i discontinua de la mateixa manera que l'avanç de la xapa es fa de forma manual. Per aquest motiu, les xapes tenen petits esglaons produïts pels plegats



Fig. 68. Plegat de xapa

Font: Pròpia

discontinus. Un cop plegades les xapes se'ls va donar forma amb tubs per tal d'aconseguir que les parts que entrarien en contacte durant la soldadura fossin el més rectes possibles a l'hora que es van planejar els extrems per evitar muntar les peces descentrades.



Fig. 69. Plegat de xapa

Font: Pròpia

9.2.5. Soldadura

Inicialment la soldadura es va planificar per executar-se per mitjà del bufador, com a tècnica, i amb oxigen líquid i acetilè, com a gasos combustibles, però, degut a una falta de gas i d'un bufador massa petit, es va optar per soldar amb TIG sense aportació i amb aportació de material en situacions excepcionals com perforacions o salts entre vèrtex importants. Per altra banda, el TIG és una tècnica més senzilla i ràpida d'executar i permet modificar la intensitat de la soldadura per mitjà de l'amperatge en funció del gruix de les peces a unir.



Fig. 70. Soldadura TIG

Font: /i.ytimg.com/

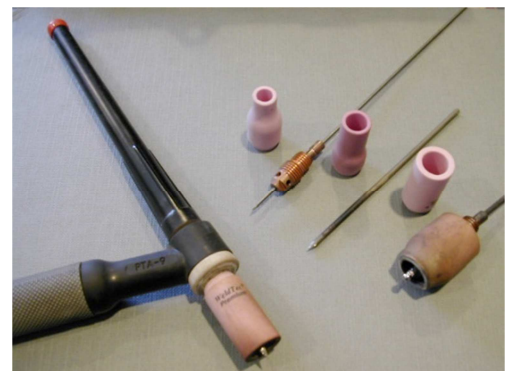


Fig. 71. Capçals soldadura TIG

Font: /wikimedia.org/



Fig. 72. Escapament 7000 rpm

Font: Pròpia



Fig. 73. Escapament 9000 rpm

Font: Pròpia

10. PROVA EN BANC MOTOR

Les proves van realitzar-se al banc de proves de l'empresa Tecnigas. La moto utilitzada va ser una ByeBike versió de 45 km/h. Van realitzar-se proves amb l'escapament original i els dos escapaments. Degut a que, durant el procés de disseny, es va disposar d'una motocicleta del tipus prototip, es van dissenyar els escapaments partint de la geometria del que es disposava. En el moment de muntar els escapaments es va descobrir que la posició dels reposapeus no coincidia entre ciclomotors i aquestes entorpien la col·locació dels escapaments.

Per aquest motiu van haver de ser desmuntats.

Per altra banda, el motor de la ByeBike és un motor amb variador i aquest va haver de ser bloquejat, tal i com es mostra a la Fig. 74. Fixació del variador, per impedir que el seu efecte condicionés la lectura del banc de potència. Per tal d'anul·lar-lo, es va utilitzar un passador de 4 mm amb la finalitat de fixar l'anell tractor. Aquesta decisió condiona la prova donat que fixa una relació de gir entre el motor i la roda que ha de ser corregida amb el programa informàtic associat al banc de rodets inercial.

Es van realitzar tres proves amb cada escapament per tal de veure si hi havia molta variació entre elles i assegurar que la lectura fos correcta. També es va haver de sincronitzar la lectura de les revolucions del motor amb les revolucions reals.

Un cop tot apunt, tant sols es va haver de donar gas a fons des del ralenti fins a les 13500 rpm, valor en el qual el motor ja no aporta potència i hi ha risc de trencament.



Fig. 74. Fixació del variador

Font: Pròpia



Fig. 75. Prova escapament 7000 rpm

Font: Pròpia

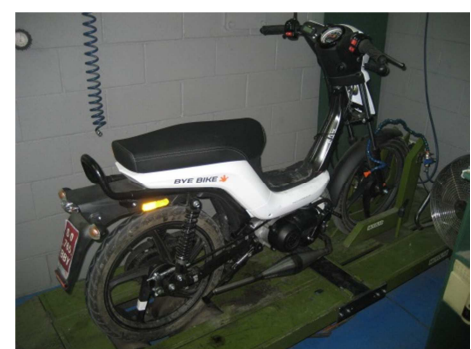


Fig. 76. Prova escapament 9000 rpm

Font: Pròpia

10.1. Resultats prova escapament 7000 rpm

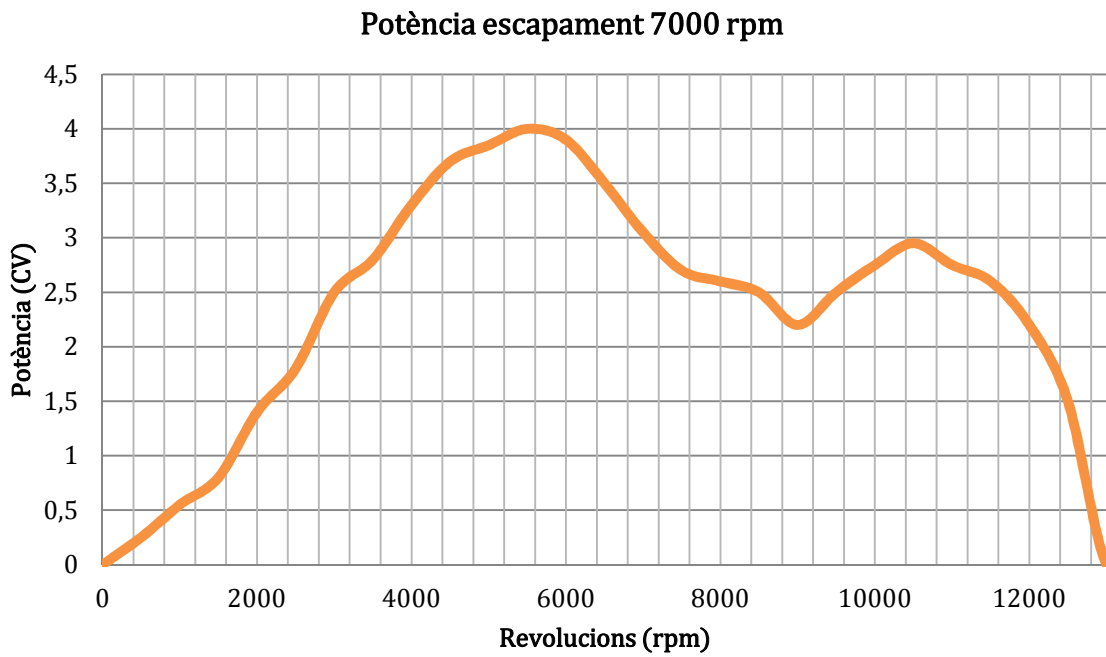


Fig. 77. Corba de potència real escapament 7000 rpm

Font: Pròpia

10.2. Resultats prova escapament 9000 rpm

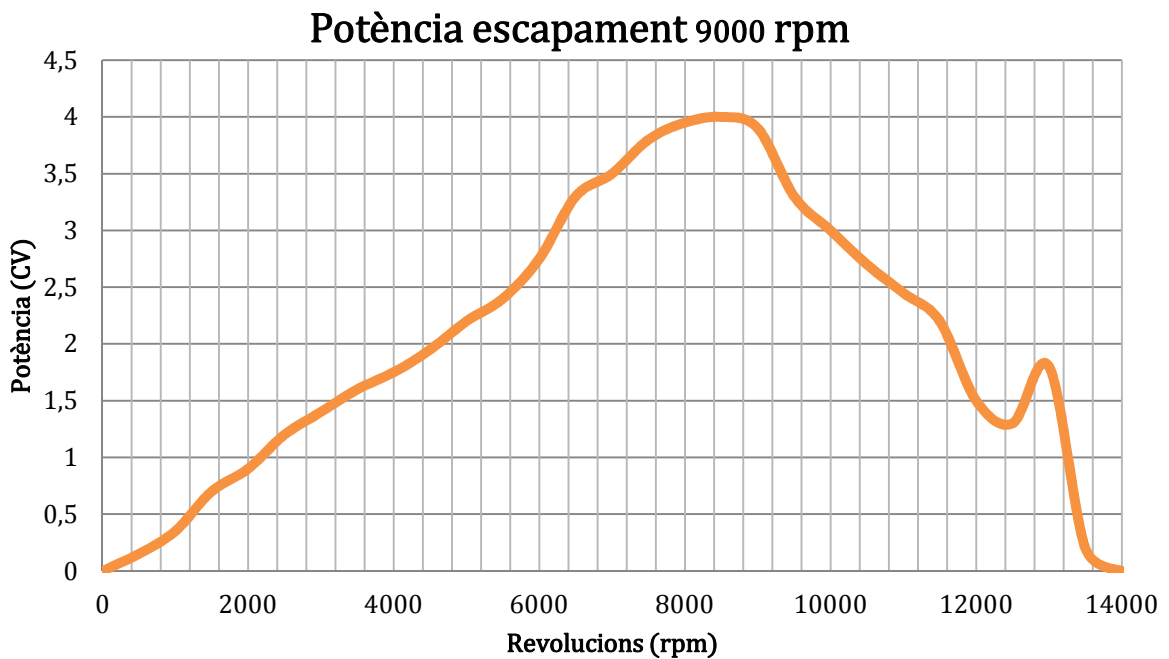


Fig. 78. Corba de potència real escapament 9000 rpm

Font: Pròpia

11. COMPARATIVA ENTRE LA RESPOSTA TEÒRICA I REAL

11.1. Escapament 7000 rpm

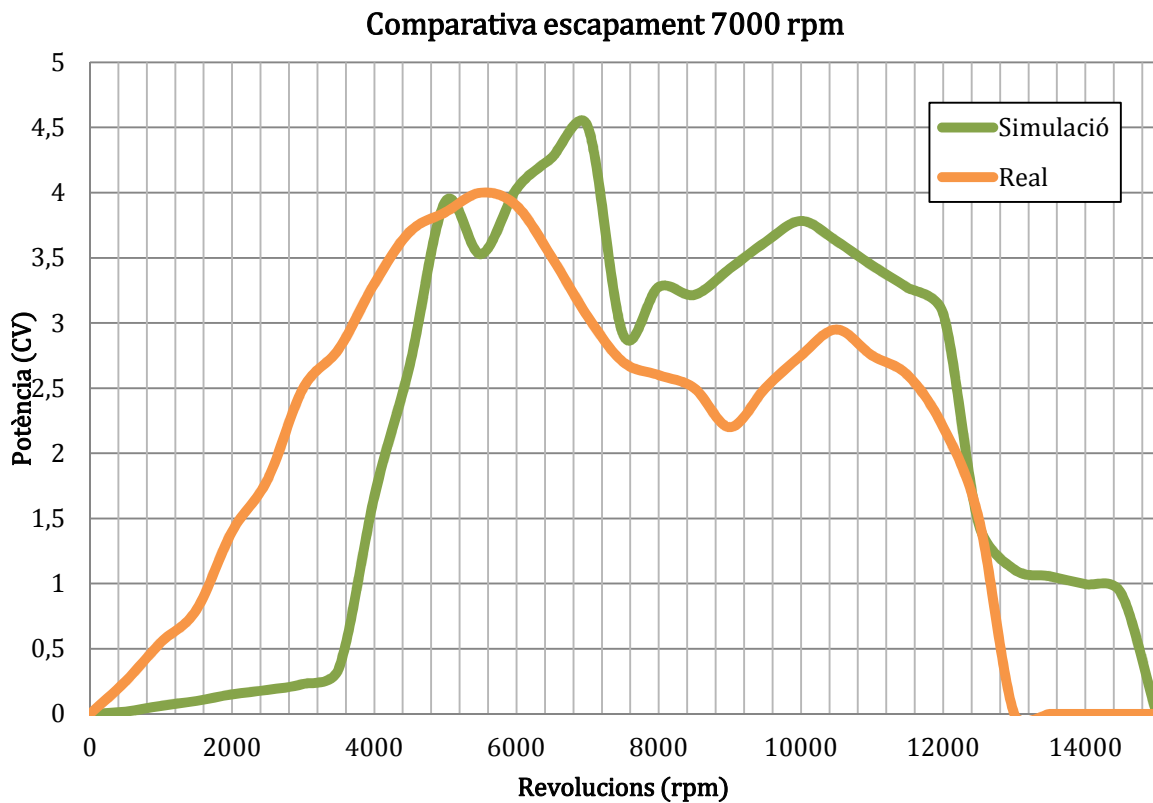


Fig. 79. Comparativa simulació vs. realitat escapament 7000 rpm

Font: Pròpia

La figura 79, ens mostra les diferències entre la resposta del motor simulada i la real per a l'escapament dissenyat per a treballar a 7000 rpm. La resposta inicial del motor és molt més suau, fet del tot comprensible, ja que cap motor de combustió interna treballa de forma tant brusca. Es coneixia aquest error i es va menysprear ja que no entra dins el rang de revolucions que ens interessava en aquest cas. Es pot veure que el pic de potència s'ha desplaçat 1500 rpm per sota del que s'esperava. Això és degut a la diferència entre la temperatura, pressió i humitat ambiental de les dades introduïdes al simulador i els valors reals durant la prova. Tot i això, la variació és massa àmplia així que també es pot concloure que la simulació, en aquest cas, no ha expressat fidelment la realitat. Per tal d'augmentar el règim de revolucions en que el motor proporciona la

màxima potència caldria reduir la longitud de l'escapament en la zona central o en el colze.

Deixant de banda la diferència de revolucions, cal comentar que la simulació ha proporcionat una corba força similar, en quant a forma, a la resposta real fet que em permet afirmar que, malgrat la diferència de revolucions en la generació de la potència màxima, la simulació ha representat correctament la resposta del motor.

La diferència de potència màxima és deguda a que les simulacions s'han realitzat sense tenir en compte les pèrdues mecàniques ja que és molt difícil poder quantificar-les. Per altra banda, la potència simulada fa referència a la potència de sortida a l'eix del motor mentre que la corba de potència real fa referència a la potència transmesa fins la roda motriu.

11.2. Escapament 9000 rpm

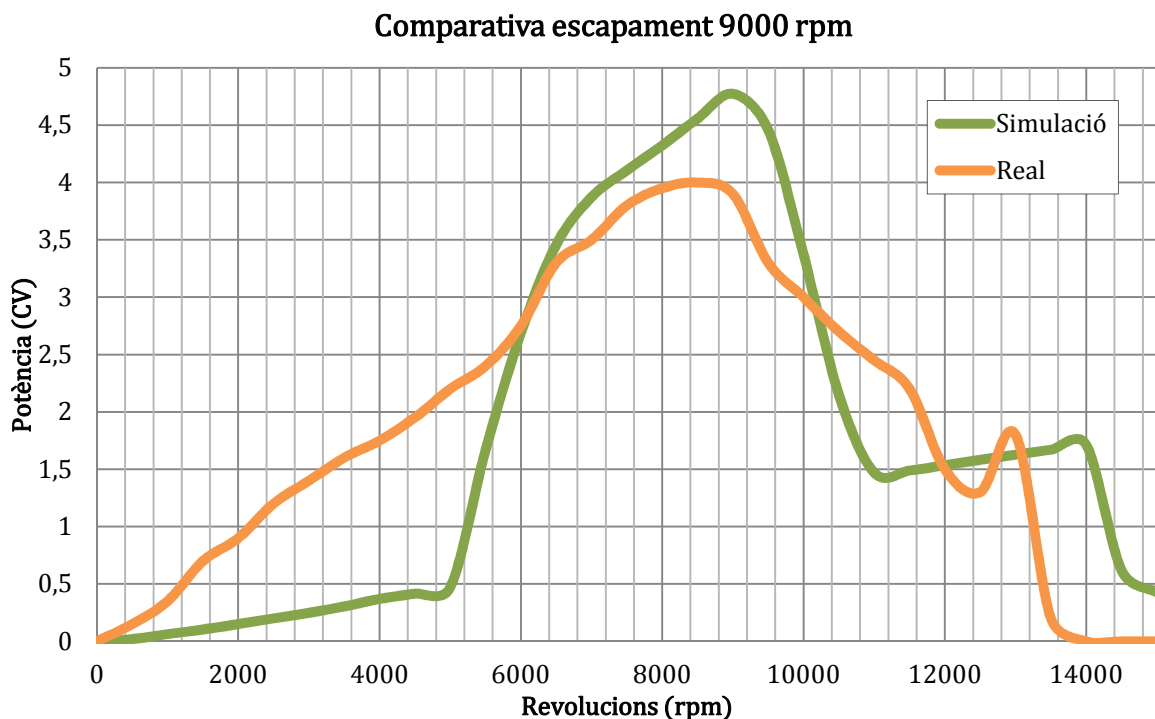


Fig. 80. Comparativa simulació vs. realitat escapament 9000 rpm

Font: Pròpia

Tal i com es pot observar a la figura 80, la resposta inicial del motor és molt més suau i progressiva que en la resposta simulada. Aquest error de la simulació va ser acceptada com a bona tot i reconèixer que no era una resposta massa acurada. Per altra banda, el pic de potència màxima coincideix en el règim de revolucions preestablert de tal manera que es pot considerar que la simulació s'ha aproximat força a la resposta real del motor sempre menystenint la resposta a baixes voltes. La petita variació que trobem de 1000 rpm entre pics és degut a la diferència entre la temperatura, pressió i humitat ambiental de les dades introduïdes al simulador i els valors reals durant la prova. El tram final de la corba a altes revolucions té poca importància ja que, en condicions reals, amb vent de cara i càrrega, el motor és incapaç de remuntar la corba un cop ha descendit.

La diferència de potència màxima és deguda a que les simulacions s'han realitzat sense tenir en compte les pèrdues mecàniques ja que és molt difícil poder quantificar-les. Per altra banda, la potència simulada fa referència a la potència de sortida a l'eix del motor mentre que la corba de potència real fa referència a la potència transmesa fins la roda motriu.

12. ESTAT D'AMIDAMENTS

12.1. Material

Descripció	Unitats	Quantitat
Tub Inox. AISI 316 Ø28 x 1.5 mm	m	0.85
Tub Ø20 x 1.5 mm	m	0.38
Xapa 0.8 mm	m ²	0.15
Passamà 40x4	m	0.24

Taula 33. Material utilitzat

12.2. Mà d'obra

Descripció		Unitats	Quantitat
Disseny escapament		H	6
Fabricació model cartró		H	2
Fabr. acer	Tall i preparació	H	10
	Soldadura		5
Prova en banc de rodets		H	1

Taula 34. Mà d'obra requerida

13. PRESSUPOST

13.1. Material

Descripció	Unitats	Quantitat	Preu unitari	Cost
Tub Inox. AISI 316 Ø28 x 1.5 mm	m	0.85	3.10 €/m	2.63 €
Tub acer Ø20 x 1.5 mm	m	0.38	1.31 €/m	0.49 €
Xapa 0.8 mm	m ²	0.18	15.48 €/m ²	2.78 €
Passamà 40x4	m	0.24	1.19 €/m	0.28 €
			TOTAL	6.18 €

Taula 35. Cost material

13.2. Mà d'obra

Descripció		Unitats	Quantitat	Preu unitari	Cost
Disseny escapament		H	6	35 €/h	210 €
Fabricació model cartró		H	2	10 €/h	20 €
Fabr. acer	Tall i preparació	H	10	15 €/h	150 €
	Soldadura		5	45 €/h	225 €
Prova en banc de rodets		H	1	30 €/h	30 €
				TOTAL	635 €

Taula 36. Cost mà d'obra

14. CONCLUSIONS

A l'acabament del projecte es pot concloure que actualment es disposa d'eines de simulació realment potents que ens permeten conèixer el comportament dels motor de 2T i 4T en funció de les característiques geomètriques que els defineixen. Aquestes eines permeten disminuir els costos de disseny dels escapaments reduint les hores que es dediquen a la fabricació i prova dels tubs en els bancs de rodets. Malgrat tot, amb els simuladors actuals, no es poden eliminar les fases de prova i millora amb models reals donat que la seva precisió no es del tot adequada.

En referència a les proves realitzades sobre els escapaments fabricats, cal dir que, la comparativa entre la resposta simulada del motor i la resposta real, tenen un alt grau de similitud tenint en compte que les dades sobre el motor de les que es disposaven no eren del tot fiables. Per altra banda, els motors de 2T tenen la particularitat que els fluxos dels gasos no poden ser delimitats per vàlvules fet que incorpora un elevat índex d'incertesa on el models matemàtics tenen dificultats per expressar amb fidelitat els successos fluidodinàmics que transcorren dins del motor. Per altra banda cal comentar que més enllà de la desviació d'un 15% respecte el valor de potència màxima entre la simulació i la prova en el banc de rodets, la silueta de les corbes de potència tenen una alt grau de semblança. Val a dir que la silueta de les corbes de potència són un dels factors més determinants en el comportament i tacte del motor, fins i tot, més rellevants que la potència màxima disponible.

15. AGRAÏMENTS

Voldria expressar el mes sincer agraïment a les següents persones. Sense elles no hauria estat possible dur a terme aquest projecte.

- Emergildo Bonvini (Mecànic de motos)
- Paolo Bonvini (Soldador)
- Josep Guerrero (Empresari)
- Domingo Escuder (Delineant a l'empresa PIA.SA)
- Francesc Salavedra (Comptable i administrador a l'empresa PIA.SA)
- Xavier Saus (Departament tècnic de l'empresa Tecnigas)
- Lluís Juárez (Mecànic soldador al taller de l'empresa PIA.SA)

16. BIBLIOGRAFIA

- Héctor Climent. Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. Editorial Reverté S.A.. Barcelona. 2004.
- M. Muñoz i F. Payri. Motores de combustión interna alternativas. Publicaciones E.T.S. Ingenieros Industriales. Madrid. 1989.
- D. Manuel Arias-Paz. Manual de Automóviles 56^a Edición. CIE Dossat. Madrid. 2006.
- D. Manuel Arias-Paz. Manual de Motocicletas 32^a Edición. CIE Dossat. Madrid. 2003.
- Gordon P. Blair. The basic design of two-strokes engines. 1^a Edition. Warrendale, PA : Society of Automotive Engineers, cop. 1990.
- Gordon P. Blair. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. 1^a Edition. Warrendale, PA : Society of Automotive Engineers, cop. 1996.

17. ANNEX

17.1. Aspectes teòrics generals

17.1.1. Motor de 2 temps (2T)

El motor de combustió interna de dos temps ha estat, juntament amb el motor de quatre temps (4T), el més utilitzat en motocicleta des dels seus inicis. Els seus orígens daten de l'any 1879 amb l'aparició del primer model teòric i el 1880 les primeres proves sense gaire èxit. A partir del segle XX van aparèixer els primers models en sèrie i d'ençà de llavors no han parat d'evolucionar i millorar.

17.1.2. Descripció


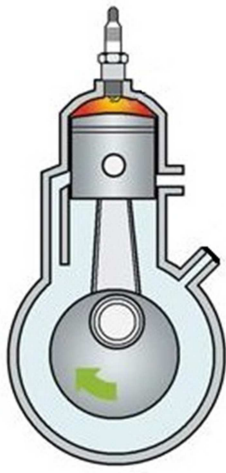

El motor 2T té uns grans avantatges quan s'utilitza en vehicles petits i econòmics donat que aquest tipus de propulsor destaca per la seva simplicitat i facilitat de fabricació. Per contra té un menor rendiment i unes major emissions contaminants en comparació amb el motor 4T.

El nom de motor de dos temps fa referència al nombre de carreres que ha de realitzar el pistó per concloure un cicle de treball. Així, amb una sola volta de cigonyal, el motor 2T realitza un cicle de treball complet. Com tot cicle Otto, manté les quatre fases que el defineixen: admissió, compressió, expansió i escapament. Aquests quatre cicles es realitzen en una sola volta del motor i es duen a terme dos fases simultàniament en diferents cambres del motor.

Les principals diferències estructurals amb el motor de 4T és que no disposa de sistema de distribució de tal manera que la culata és una simple tapa que conté la bugia eliminant d'aquesta manera les vàlvules d'admissió i escapament i tot el sistema d'accionament d'aquestes. Per altra banda, el propi càrter del motor realitza les funcions de pre-compressió i admissió per mitjà d'uns conductes que uneixen el càrter amb el cilindre anomenat transfers.

17.1.3. Funcionament

El funcionament del motor 2T pren com a base el cicle de 4T amb la diferència que els quatre cicles han de ser realitzats en una única volta de cigonyal. Per aquest motiu cal utilitzar tant la superfície lliure per damunt del pistó, com la part inferior, sent la zona entre el cap del pistó i la culata on es realitzen totes les fases de treball. A la següent taula s'observen les fases que es realitzen en un motor 2T per a aconseguir un cicle de treball.

CICLE MOTOR 2T		
 <p>Fig. 81. Admissió-compressió Font: /xtec.cat/</p>	 <p>Fig. 82. Explosió Font: /xtec.cat/</p>	 <p>Fig. 83. Escapament Font: /xtec.cat/</p>
<p><u>Admissió-compressió</u></p> <p>El pistó es troba en un moviment ascendent comprimint la mescla d'aire i combustible que es troben a la cambra de combustió. Els ports d'escapament i els transfers d'admissió resten tancats. La vàlvula d'admissió es troba oberta alimentant el càrter amb mescla fresca.</p>	<p><u>Explosió</u></p> <p>El pistó es troba parat al PMS i la bugia inflama la mescla. Els ports d'escapament i els transfers d'admissió resten tancats. La vàlvula d'admissió al càrter es tancada amb la finalitat de no perdre part de la mescla introduïda en el moment que el pistó iniciï el descens.</p>	<p><u>Escapament</u></p> <p>El pistó inicia la seva carrera de treball descendent. Els ports d'admissió i d'escapament es troben totalment oberts de tal manera que els gasos procedent de la combustió abandonen el cilindre degut a la diferència de pressió amb l'exterior i l'empenta dels gasos frescos procedents del càrter a través dels transfers.</p>

17.1.4. Cicle pràctic

El cicle real d'un motor 2T no és tan simple com el model teòric. A les inèrcies dels gasos i de les masses en moviment i els temps de càrrega i descarrega cal afegir el fet de que es barregen part dels gasos frescos amb els gasos cremats fet que obliga a realitzar certes modificacions sobre el cicle teòric.

Aquestes modificacions es tradueixen en un avançament de l'encesa per tal que el front de flama incideixi just en el PMS i aprofitar en un major grau l'energia de l'explosió i utilitzar tubarros per millorar l'extracció dels gasos cremats de la cambra de combustió i impedir que els gasos frescs abandonin el cilindre durant la fase d'escombrat.

Tot i això, el rendiment d'un motor de 2T és inferior a un motor de 4T i cal afegir que el motor 2T és superior en quant a contaminació degut a que part de la gasolina no és cremada i abandona el motor sense ser cremat. Per altra banda, al requerir un sistema de lubricació per mescla, provoca que els gasos d'escapament estiguin compostats per un major nombre de substàncies contaminants.

17.1.5. Disseny dels elements - Llumeneres

L'admissió de combustible al cilindre d'un motor 2T és un dels aspectes més complicats d'aquests tipus de propulsors. Per tal d'aconseguir una ràpida i efectiva admissió, la geometria de les llumeneres d'admissió juga un paper molt important. Segons la forma i l'acabat que tinguin influirà directament en la velocitat d'admissió i en l'escombrat dels gasos d'escapament. Per altra banda, la seva inclinació propiciarà la formació d'un flux de mescla fresca que realitzen un escombrat dels gasos cremats evacuant-los del cilindre amb l'anomenat mètode "escombrat Schnürle".

Es disposa de tres tipus de geometries de llumeneres tot i que la mes utilitzada és la rectangular.

- Llumenera circular: Reduïda pèrdua de càrrega per fricció amb una baixa velocitat d'obertura.

- Llumenera el·líptica: Baixa pèrdua de càrrega per fricció, ràpida obertura però difícil mecanitzat i elevat cost de fabricació.
- Llumenera rectangular: Permet una ràpida obertura de la llumenera. Per contra, requereixen d'un procés de mecanitzat per arrodonir les vores dels rectangle per tal d'evitar trencaments dels segments del pistó.

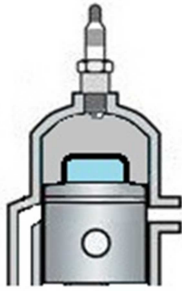


Fig. 84. Llumenera rectangular

Font: /xtec.cat/ i pròpia

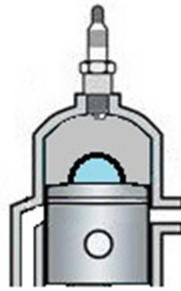


Fig. 85. Llumenera circular

Font: /xtec.cat/ i pròpia

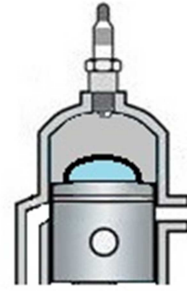


Fig. 86. Llumenera el·líptica

Font: /xtec.cat/ i pròpia

17.1.6. Diagrama de distribució

El comportament d'un motor de combustió interna ve determinat pel seu diagrama de distribució. En el motor 4T aquest ve delimitat per l'arbre de lleves mentre que en el motor de 2T és la forma i posició de les llumeneres i el sistema d'admissió el que determina el diagrama.

Els graus d'admissió i escapament tant sols poden ser modificats si es disposa d'admissió per làmines o injecció de combustible i vàlvula d'escapament, del contrari només disposaríem d'un únic diagrama de distribució òptim per a un cert règim de revolucions.

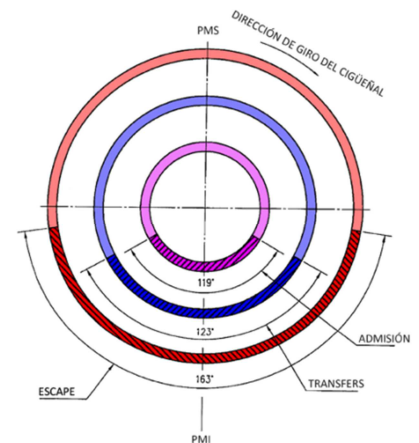


Fig. 87. Diagrama de distribució

Font: /moto125.cc/

17.1.7. Admissió

El sistema d'admissió és l'encarregat de regular l'entrada de mescla fresca al motor. El principal objectiu és aconseguir introduir la major quantitat possible de combustible per tal d'obtenir un valor de potència efectiva elevat. Per tal d'aconseguir-ho cal disposar d'un alt rendiment volumètric. Aquest relaciona el volum de mescla introduït en front del volum que seria necessari per obtenir una admissió perfecta. Per tal d'aconseguir-ho es disposa de diferents mètodes que permeten regular el pas de mescla fresca des del carburador fins a càrter o el cilindre.

17.1.8. Faldilla del pistó

El sistema d'admissió per faldilla de pistó va ser un sistema molt utilitzat fins als anys 90'. Consistia en utilitzar la faldilla del pistó per destapar la llumenera d'admissió en la carrera ascendent i tapar-la durant la carrera descendent. Els principals inconvenients són que el diagrama d'admissió sempre es constant i inviable, fet que redueix el rendiment volumètric a altes revolucions.

Per altra banda, pot aparèixer fenòmens de reflux propiciats per un augment de pressió en el càrter pel descens del pistó mentre la llumenera d'admissió es troba oberta fet que provoca que part de la mescla abandoni el motor en direcció al carburador.

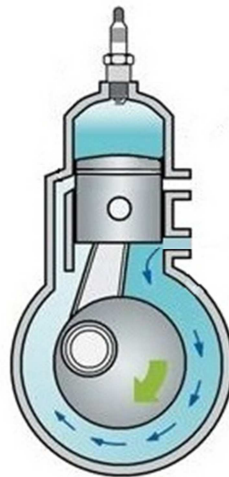


Fig. 88. llumenera oberta

Font: /xtec.cat/ i pròpia



Fig. 89. Llumenera oberta

Font: /xtec.cat/ i pròpia

17.1.9. Vàlvula rotativa

Aquest sistema consisteix en un disc metàl·lic o de fibra que gira solidàriament amb el cigonyal. Aquest disc disposa d'una obertura de secció angular. Està col·locat davant de la llumenera d'aspiració continguda entre el bloc motor i una tapa de tancament. Amb el gir del cigonyal es descobreix, momentàniament, el conducte d'admissió a cada volta. Aquest sistema permet aprofitar els cicles on apareixen depressions al càrter del motor amb l'objectiu d'augmentar el volum de mescla fresca introduïda. Per contra, al no poder variar el diagrama d'admissió, els discs tant sols ofereixen altes prestacions en un reduït marge de revolucions propiciant una pèrdua d'elasticitat del motor.



Fig. 90. Fase aspiració oberta

Font: /xtec.cat/



Fig. 91. Fase aspiració tancada

Font: /xtec.cat/

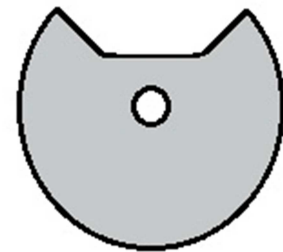


Fig. 92. Vàlvula rotativa

Font: Pròpia

17.1.10. Vàlvula de làmines

L'admissió per làmines és un mètode relativament recent però que, degut a les seves grans avantatges, ha passat a ser el sistema d'admissió més utilitzant actualment en motor de 2T. Consisteix en unes làmines flexibles cargolades a una caixa. Aquestes obren i tanquen l'admissió en funció de la pressió dins del càrter així doncs, quan el pistó realitza la carrera ascendent provoca una depressió al càrter que obre les làmines. En la carrera descendent, es crea una sobre pressió que tanca l'admissió.

Aquest sistema permet disposar d'un diagrama d'admissió variable per a cada règim del motor. Per contra, cal seleccionar el gruix i rigidesa de les làmines en funció del règim òptim del motor. Així si s'escull làmines poc rígides, a altes revolucions, no seran capaces de tancar l'admissió. De la mateixa manera que, si les làmines són molt rígides, a baixes revolucions la depressió no serà prou gran com per vèncer les làmines i mantindran l'admissió tancada.



Fig. 93. Fase làmines obertes

Font: /xtec.cat/ i pròpia



Fig. 94. Fase làmines tancades

Font: /xtec.cat/ i pròpia



Fig. 95. Vàlvula de làmines

Font: /moto125.cc/

17.1.11. Injecció directa/indirecta

El sistemes d'injecció són molt recents però aporten grans millores en reducció d'emissions contaminants i consums. Per contra, és una tecnologia costosa de desenvolupar i aplicar a l'hora que es veu condicionada a l'ús de sistemes de control delicats que redueixen considerablement la fiabilitat d'aquests motors.



Fig. 96. Fase d'injecció ON

Font: /xtec.cat/ i pròpia



Fig. 97. Fase d'injecció OFF

Font: /xtec.cat/ i pròpia

Existeixen dos sistemes d'injecció, la directe que introdueix directament el combustible a la cambra de combustió el que permet eliminar els transfers de càrrega i modificar el sistema de lubricació eliminant la necessitat de realitzar mescles de oli i combustible. La injecció indirecta introdueix la mescla d'oli i combustible directament al càrter de forma controlada.

17.2. Elements

El motor de 2T és molt més senzill que qualsevol altre motor de combustió interna. Aquest fet és degut a seu particular sistema de distribució i lubricació que permet eliminar els mecanismes d'obertura i tancament de les vàlvules i bombes de lubricant. Així doncs, tant sols amb un reduït nombre de peces es pot construir un motor 2T.

17.2.1. Càrter

El càrter es la part inferior del motor. Conté els assentaments per al rodaments del cigonyal. La seva forma influeix directament sobre l'admissió. En sistemes d'admissió directa al càrter cal realitzar unes obertures per tal d'ubicar la caixa de làmines o la vàlvula rotativa.

17.2.2. Cilindre

El cilindre guia el pistó en el seu moviment ascendent-descendent. Conté les llumeneres d'admissió i escapament. En funció del tipus de refrigeració disposarà dels conductes de líquid refrigerant o aletes de dissipació. Es solen fabricar amb fosa o alumini recobert amb carbur de silici.



Fig. 98. Cilindre motor 2T

Font: /moto125.cc/

17.2.3. Culata

Es la tapa superior del cilindre i conté la cambra de combustió i l'allotjament roscat per a la bugia. La seva geometria, juntament amb la del cap del pistó, influeixen directament en l'aprofitament de l'energia de la explosió. Actualment es solen fabricar en fosa d'alumini amb un posterior mecanitzat. Només en casos molt especials es fabrica amb fosa.



Fig. 99. Culata motor 2T

Font: /moto125.cc/

17.2.4. Cigonyal

És l'element que transforma el moviment lineal alternatiu en rotacional per mitjà de la biela. Sol fabricar-se d'una sola peça amb dos allotjaments per als rodaments de boles que el guien. Cal que, tant el cigonyal com el càrter, estiguin ajustats per tal de reduir l'espai disponible per a la mescla en la part inferior de càrter i així aprofitar al màxim l'efecte de precompressió.

Per altra banda, el cigonyal també incorpora el contrapès amb la finalitat d'equilibrar la biela i a l'hora actuar com a volant d'inèrcia.

Als extrems del cigonyal s'hi troben el pinyó de la transmissió primària i el volant magnètic encarregat de proporcionar la corrent necessària per a encendre la bugia i la instrumentació i il·luminació de la motocicleta.



Fig. 100. Cigonyal i biela

Font: /moto125.cc/



Fig. 101. Cigonyal, biela i pistó muntats

Font: Pròpia

17.2.5. Biela

La biela és la peça que uneix el pistó amb el cigonyal a forma d'articulació permetent transmetre el moviment lineal del pistó en rotatiu al cigonyal. Conté els rodaments d'agulles del pistó i el cigonyal. Es dissenyen per conferir-li una alta resistència al vinclament.



Fig. 102. Biela

Font: /moto125.cc/

17.2.6. Pistó i segments

El pistó és l'element encarregat de bombejar els gasos frescos i cremats, controlar la distribució i aprofitar la energia de la combustió. Es fabriquen en fosa alleugerada i posteriorment mecanitzada. El segments són uns anells que es col·loquen al cap del pistó amb la finalitat d'aportar estanquitat a la cambra de combustió.



Fig. 103. Pistó i segments motor 2T

Font: /moto125.cc/

18. INDEX DE FIGURES

Fig. 1. Ciclomotor ByeBike.....	8
Fig. 2. Fase 1 explosió.....	13
Fig. 3. Fase 2 Escapament.....	13
Fig. 4. Fase 3 Alimentació.....	14
Fig. 5. Fase 4. Compressió.....	14
Fig. 6. Colze escapament 2T.....	15
Fig. 7. Conus escapament 2T.....	15
Fig. 8. Cambra expansió escapament 2T.....	16
Fig. 9. Contra-conus escapament 2T.....	16
Fig. 10. Agulló escapament 2T.....	16
Fig. 11. Logotip UPV.....	17
Fig. 12. Logotip CMT.....	17
Fig. 13. Logotip programa OpenWam.....	17
Fig. 14. Càlcul volum caixa filtre.....	19
Fig. 15. Càlcul volum.....	19
Fig. 16. Perforació pistó.....	19
Fig. 17. Càlcul volum càrter.....	19
Fig. 18. Càlcul graus.....	19
Fig. 19. Càlcul geometries motor.....	19
Fig. 20. Interfície de treball programa 2T Exhaust Calculator.....	21
Fig. 21. Interfície de treball programa OpenWam.....	22
Fig. 22. Coeficients de descàrrega transfers admissió.....	28
Fig. 23. Coeficients de descàrrega transfers admissió.....	30
Fig. 24. Esquema escapament 2T.....	39
Fig. 25. Esquema escapament 2T.....	40
Fig. 26. Resposta motor amb la variació de longitud de la cambra d'expansió.....	41
Fig. 27. Resposta motor amb la variació de longitud del conus.....	42
Fig. 28. Resposta motor amb la variació de longitud del contra-conus.....	42
Fig. 29. Resposta motor amb la variació de longitud del colze.....	43
Fig. 30. Esquema escapament 2T.....	43

Fig. 31. Corba de potència escapament 7000 rpm.....	44
Fig. 32. Resposta motor amb la variació de longitud de la cambra d'expansió.....	45
Fig. 33. Resposta motor amb la variació de longitud del conus.....	46
Fig. 34. Resposta motor amb la variació de longitud del contra-conus.....	46
Fig. 35. Resposta motor amb la variació de longitud del colze.....	47
Fig. 36. Esquema escapament 2T.....	47
Fig. 37. Corba de potència escapament 9000 rpm.....	48
Fig. 38. Geometria tub tall 15°.....	49
Fig. 39. Divisions tub tall 15°.....	49
Fig. 40. Divisió del perímetre del tub.....	49
Fig. 41. Divisions tub sobre divisions perímetre.....	49
Fig. 42. Unió dels vèrtex i figura final.....	49
Fig. 43. Geometria tub tall 30°.....	50
Fig. 44. Geometria tub tall 30° seccionat.....	50
Fig. 45. Divisió tub tall 30°.....	50
Fig. 46. Divisió del perímetre del tub.....	50
Fig. 47. Divisions tub sobre divisions perímetre.....	50
Fig. 48. Unió dels vèrtex i figura final.....	50
Fig. 49. Geometria conus B.8.....	51
Fig. 50. Anell disseny xapa conus B.8.....	51
Fig. 51. Desplegament xapa conus B.8.....	51
Fig. 52. Geometria conus B.10.....	52
Fig. 53. Anell disseny xapa conus B.10.....	52
Fig. 54. Desplegament xapa conus B.10.....	52
Fig. 55. Geometria conus C.8.....	53
Fig. 56. Anell disseny xapa conus C.8.....	53
Fig. 57. Desplegament xapa conus C.8.....	53
Fig. 58. Geometria conus C.10.....	54
Fig. 59. Anell disseny xapa conus C.10.....	54
Fig. 60. Desplegament xapa conus C.10.....	54
Fig. 61. Retalls de peces desplegadas.....	68
Fig. 62. Colze escapament de cartolina.....	68
Fig. 63. Escapament acabats.....	68

Fig. 64. Prova escapament 7000 rpm sobre ciclomotor	69
Fig. 65. Modificació colze escapament 7000 rpm.....	69
Fig. 66. Tubs tallats i polits.....	70
Fig. 67. Marcat de xapa	70
Fig. 68. Plegat de xapa.....	70
Fig. 69. Plegat de xapa.....	71
Fig. 70. Soldadura TIG	71
Fig. 71. Capçals soldadura TIG	71
Fig. 72. Escapament 7000 rpm	71
Fig. 73. Escapament 9000 rpm	71
Fig. 74. Fixació del variador.....	72
Fig. 75. Prova escapament 7000 rpm.....	72
Fig. 76. Prova escapament 9000 rpm.....	72
Fig. 77. Corba de potència real escapament 7000 rpm.....	73
Fig. 78. Corba de potència real escapament 9000 rpm.....	73
Fig. 79. Comparativa simulació vs. realitat escapament 7000 rpm.....	74
Fig. 80. Comparativa simulació vs. realitat escapament 9000 rpm.....	75
Fig. 81. Admissió-compressió	83
Fig. 82. Explosió.....	83
Fig. 83. Escapament	83
Fig. 84. Llumenera rectangular.....	85
Fig. 85. Llumenera circular	85
Fig. 86. Llumenera el·líptica.....	85
Fig. 87. Diagrama de distribució	85
Fig. 88. llumenera oberta.....	86
Fig. 89. Llumenera oberta.....	86
Fig. 90. Fase aspiració oberta.....	87
Fig. 91. Fase aspiració tancada	87
Fig. 92. Vàlvula rotativa.....	87
Fig. 93. Fase làmines obertes.....	88
Fig. 94. Fase làmines tancades.....	88
Fig. 95. Vàlvula de làmines	88
Fig. 96. Fase d'injecció ON	88

Fig. 97. Fase d'injecció OFF	88
Fig. 98. Cilindre motor 2T	89
Fig. 99. Culata motor 2T	90
Fig. 100. Cigonyal i biela.....	90
Fig. 101. Cigonyal, biela i pistó muntats.....	90
Fig. 102. Biela	91
Fig. 103. Pistó i segments motor 2T	91

19. INDEX DE TAULES

Taula 1. Blocs de treball OpenWam.....	18
Taula 2. Dades requerides programa 2T Exhaust Calculator	20
Taula 3. Blocs utilitzats programa OpenWam	21
Taula 4. Dades requerides programa OpenWam (Conducte 1).....	22
Taula 5. Dades requerides programa OpenWam (Conducte 2).....	23
Taula 6. Dades requerides programa OpenWam (Conducte 3).....	24
Taula 7. Dades requerides programa OpenWam (Port d'admissió).....	24
Taula 8. Dades requerides programa OpenWam (Port d'escapament)	25
Taula 9. Dades requerides programa OpenWam (Caixa del filtre)	25
Taula 10. Dades requerides programa OpenWam (Càrter).....	26
Taula 11. Dades requerides programa OpenWam (Vàlvula de làmines).....	26
Taula 12. Dades requerides programa OpenWam (Transfer admissió).....	27
Taula 13. Dades requerides programa OpenWam (Transfer escapament).....	29
Taula 14. Dades requerides programa OpenWam (Motor 2T).....	32
Taula 15. Dades requerides programa OpenWam (Condicions inicials).....	33
Taula 16. Dades requerides programa OpenWam (Colze).....	34
Taula 17. Dades requerides programa OpenWam (Conus)	35
Taula 18. Dades requerides programa OpenWam (Cambra expansió).....	36
Taula 19. Dades requerides programa OpenWam (Contra-conus)	37
Taula 20. Dades requerides programa OpenWam (Agulló).....	38
Taula 21. Resultats 2T Exhaust Calculator escapament 7000 rpm.....	39

Taula 22. Resultats 2T Exhaust Calculator escapament 9000 rpm.....	40
Taula 23. Resultats de la simulació cambra d'expansió per l'escapament de 7000 rpm..	41
Taula 24. Resultats de la simulació del conus per l'escapament de 7000 rpm.....	42
Taula 25. Resultats de la simulació del contra-conus per l'escapament de 7000 rpm.....	42
Taula 26. Resultats de la simulació del colze per l'escapament de 7000 rpm.....	43
Taula 27. Resultats OpenWam escapament 7000 rpm.....	43
Taula 28. Resultats de la simulació cambra d'expansió per l'escapament de 9000 rpm..	45
Taula 29. Resultats de la simulació del conus per l'escapament de 9000 rpm.....	46
Taula 30. Resultats de la simulació del contra-conus per l'escapament de 9000 rpm.....	46
Taula 31. Resultats de la simulació del colze per l'escapament de 9000 rpm.....	47
Taula 32. Resultats OpenWam escapament 9000 rpm.....	47
Taula 33. Material utilitzat.....	76
Taula 34. Mà d'obra requerida.....	77
Taula 35. Cost material.....	77
Taula 36. Cost mà d'obra.....	78

