

# ÍNDEX MEMÒRIA

Índex memòria .....	1
Resum.....	5
Resumen .....	5
Abstract .....	5
<b>Capítol 1: Introducció.....</b>	<b>7</b>
1.1. Objectiu .....	7
1.2. Prestacions requerides i justificació d'aquestes .....	7
1.3. Abast de l'estudi.....	8
1.4. Antecedents.....	8
<b>Capítol 2: Principi de funcionament.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítol 3: Conjunts Funcionals .....</b>	<b>13</b>
3.1. Eix rotor .....	13
3.2. Estator .....	16
3.3. Comportes.....	19
3.4. Admissió i extracció de gasos.....	20
3.5. Conductes de líquid lubricant i refrigerant .....	22
3.6. Aportació de combustible.....	26
3.6.1. Alimentació i injecció .....	26
3.6.2. Sistema de control de la injecció .....	26
<b>Capítol 4: Resultats .....</b>	<b>29</b>
4.1. Resultats dimensionals .....	29
4.2. Resultats tèrmics i mecànics .....	29
4.3. Resultats de la resistència de les peces .....	31
<b>Capítol 5: Conclusions .....</b>	<b>32</b>
<b>Capítol 6: Bibliografia .....</b>	<b>34</b>
Annexes a la memòria	

## **ANNEX A**

Índex Annex A	1
Antecedents	3
1.1. Altres rotatius en producció o en desenvolupament	3
1.1.1. Motor Wankel	3
1.1.2. Motor Rand-Cam	4
1.2. Càlculs referents a les prestacions requerides	5
1.2.1. Càlcul de les prestacions com a vehicle lleuger	5
1.2.2. Càlcul de les prestacions com a motor industrial lleuger	9

## **ANNEX B**

Índex Annex B	1
Models tèrmic i mecànic	3
1.1. Model tèrmic	3
1.1.1. Descripció del model tèrmic	3
1.1.2. Resultats	6
1.2. Model mecànic	10
1.2.1. Descripció	10
1.2.2. Resultats	16
1.3. Resultats del conjunt del model tèrmic i mecànic	18

## **ANNEX C**

Índex Annex C	1
Descripció i càlculs de les diferents peces i sistemes	3
1.1. Eix Rotor	3
1.1.1. Rotor	3
1.1.2. Coixinet hidrodinàmic	6
1.2. Estator	8
1.2.1. Camisa de l'estator	8
1.2.2. Blocs Estator	8
1.3. Comportes	9
1.3.1. Resistència superficial de l'aro de la comporta	9
1.3.2. Cos comporta	10
1.4. Sistema d'admissió i escapament	11
1.4.1. Resistència de la vàlvula.	11
1.4.2. Geometria de la lleva de les vàlvules.	11
1.5. Alimentació i injecció.	12
1.5.1. Injector	13

1.5.2. Bomba d'injecció	19
1.5.3. Funcionament del conjunt bomba-injector	26
1.6. Sistema de control de l'injecció	28
1.6.1. Sensor Posició.	30
1.6.2. Transductor de pressió.	31
1.6.3. Convertidor.	32
1.6.4. Marcador de temps.	33
1.6.5. Decisió.	34
1.6.6. Bateria Condensadors.	36
1.7. Propietats dels materials utilitzats	37
1.7.1. Combustible, gasoil	37
1.7.2. AISI E4340 H	37
1.7.3. 50 Standard gray iron	37
1.7.4. AISI 1050	38
1.7.5. Aluminum 1050-H14	39
1.7.6. phosphor bronze, UNS C54400	39
1.7.7. 420 Stainless Steel	40
1.7.8. AISI 1060	42
1.7.9. AISI Type 416Se	43
1.7.10. Ductile Iron tension grade 120-90-02	44
1.7.11. TIMET TIMETAL® 685	44
1.8. Pressupost	45

## **ANNEX D**

Índex Annex D	1
Models i càlculs auxiliars	3
1.1. Diagrames sistema de control	3
1.1.1. Conjunt sistema control	3
1.1.2. Transductor	4
1.1.3. Convertidor	5
1.1.4. Marcador de temps	7
1.1.5. Decisió	8
1.1.6. Control Condensador	9
1.1.7. Bateria Condensadors	10
1.2. Model pèrdua pressió bomba-injector.	11
1.3. Model dinàmic de la bomba d'injecció.	15
1.4. Model d'injecció de combustible.	20

- 1.5. Model tèrmic. 30
- 1.6. Model mecànic. 70
- 1.7. Dades referents als models. 77
- 1.8. Model de càlcul a fatiga 83

**ANNEX E Resum termodinàmica**

**ANNEX F Plànols**

## **RESUM**

El projecte intenta esbrinar, a partir de la idea conceptual del principi de funcionament, si un motor endotèrmic rotatiu pot ser competitiu respecte els motors endotèrmics alternatius actuals, amb la fi de poder justificar posteriors estudis sobre la seva viabilitat tècnica i econòmica dins els requeriments comercials actuals. El treball plantejarà i desenvoluparà a nivell d'esbós les parts i mecanismes més significatius per tal de poder determinar prestacions i característiques orientatives i comparar-les amb els motors actuals.

## **RESUMEN**

El proyecto intenta averiguar, en base a la idea conceptual del principio de funcionamiento, si un motor endotérmico rotativo puede ser competitivo respecto a los motores endotérmicos alternativos actuales, con el fin de poder justificar posteriores estudios sobre su viabilidad técnica y económica dentro de los requerimientos comerciales actuales. El trabajo plantea y desarrolla a nivel de boceto las partes y mecanismos más significativos con el fin de poder determinar prestaciones y características orientativas y poder compararlas con los motores actuales.

## **ABSTRACT**

Starting from the conceptual idea of the principle of operation this project seeks to find out if an endothermic rotary engine can be competitive against current alternative combustion engines, in order to justify further studies on its technical and economic viability within current commercial requirements. This work develops in sketchy level the most important parts and mechanisms in a theoretical way to determine and compare its technical specifications with current comercial engines.



# CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

## 1.1. Objectiu

Davant la necessitat actual i futura de reducció del consum energètic, cal estudiar diferents solucions en les diferents àrees de consum, com també, la seva viabilitat.

Aquest projecte intenta donar resposta a si un motor rotatiu endotèrmic d'encesa per compressió (un dièsel rotatiu) podria donar resposta a aquestes necessitats enfront els motors utilitzats en l'actualitat en el camp dels vehicles lleugers, per tal que en un futur es realitzes un estudi més ampli i es determines si és factible la seva fabricació i comercialització.

## 1,2. Prestacions requerides i justificació d'aquestes

Les prestacions venen donades per l'ús del motor, que està dirigit a vehicles lleugers, maquinaria automotriu de baix tonatge i generadors de baixa potència. La destinació desitjada principal serien vehicles lleugers com turismes i vehicles industrials de càrrega reduïda, però al ser una indústria de grans dimensions i amb grans palanquejaments tan econòmics com financers, crea la necessitat d'una altre aplicació inicial en sectors industrials menys competitius com és la d'equips electrògens i posteriorment de maquinaria automotriu.

Aquest fet provoca que les prestacions finals del projecte no tan sols satisfacin el sector de vehicles lleugers sinó que també requereix capacitats suficients per competir en els altres dos sectors mencionats.

En el annex A es mostra tan estadístiques de diferents motors com el motiu de les prestacions assolides, com també els càlculs per a determinar les prestacions.

Aquestes prestacions són:

Potència màxima superior a 66 kW (aprox. 90 CV)

Consum òptim inferior a 210 g/kWh (aprox. un rendiment del 41%) i preferiblement inferior a 180 g/kWh (aprox. un rendiment del 48%).

Massa total inferior a 165 kg.

Volum total inferior a 0'240 m<sup>3</sup>, essent la cota més gran inferior a 1 m i la següent inferior a 0'6 m.

Consum òptim quan el motor generi una potència pròxima als 9'5 kW (13 CV).

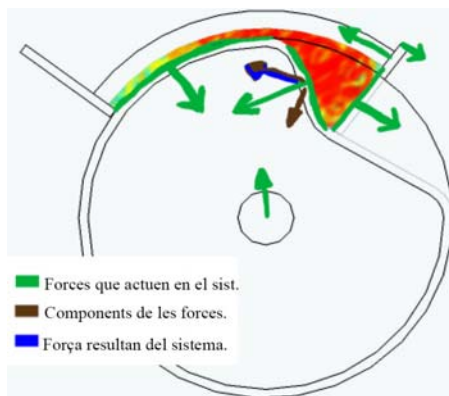
### 1.3. Abast de l'estudi

Per tal de poder determinar si pot ser factible es crearà un esbós suficientment detallat per resoldre els principals problemes constructius com la ubicació dels components, les dimensions d'aquests i el principi de funcionament del conjunt de mecanismes, com també poder realitzar un model tèrmic i mecànic que permeti obtenir dades suficientment realistes de les prestacions que es poden obtenir. Així doncs, els anàlisis, tant mecànics com de resistència, només es plantejaran per aquells components que es creguin determinants per establir les característiques principals.

Dins aquest plantejament no es considera la fatiga tèrmica ni la correcció de forma de les peces degut a les deformacions produïdes per la temperatura a que estan sotmeses, considerant-se part del disseny i no d'un estudi de viabilitat com tampoc s'ha plantejat les toleràncies dimensionals com els acabats superficials, però sí alternatives de fabricació de cada peça com també els materials utilitzats.

### 1.4. Antecedents

La idea de funcionament parteix de la voluntat de construcció d'un motor tèrmic a partir de generar el treball termodinàmic de compressió i expansió a partir d'un rotor no cilíndric, i que aquest generi l'encesa del combustible per compressió (dièsel). La figura 1.1 mostra l'esbós inicial del principi de funcionament.



**Figura 1.1.** Esquema inicial del diagrama de forces del principi de funcionament.



# **CAPÍTOL 2:PRINCIPI DE FUNCIONAMENT**

La idea bàsica és la de generar les diferents variacions de volum que es produeixen en un motor tèrmic alternatiu intentant reduir el màxim els moviments alternatius i així, poder reduir les pèrdues mecàniques degut a la inèrcia. Una de les possibles solucions és un motor rotatiu, on la variació de volum per generà el treball no està causada per un pistó que es mou alternativament, sinó per un rotor no cilíndric, en moviment rotacional i generar la variació del volum de la cambra de combustió a partir de dues comportes que s'adapten a la superfície d'aquest. A més, aquest també ha de ser el que generi treball a partir de la pressió dels gasos de combustió que actuen sobre la seva superfície, degut a que la força resultant de la pressió no és radial al rotor.

El mètode d'encesa del combustible, pot ser a partir d'encesa provocada per guspira o per compressió. Davant de les dos possibilitats, és preferible a compressió, ja que el no haver el perill d'autodetonació és poden assolir relacions de compressió molt més altres i per tant el rendiment pot ser superior. Ara bé, les altes relacions de compressió que es desenvolupen, també tenen l'inconvenient que es genera més pressió, i per tant, tant l'estructura com el rotor hauran de ser més robustos.

Tot i ser preferible l'encesa per compressió, també és preferible que el seu cicle termodinàmic sigui més pròxim al cicle teòric Otto (de combustió a volum constant) que cicle teòric Dièsel (de combustió a pressió constant), ja que, tal com diu J. Agüera, a nivell teòric, per la mateixa relació de compressió, la combustió a volum constant obté major rendiment que la combustió a pressió constant.

En motors alternatius d'encesa per compressió s'assoleix un cicle pròxim al cicle Otto a partir d'una alta pressió d'injecció i amb un bon control del cabal i del moment que es produeix aquesta. Tot i que no s'ha arribat a aplicar, el principi de funcionament permet una millor precisió per tal que la combustió es realitzi en el moment de mínim volum a partir de dissenyar la geometria del rotor on s'estengui el volum mínim en un arc i no en un angle en concret (o sigui, que el moment que s'assoleix el mínim volum no sigui un instant sinó que aquest tingui una duració determinada), però cal dir que aquest fet també provocaria, o una disminució de la relació de compressió o un increment de les velocitats màximes de les comportes.

Un dels desavantatges que tenen els motors rotatius respecte els alternatius, és la dificultat de crear una cambra de combustió cilíndrica, amb el conseqüent problema que per una mateixa capacitat volumètrica, la superfície de la cambra

de combustió és molt superior i per tant, no tan sols les pèrdues per transferència de calor seran majors, però també més fàcils de dissipar, sinó que les forces resultants de la pressió seran majors i per tan el conjunt ha de ser més robust.

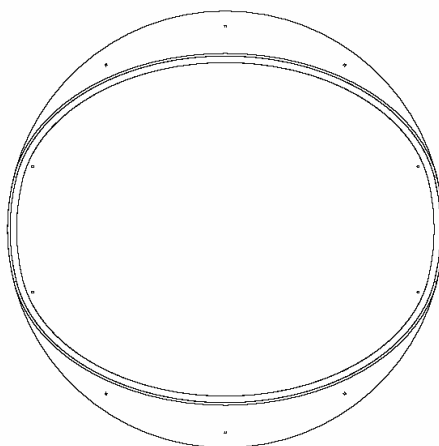
Així doncs tenim que, a nivell teòric, com a més pressió més rendiment, però es requereix de més material per tal de fer front a les sol·licitacions de les forces que es produeixen. S'ha determinat de forma arbitrària, la pressió màxima nominal de 10 MPa (100 bar), considerant que a partir d'aquest valor la millora de rendiment termodinàmic no justifica l'increment de pes que pot suposar.

S'ha decidit que el total de cambres de combustió fos de quatre. Es requereix un numero parell per tal de que les cambres es puguin situar de forma simètrica i el valor de quatre cambres és l'habitual en els motors utilitzats per turismes.

L'interès per la simetria és degut a la voluntat que les cambres geomètricament simètriques operin també de forma simètrica. A nivell teòric, si s'assoleix un funcionament totalment simètric i considerant l'estrator un sòlid rígid, les forces produïdes en la compressió i combustió només generarien la resultant del par motor, reduint dràsticament les vibracions.

Per tal de que les cambres operin simètricament, també cal que el rotor sigui simètric.

Observant les característiques dels motors i vehicles de les taules de l'annex A, per tal de complir els requisits desitjats, el desplaçament total (o cilindrada) hauria de ser entre 1'4 i 1'6 litres i la relació de compressió entre 17 i 19 pels motors amb turbocompressor i injecció directe o common rail. Dins els esbossos realitzats s'ha seleccionat a un de una relació de compressió pròxima a 18 i un desplaçament total inferior a 1200 cm<sup>3</sup>, ja que, el pes influeix el consum de combustible en relació a la distància recorreguda en vehicles i per tant s'ha optat per unes dimensions i pes inferiors com també per una geometria poc abrupte per tal de disminuir les velocitats màximes de les comportes.



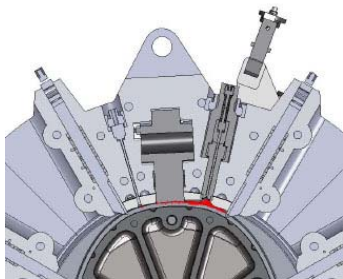
**Figura 1.2.** Secció del rotor.

Amb l'esbós de la figura 1.2 es pot observar que el rotor tindrà un parell de màxims de distància radial i un parell de mínims, amb el qual per cada revolució del rotor es podran originar els quatre temps: admissió, compressió, expansió i escapament, realitzant el cicle complet en una sola volta, a diferència dels

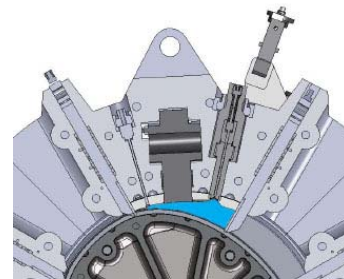
alternatius de quatre temps, que en requereixen de dues. Així doncs, el règim de gir pot ser la meitat que els valors típics dels motors alternatius d'encesa per compressió, i considerant els valors nominals dins de les 300 per a relati a les 3000 RPM com el màxim que es desitja.

Tal com s'observa en l'esbós, la cambra de combustió, que és on s'ubica el volum de control, està limitada per la part superior per la camisa de l'estator i la vàlvula, per l'inferior per la camisa del rotor i pels laterals per les comportes.

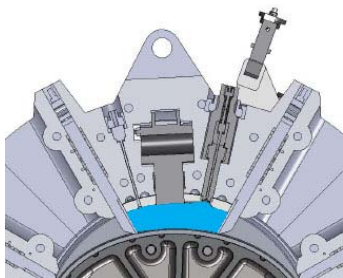
Les següents figures mostren de forma esquemàtica els diferents temps i el funcionament bàsic del conjunt.



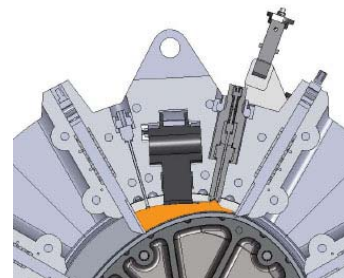
*Final extracció i inici de l'admissió.*



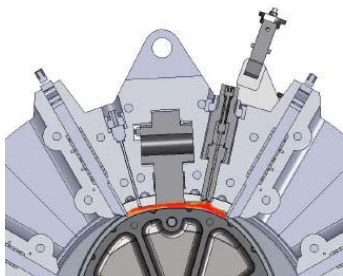
*Admissió.*



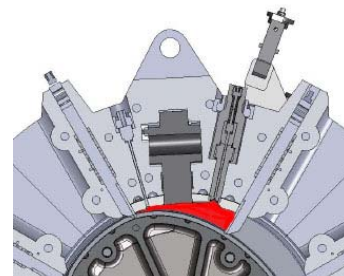
*Final de l'admissió i inici de la compressió.*



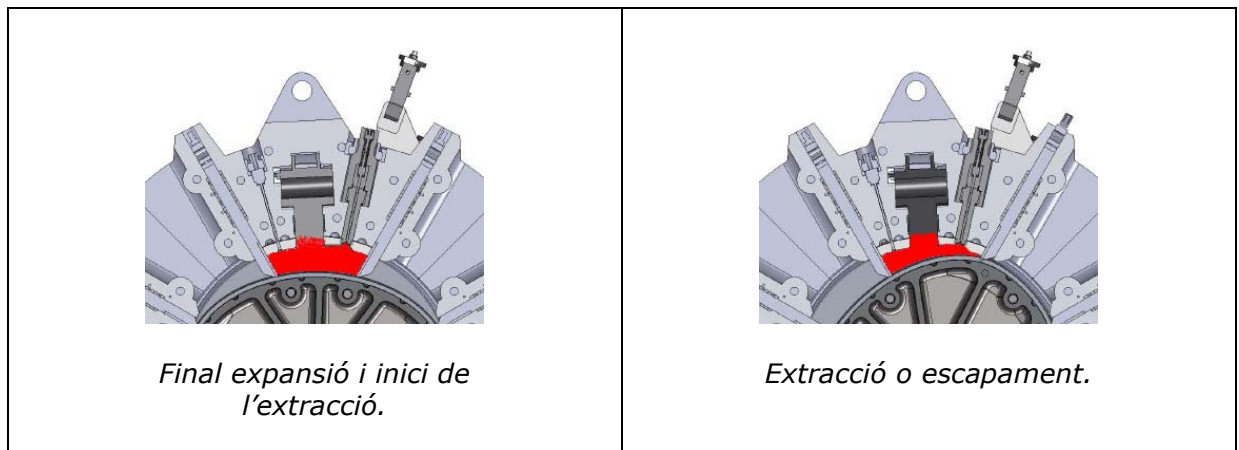
*Compressió.*



*Combustió.*



*Expansió.*



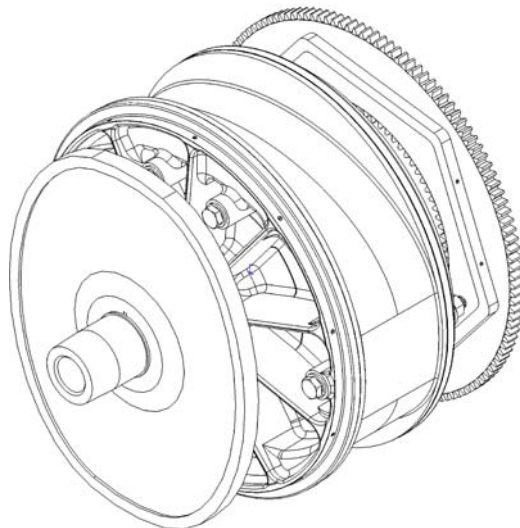
**Figura 1.3.** *Les diferents fases del cicle termodinàmic*

# CAPÍTOL 3: CONJUNTS FUNCIONALS

## 3.1. Eix rotor

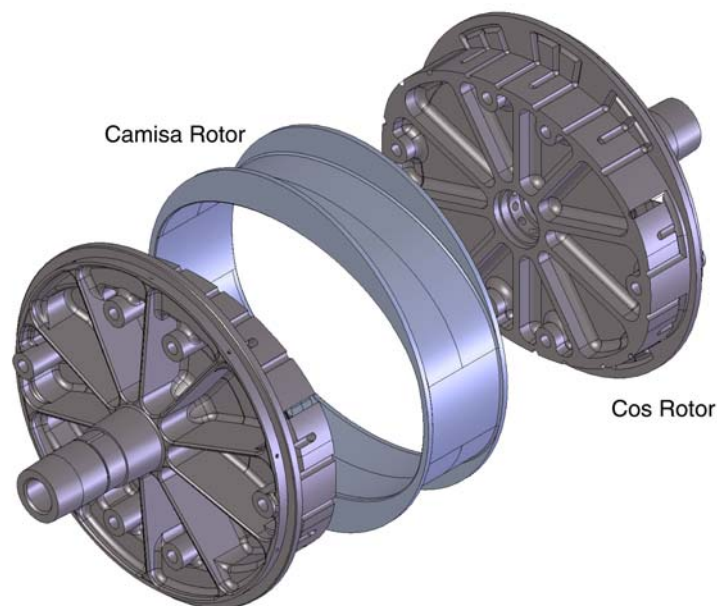
En si, l'arbre motriu és l'eix rotor, que a la vegada està compost del rotor.

El rotor està compost per dos peces simètriques per tal de poder alleugerir el pes a partir de cavitats buides en el seu interior un cop unides. A més les mateixes peces del rotor formen l'arbre que transmet el par motor i on aniran situades les lleves per tal de realitzar els desplaçaments necessaris pel funcionament, tant de la vàlvula d'admissió/escapament com de les comportes.



En la part central, com a superfície que limita la cambra de combustió es situa la camisa del rotor, la qual serà la que entrarà en contacte amb les comportes i l'aro entre el rotor i l'estator. El conjunt dels dos blocs del rotor, els quals fixen la camisa, estaran units a partir de perns. Tot i que no s'ha realitzat un anàlisi de la transmissió de calor, i per tan, es desconeix de la necessitat o no d'aquesta,

s'ha proveït els blocs del rotor d'una cavitat que travessa tot l'eix i que a partir dels nervis connecta amb la superfície creant ranures i amb la finalitat de refrigerar la camisa. La cavitat interior de l'eix serà obturada per la mateixa junta en el pla d'unió per tal d'obligar el fluid a desplaçar-se als extrems del rotor. L'aportació i extracció del líquid refrigerant s'ha de dur a terme per l'interior del mateix eix i es pot realitzar a partir d'aquell conjunt constructiu que sembli més viable per la ubicació dels components dins les diverses possibilitats que planteja P. Orlov, en el capítol d'empaquetadures (Enginyeria del disseny vol. III pàg 106). El fet d'aportar el líquid refrigerant per l'interior de l'eix dificulta que el mateix rotor pugui transmetre el par de forma coaxial, essent un de les possibilitats la transmissió a partir d'un engranatge solidari a l'eix utilitzant ranures.



Entre els dos blocs del rotor es posicionaran les juntes per tal de permetre una millor fixació i la estanquesitat del conjunt. En la superfície pròxima al perímetre exterior s'hi fixarà, a partir de vissos avellanats, els dos coixinets del rotor per tal de retenir el rotor en la posició desitjada respecte l'estator. S'ha decidit la utilització d'un coixinet hidrodinàmic degut sobretot al seu baix cost, però també a altes toleràncies i adaptabilitat que permet. Els desavantatges que tenen és un coeficient de fricció aparent superior als de rodaments, però optimitzats a règims de girs concrets, la diferència pot ser menystinguda. També cal destacar que posició relativa dels elements no és immòbil, i aquesta variarà en funció de la càrrega i del règim de gir. Aquest defecte pot ser fàcilment superat adaptant la resta de components a aquestes circumstàncies. El motiu principal que els valida per la seva utilització és la seva freqüència en que s'utilitza per els cigonyals i bieles en casi tots els motors.

Un dels extrems sortints de l'eix del rotor es mecanitzarà per tal de produir una superfície cilíndrica amb la finalitat d'emplaçar-hi la lleva de les comportes. Aquesta serà fixada radialment per una xaveta i longitudinalment per un reten. Una fixació més correcte seria produïda per una rosca però el ser les forces centrades, la facilitat de muntatge i preu entre un sistema i l'altre, s'ha preferit

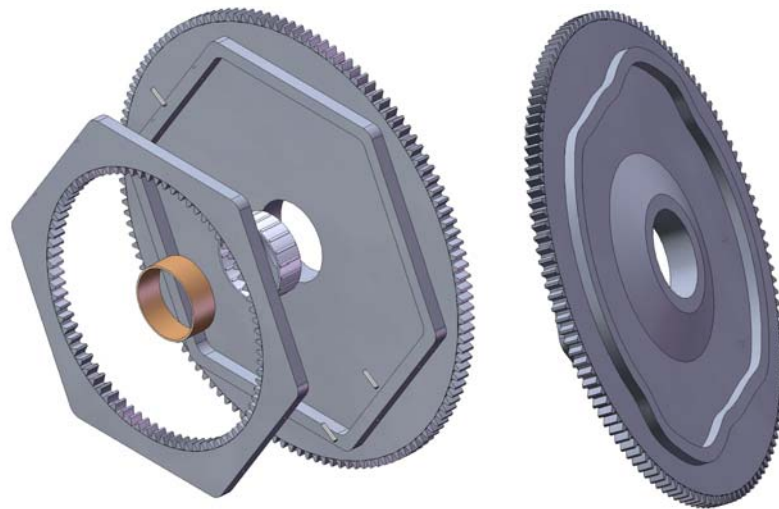
aquest sistema, però amb la intenció de ser modificat en cas de que el conjunt no sigui prou resistent.

Pròxim a la simetria, es situarà la lleva de les vàlvules. Aquesta, per tal de permetre la simultaneïtat dels temps de les cambres haurà de girar amb una velocitat angular la meitat de ràpida que el rotor. Per tant, la lleva de les vàlvules serà coaxial al rotor però no solidària. La dificultat de poder disposar de líquid lubricant en aquesta zona fa preferible la utilització d'un coixinet de rodaments, i preferiblement d'agulles, com el seleccionat (SKF K 55x60x20), per qüestions dimensionals. Degut a que el rectificat de l'eix és inferior al diàmetre interior del coixinet, s'ha realitzat un cilindre per tal de poder ajustar les dimensions.

La lleva està realitzada a partir del mecanitzat d'un disc, sent la superfície que utilitzada pels seguidors tan la cara exterior com l'interior. En l'altre cara del disc es mecanitzarà un hexàgon per tal de que es pugui transmetre el moviment de engranatge interior a la lleva. L'engranatge interior queda fixat totalment a partir de quatre varilles roscades.

En el mateix pla es situa l'engranatge de transmissió, solidari al rotor amb una xaveta, que a partir d'uns planetaris situats en el estator, provocarà el moviment desitjat a la lleva. La lleva i l'engranatge de transmissió quedaran fixats en direcció axial a partir del rivet practicat en el rotor i un reten a l'altre extrem. Degut el contacte entre l'engranatge i el disc de la lleva, es generarà fricció, però els valors es consideren menyspreables en relació al total del motor.

S'ha representat un engranatge a la part exterior al disc de la lleva per tal de ser un dels possibles sistemes de transmetre la potència als sistemes auxiliars tals com la bomba de líquid refrigerant com la del líquid lubricant i l'alternador.



**Figura 1.4.** *Conjunt de la lleva de les vàlvules.*

El material seleccionat pel cos del rotor és fassa gris normalitzat a la classe 50. Els motius de la selecció son que les sol·licitacions més elevades que està sotmès son a compressió, i una de les característiques de les foses grises és la seva elevada resistència a la compressió respecte a tracció però també. Com assenya Norton (Diseno de Máquinas, pàg 82), és un material habitualment

escollit per la fabricació de blocs motors i rotors degut a la seva fàcil colada com també la fàcil mecanització, i per tenir bones propietats en absorció d'amortiguacions.

El material per la camisa del rotor s'ha seleccionat a partir de la consulta de la pàg. matweb.com, a partir de requerir un material que podes tenir altes temperatures de servei, de bona duresa a altes temperatures i una bona estabilitat dimensional. El material seleccionat és la referència d'acer inoxidable 420.

Degut el baix mòdul d'elasticitat de l'alumini s'ha seleccionat, concretament el 1050, per la realització de les juntes.

Degut a l'alta duresa i resistència de l'acer inoxidable 420, també s'utilitzarà per la realització de les lleves i els engranatges.

El coixinet s'ha realitzat de Bronze UNS C54400, ja que els bronzes és un dels materials aconsellats pels coixinets hidrodinàmics tal com exposa Norton (Diseño de Máquinas, pàg 653) i Orlov (Ingeniería del diseño, vol II pàg 444).

## 3.2. Estator

El conjunt de l'estator és la part fixa del motor. Aquest anirà unit a l'estructura del vehicle o a la bancada en cas de ser destinat com a generador. La fixació està prevista pels taladros més extrems.

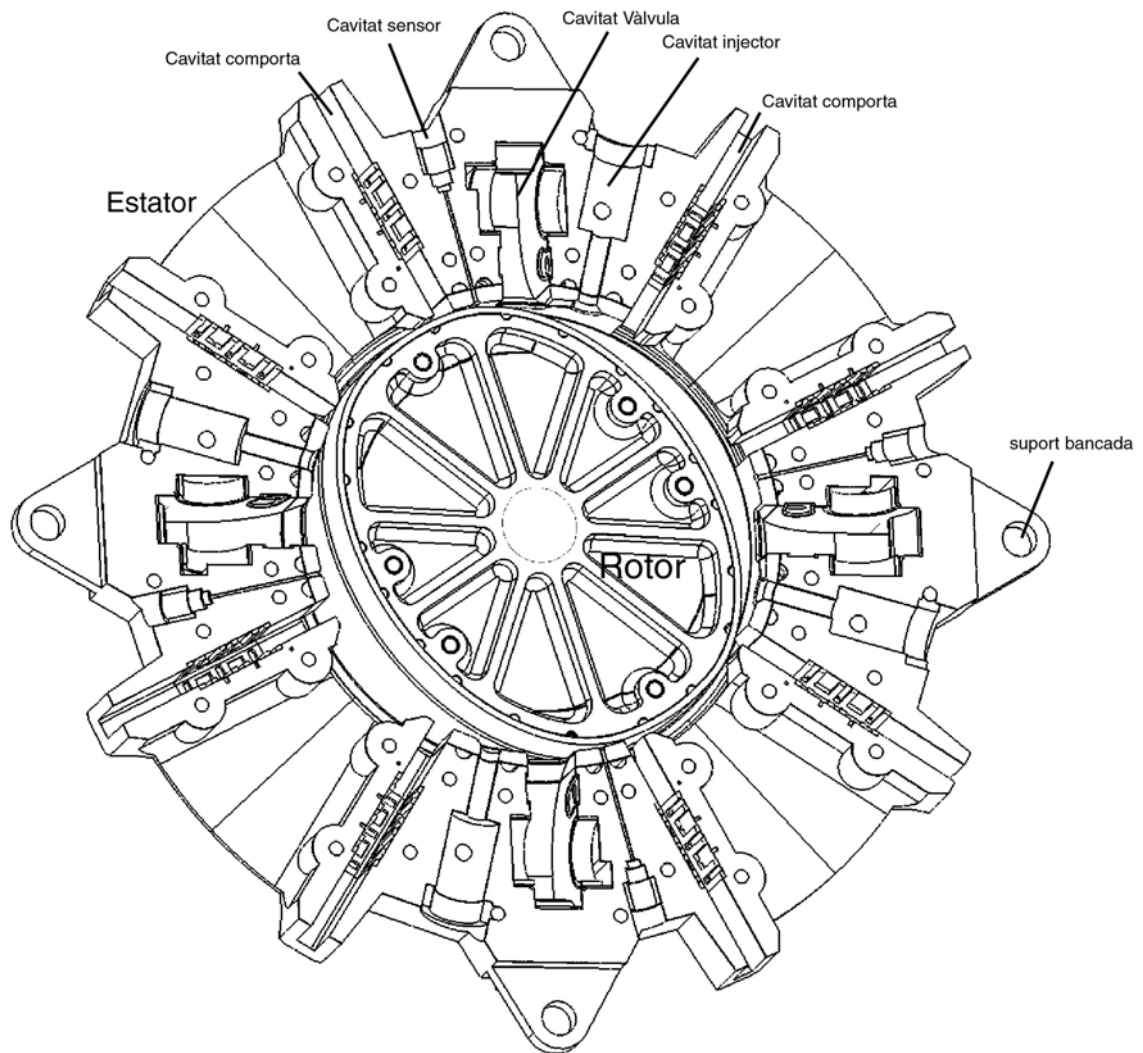
L'estator consta bàsicament de dos blocs simètrics en excepció de les parts que s'han modificat per poder acoblar diferents mecanismes o estructures, com el sistema d'accionament de les vàlvules i les comportes i el suport de les bombes d'injecció.

Dins les possibilitats constructives s'ha decidit pel de dos cossos o blocs per tal que les superfícies que hauran de ser rectificades o mecanitzades siguin les mínimes possibles i també per tal d'intentar que el nombre de peces totals sigui el més reduït possible. A més, normalment, la minimització del nombre de peces permet més facilitat al la construcció d'una estructura capaç de resistir sol·licitacions elevades. Els dos cossos de l'estator tenen simetria axial per tots aquells components referents a les cambres de combustió. Així doncs, apart de l'espai central per l'emplaçament del rotor, també es requereixen de diferents cavitats per poder-hi situar les comportes, les vàlvules i el sistema d'injecció del combustible.

La fixació proposada per els injectors i els sensors és a partir d'una rosca on es cargolarà el fixador, deixant el conjunt de l'injector o del sensor a compressió delimitat entre el fixador i la cavitat. Aquest sistema cal ser modificat, ja que la construcció de l'estator a partir de dos blocs dividits pel centre, en fa difícil i molt poc aconsellable la mecanització de la rosca.

Tot i la disminució de resistència que suposa per el bloc de l'estator, la cavitat de les comportes s'ha decidit fer-les al llarg de tota la longitud per tal de poder extreure amb facilitat les comportes per les tasques de reparació i manteniment. Tot i així, en cas d'ús per a vehicles lleugers, la ubicació del motor en faria difícil l'accés a les comportes sense l'extracció de tot el conjunt motor de la seva cavitat.





**Figura 1.5.** Bloc de estator.

En la part interior dels cossos de l'estator s'hi practicarà unes ranures per tal de permetre la circulació del líquid refrigerant.

La unió entre els dos blocs es realitzarà amb perns i en el centre s'hi col·locaran les juntes d'alumini per tal de que el contacte entre les superfícies sigui el més favorable possible i per tal de que el conjunt sigui estanc. El ser peces simètriques i el ser les forces resultants de la combustió molt significatives respecte la resta de possibles forces, els esforços apareguts en el pla d'unió entre la junta i els blocs haurà de ser absorbits pel fregament estàtic de les peces i pels perns, tot i que no s'acostuma a aconsellar la utilització d'aquests per resistir els esforços tallants.

Tot i que, en bona part de la geometria, els dos blocs de l'estator son simètrics, no ho son del tot. En cada un d'ells s'ha adaptat per tal de poder permetre el conjunt de mecanismes.

Tan els canals com les perforacions per tal de poder traslladar el líquid refrigerant com el líquid lubricant seran fets en els blocs de l'estator, dirigits i retinguts al llarg del perímetre per la tapa dels conductes (ref. peça nº0201091),

la qual, la seva única funció és la mencionada, prescindint de la seva funció resistent.

El bloc s'allarga pels extrems del pla de rotació cap el centre de l'eix en una estructura alleugerida, per tal de donar més rigidesa al conjunt del bloc. Aquesta estructura s'aprofita per poder-hi fixar els engranatges planetaris que transmeten el moviment rotacional de l'eix cap a la lleva de les vàlvules. Aquest taladro pot provocar concentracions de tensions elevades i en un disseny correcte s'hauria de prendre cura i realitzar-lo amb atenció.

L'esbós del conjunt (ref. conjunt nº0202) de planetaris és incorrecte, ja que una bona fixació del fusell a l'estator impediria el moviment de l'engranatge, invalidant la seva funcionalitat. Aquest, correctament, s'hauria de fixar amb dues femelles a cada banda del taladro de l'estator, permeten així el moviment rotacional lliure de l'engranatge.

La camisa de l'estator està situada a la zona central interior de la unió dels blocs de l'estator. La camisa no deixa de ser una prolongació de la base de l'estator, amb continuació de les seves cavitats. La finalitat és ser una superfície físicament més capacitada per les situacions a que està sotmesa que els blocs de l'estator. Així doncs, és prefereix un material de baixa transferència tèrmica i de bona estabilitat dimensional a les temperatures. En si no requereix de gaire resistència, ja que un bon disseny d'aquesta camisa permetria que en la majoria d'ella només existissin esforços a compressió i resultants només del propi contacte amb els gasos de la cambra de combustió i de les dilatacions tèrmiques.

Una de les zones més crítiques per la camisa de combustió és la generada per la cavitat de la vàlvula, ja que, la voluntat de que camisa i vàlvula no estiguin pròpiament en contacte i a la necessitat d'incorporar un retent en aquesta interfície per assegurar la estanqueneitat en fan que sigui una zona molt dèbil.

Entre la camisa i l'estator es situarà una junta d'alumini per tal d'assegurar l'estanqueneitat de les ranures de refrigeració i per tal de millor adaptabilitat entre les peces.

En les cavitats de les comportes es situen els coixinets de les comportes. En primera instància, amb desig que constituïssin un coixinet hidroestàtic però per la dificultat de la construcció de conductes pel pas del líquid lubricant, s'ha descartat la possibilitat de dos circuits d'oli a diferent pressió i per tant, la seva funció és més de ranures de distribució de lubricant, que no pas la de pròpiament coixinet de contacte. Un dels conflictes d'aquesta zona és la possibilitat de que el líquid lubricant pugui accedir a la cambra de combustió, ja que aquest seria consumit en la cambra, amb el perill de perdre el control sobre el motor i fens i tot, amb suficient lubricant cremat, arribar a bloquejar-lo.

Els materials utilitzats per les diferents peces son: per els blocs de l'estator, ferro de fosa dúctil del grau 120-90-02, degut a una fàcil colada i mecanització per un grau de característiques mecàniques acceptables.

El material empleat per la camisa de l'estator és un aliatge de titani amb alumini i zirconi anomenat timetal 685 (TIMET TIMETAL® 685). S'ha escollit per les seves bones propietats en la conductivitat tèrmica (<5W/mK), bona estabilitat

dimensional ( $<10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) i per l'elevada temperatura màxima de servei. No obstant, també disposa de bones propietats mecàniques.

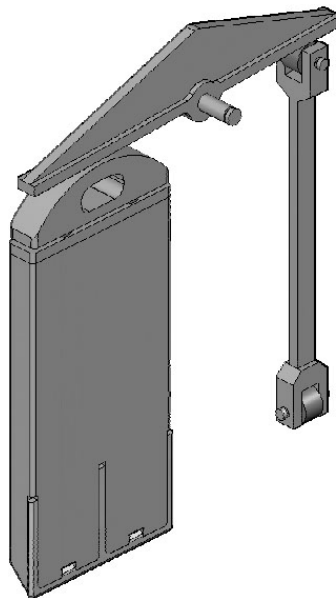
Les juntes estan realitzades de alumini 1050.

Els coixinets de la comporta de bronze UNS C54400, ja que és un dels materials aconsellats quan apareix contacte entre peces amb moviment relatiu.

La estanqueneïtat de la cambra de combustió entre el rotor i estator es realitzada per l'aro situat perimetralment al rotor. S'aprofita a més, per fixar les camises de l'estator, sobretot, en la fase de muntatge, ja que el pla normal a l'eix estarà en contacte amb l'estator, el pla inclinat amb la camisa de l'estator i la superfície cilíndrica interior estarà en contacte amb el perímetre exterior del rotor. És important que asseguri una bona estanqueneïtat, sobretot per tal d'evitar incorporació de líquid lubricant en la cambra de combustió, ja que el pla exterior normal a l'eix estarà en contacte amb l'oli provenint del coixinet hidrodinàmic. El material seleccionat per l'aro és el bronze UNS C54400.

### 3.3. Comportes

Les comportes limiten el volum de control per la part perimetral del rotor. El concepte bàsic és la de una peça que es pot desplaçar al llarg d'un pla pròxim al radial de l'eix, permetent així l'adaptació al rotor i generant l'estanqueneïtat de la cambra de combustió.



**Figura 1.6.** *Conjunt del mecanisme de la comporta.*

La comporta està formada per diverses peces per poder-ne permetre el seu funcionament segons les seves necessitats. La peça que està amb contacte amb el rotor és l'aro de la comporta. Les sol·licitacions que està sotmesa són varies i elevades, sobretot les referents a falla superficial. Una part de la superfície estarà permanentment amb contacte amb els gasos de la cambra de combustió sense poder tenir cap més sistema d'evacuació del calor que a partir del contacte amb el cos de la comporta i la camisa del rotor. A més, la fricció generada degut

al gir del rotor generarà encara més calor. Per disposar d'una adaptabilitat suficient a la camisa del rotor, requereix que el seu contorn sigui arrodonit, incrementant les tensions superficials i permetent a la llarga la falla per fatiga superficial.

Degut a l'inevitable desgast que apareixerà tant en la camisa del rotor com en l'aro de la comporta degut al contacte entre les dues peces, s'ha preferit que l'aro tingui una duresa inferior a la camisa i per tant sigui de les dues peces, la que rebi més part del desgast ja que és una peça més susceptible a la falla, la quantitat de material és inferior a la camisa i és de més fàcil extracció i substitució. Així doncs, degut a requerir d'un material dur i resistent però a la vegada de menys duresa que la camisa, amb una temperatura de servei elevada i amb bona estabilitat dimensional, s'ha seleccionat un acer AISI 416, però per contra, aquest fet comporta que els dos materials siguin compatibles en una zona deficient en lubricació, i per tant també s'origini desgast per adhesió.

La comporta requereix d'un pla perpendicular al normal del moviment per tal d'ajudar a reduir les pèrdues per fricció, a més de permetre un millor suport a l'aro. Aquest no ha estat representat, però a efectes de càlcul s'ha considerat de 2 mm.

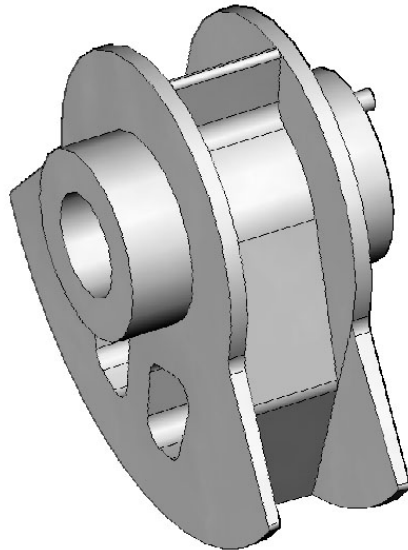
La tapa de la comporta té la funció de centrar el coixinet respecte la comporta a partir dels suports del coixinet i transmetre la força de les arandelles belleville, que estan en contacte amb el coixinet, al cos de la comporta. El coixinet adapta l'angle del balanci per tal de transmetre el moviment que és generat pels seguidors de la lleva de la comporta.

La geometria de la lleva és incorrecte, ja que el pla del desplaçament de les comportes és simètric al pla central però no compleix simetria angular respecte l'eix i per tant es requeriria de dos lleves per generar correctament el moviment. Com que, en cas de realitzar-se millores, el pla de desplaçament de les comportes serà radial a l'eix, no s'ha modificat la lleva de les comportes.

### 3.4. Admissió i extracció de gasos

Degut a la geometria del rotor i a la voluntat d'obtenir el mínim volum en el PMS, el sistema tradicional de vàlvules que utilitzen els motors alternatius no s'ha considerat vàlid, ja que tan durant el temps de l'extracció de gasos com la de admissió, part de la camisa del rotor dista de la camisa de l'estator menys de dos mil·límetres. Per tal de solucionar aquest problema s'ha plantejat una vàlvula que el seu funcionament parteix de la rotació. Així doncs, de forma bàsica, la vàlvula és un cilindre que el seu eix és perpendicular al de l'arbre motor. En aquest cilindre se li practiquen una obertura en la part exterior del seu perímetre i a partir de l'obertura de la camisa de l'estator, permetrà o no, en funció de la seva inclinació, la comunicació entre la cambra de combustió i l'exterior.

S'ha aprofitat aquest principi de funcionament per tal de que una mateixa vàlvula pugui administrar l'entrada o la sortida dels gasos, a partir de crear dos obertures. Així doncs, es pot considerar que la vàlvula està tancada quan està centrada i depenent de la direcció de gir que prengui, s'obrirà per donar lloc a l'expulsió dels gasos o a l'entrada de aire en la cambra de combustió.



**Figura 1.7.** Vàlvula.

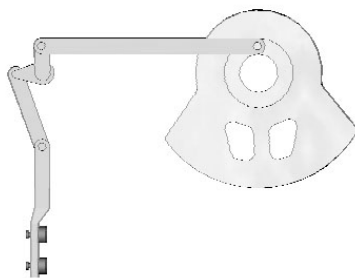
S'ha aprofitat aquest principi de funcionament per tal de que una mateixa vàlvula pugui administrar l'entrada o la sortida dels gasos, a partir de crear dos obertures. Així doncs, es pot considerar que la vàlvula està tancada quan està centrada i depenent de la direcció de gir que prengui, s'obrirà per donar lloc a l'expulsió dels gasos o a l'entrada de aire en la cambra de combustió.

Un cilindre de menor diàmetre que la superfície funcional com a vàlvula sobresurt per tal de poder ser fixada axialment en l'estator, amb un coixinet de bronze.

La vàlvula també disposa de dos perforacions paral·leles a l'eix per tal de permetre la circulació del líquid refrigerant.

El conjunt ha de ser estanc per tots els fluids que circulen per o en les proximitats de la vàlvula i en l'estat actual del disseny no es compleix. Entre els conductes de l'admissió de l'aire i de l'extracció dels gasos de la combustió es realitza pel nervi superior i es requeriria d'un retent al llarg del nervi i dos més en els perímetres dels cercles adjacents. En la cavitat de l'estator destinada al coixinet s'ha de realitzar un conducte per tal d'extreure'n el líquid lubricant i amb un retent per tal d'assegurar que aquest no pugui accedir a la cambra de combustió o es barregi amb el líquid refrigerant. En la camisa de l'estator s'han de situar un total de 4 retens de forma similar a la part superior, dos en els extrems de l'obertura de la camisa i paral·lels a l'eix de la vàlvula i dos més al llarg del perímetre exterior de la vàlvula.

Aquest sistema té com a virtuts, una gran secció de pas però com a defectes principals el seu pes i la impossibilitat de realitzar l'escombrat dels gasos de combustió a partir de l'aire de l'admissió degut a que, a diferència del sistema de vàlvules tradicionals, aquest, no permet l'obertura simultània del l'admissió i l'escapament.



**Figura 1.8.** *Conjunt mecanisme vàlvula.*

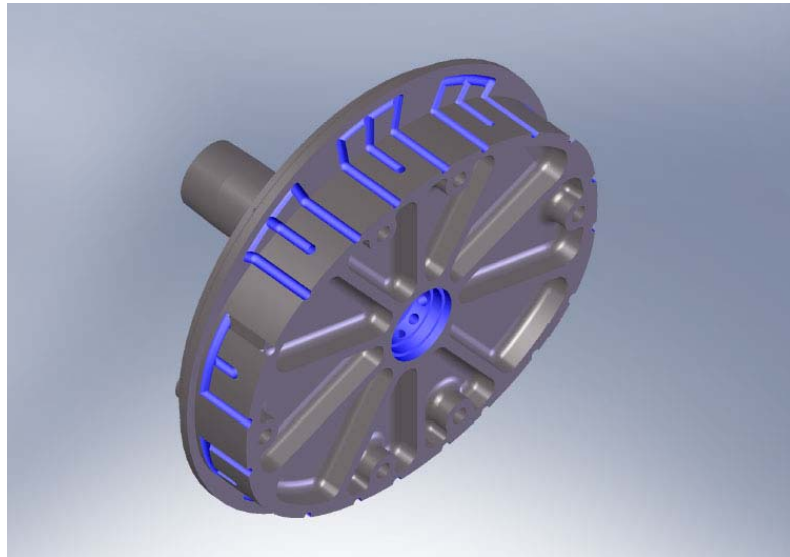
Per la creació de la lleva de vàlvula es requereix saber quina és l'angle de la vàlvula en cada instant, ja que les vàlvules d'extracció dels gasos s'obren abans d'arribar al PMI i la vàlvula d'admissió es tanca després de superar el PMI. Els valors d'inici d'obertura i tancament s'estableixen a partir de càlculs fluidodinàmics coneixent la longitud i diàmetre dels conductes d'admissió i escapament. El no haver-se previst dins el disseny actual cap d'aquests conductes no s'han realitzat els càlculs, considerant com a vàlids que s'inicia l'extracció de gasos a  $20^\circ$  abans d'assolir el PMI i l'admissió es realitza des del PMS fins  $10^\circ$  després del PMI.

### 3.5. Conductes de líquid lubricant i refrigerant

No s'han realitzat càlculs sobre les necessitats de cabdal de líquid refrigerant ni lubricant però sí que s'han previst solucions pel transport d'aquests en algunes de les zones necessitades.

Pel que fa a la refrigeració, no s'han fet càlculs sobre la transferència de calor i per tan es desconeix la necessitat o no d'un sistema de refrigeració líquida. Tot i així, Termodinámica Lógica y Motores Térmicos de J. Agüera, en la pàg 540-541, ens orienta sobre la temperatura que poden adquirir alguns components; uns  $700^\circ\text{C}$  per les vàlvules d'escapament, entre  $200$  i  $300^\circ\text{C}$  el pistó, entre  $200$  i  $250^\circ\text{C}$  en les parets de la cambra de combustió i entre  $150$  i  $200^\circ\text{C}$  en les parets del cilindre. També comenta que en cilindres inferiors de  $85\text{mm}$  de diàmetre, no és necessària la lubricació líquida, però a partir de les taules de l'annex A, s'observen varies motoritzacions de diàmetres de  $85\text{ mm}$  o inferiors amb refrigeració líquida, i per tant se'n suposa la necessitat.

Pel que fa el rotor, el no necessitar de líquid lubricant, la disposició dels conductes és més simple i es realitza per l'interior de l'eix fins que aquest queda bloquejat per la junta central del rotor. Degut a això, el fluid es desplaçarà cap a la superfície a partir dels taladros practicats en els nervis i així el líquid refrigerant estarà en contacte amb la camisa. Els canals de la superfície dirigiran el fluid cap el cos rotor simètric que altre cop retornarà cap a l'eix. Per l'aportació i extracció del líquid refrigerant de l'eix es pot utilitzar qualsevol dels mètodes descrits per P. Orlov, en el capítol d'empaquetadures (Enginyeria del disseny vol. III pàg 106).



**Figura 1.9.** Refrigeració del rotor.

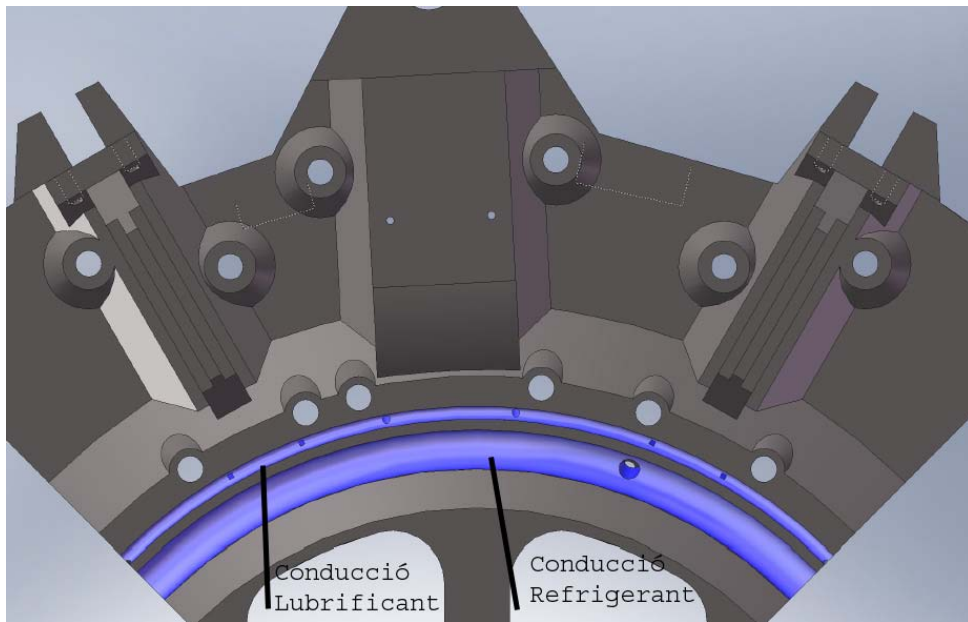
En l'estator es requereix de líquid refrigerant i lubricant. S'han establert una sèrie de conductes i canals pel líquid refrigerant, que aprofitant la simetria dels dos blocs de l'estator, s'aprofita per l'aportació i extracció de líquid refrigerant.

Pel que fa a la conducció del líquid lubricant s'ha aconseguit diferents conductes per a realitzar-ne l'aportació a la majoria de sistemes principals, però no a tots, ni tampoc la capacitat de crear una sèrie de conductes de retorn, creant la necessitat que tot el conjunt del motor s'hagi de disposar d'un encapsulat a l'interior d'una cavitat de xapa amb la mateixa finalitat que el carter.

Dins els mecanismes que no s'ha aconseguit lubricar a partir de conductes és la interfície entre la camisa del rotor i l'aro de la comporta. Aquesta interfície haurà de ser lubricada a partir de la mescla del líquid lubricant amb l'admissió de l'aire, de forma similar als petits motors d'encesa provocada de dos temps. Aquest fet suposa un elevat consum de líquid lubricant i un increment en la dificultat de complir les normatives d'emissió de partícules i contaminants com la 2005/21/CE, que regula l'emissió de contaminants de vehicles dièsel destinats a vehicles terrestres.

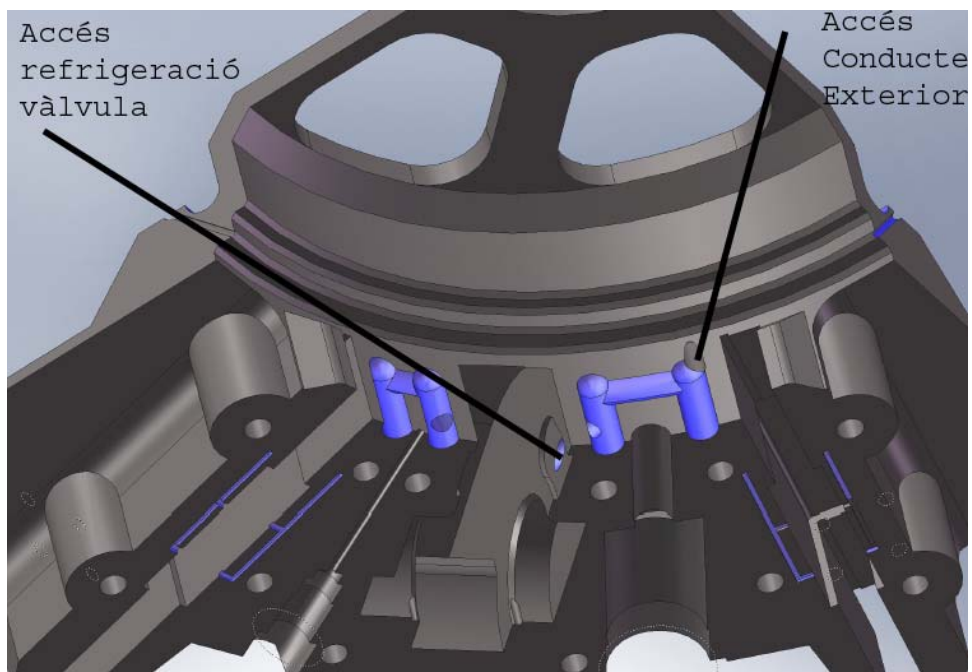
Els altres mecanismes no lubricats, és el conjunt del balanci i la barra de la comporta amb el seu colleri igualment que amb el mecanisme impulsor de la vàlvula. El sistema adoptat sense lubricació seria vàlid per un motor experimental el qual no se l'hi exigeix gaires hores de funcionament abans de la falla, però no per un motor comercial, ja que el desgast dels components provocaria una falla prematura i evitable amb un bon disseny.

Dins les possibilitats que s'han assolit, s'ha establert que tan el líquid lubricant com el refrigerant seguissin la circumferència de l'estator. Així, una de les cares serveix per l'aportació de líquid refrigerant més fresc i l'altre per l'extracció del més calent. Pel que fa al líquid lubricant, segueix el mateix conducte, però aquest requereix de les dues cares per poder accedir als dos coixinets hidrodinàmics entre l'estator i el rotor.



**Figura 1.10.** Refrigeració de l'estator.

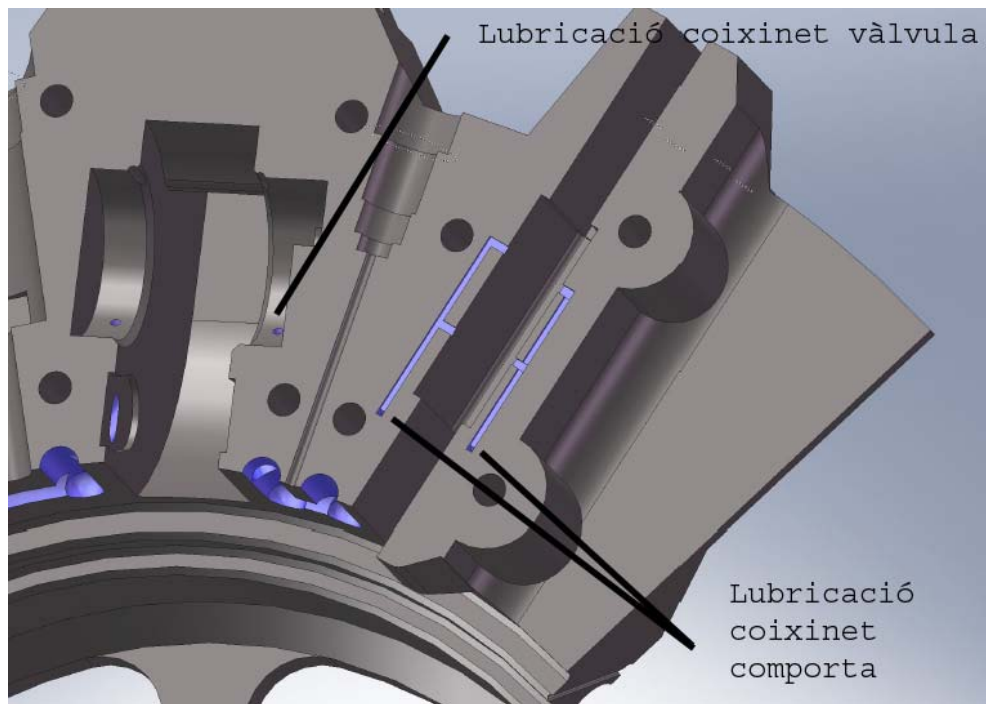
A partir de la conducció exterior del líquid refrigerant, a partir d'un taladro es pot accedir al sistema de conductes que estaran en contacte amb la junta de la camisa de l'estator. Un altre parell de taladros dirigeix el fluid al conducte de la vàlvula i torna a passar a estar en contacte amb la junta de la camisa. A partir d'un taladro simètric, s'extreu el fluid de la cambra.



**Figura 1.11.** Refrigeració de l'estator.

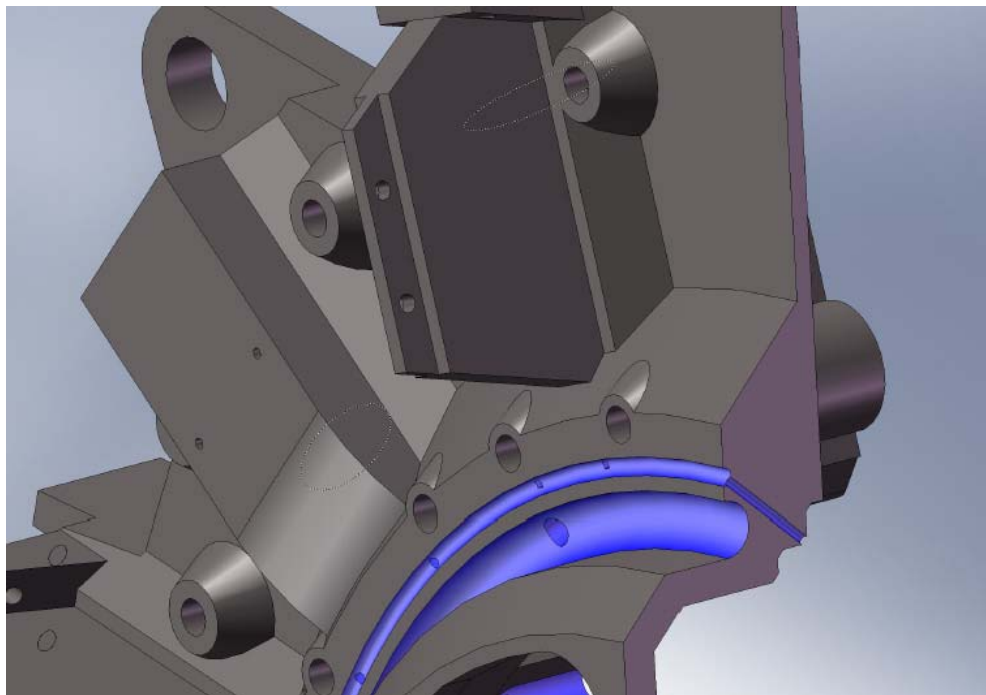
L'accés del líquid lubricant al coixinet de la vàlvula i de la comporta es mostra a la figura 1.12.





**Figura 1.12.** Refrigeració de l'estator.

I l'accés al coixinet hidrodinàmic entre l'estator i el rotor en la figura 1.13.



**Figura 1.13.** Refrigeració de l'estator.

## 3.6. Aportació de combustible

### 3.6.1. Alimentació i injecció

L'alimentació està formada pel dipòsit de combustible, la bomba de gas-oil, el filtre de gas-oil, la bomba d'injecció, l'injector, el sistema de control de la injecció i el conjunt de conductes necessaris. Però del conjunt del sistema d'alimentació del combustible, només es planteja el disseny de la bomba d'injecció, l'injector i el sistema de control de la injecció i aquest disseny és aproximat, a nivell d'esbós, per tal de tenir una referència al comportament que afecte al motor i a les seves dimensions.

El funcionament general del sistema d'alimentació parteix d'origen del dipòsit de combustible que està connectat a la bomba de gas-oil. Preferentment la bomba de gas-oil ha de ser d'accionament elèctric, permetent una ubicació més versàtil del dipòsit respecte el motor. La funció de la bomba de gas-oil és la d'enviar una quantitat determinada i constant de combustible a les quatre bombes d'injecció que en el moment designat pel sistema de control de la injecció enviaran la quantitat de combustible desitjat a l'injector a una pressió variable, inicialment superior a 600 bar i fins a 380 bar quan ha injectat 30 mm<sup>3</sup>.

La bomba d'injecció es d'accionament mecànic. A partir d'una lleva connectada en l'eix del motor fa rotar a un triangle, també connectat a un eix i una molla, que carreguen la bomba amb energia potencial, i a un èmbol que té la funció d'injectar el combustible.

El triangle disposa d'una ranura que permet fixar-ne la posició un cop la molla està carregada. Quan el sistema de control de la injecció estableix que s'ha d'efectuar la injecció de combustible activa un electroiman que desplaça el baldo fixador del triangle.

La finalitat del disseny és solament adquirir dades de pesos i dimensions per tal de tenir una referència, però també requerim és saber quina quantitat de combustible injecta en un determinat temps, permetent saber amb més exactitud la part de combustió a volum constant i a pressió constant.

### 3.6.2. Sistema de control de la injecció

Per obtenir el màxim rendiment del motor és necessari que la combustió sigui en el màxim possible a volum constant, limitat per la pressió màxima admissible pel motor. Es pot controlar la relació de combustió a volum constant i a pressió constant a partir de l'instant en que s'injecta el combustible, com més tard s'injecti més elevat serà la quantitat de combustible que combustionarà a pressió constant respecte a volum constant.

A més, l'instant d'injecció s'ha de controlar per tal de poder obtenir un ampli règim de funcionament del motor ja que el combustible té un retard entre l'instant que s'injecta i l'inici de la combustió. Aquest retard ve condicionat per diversos paràmetres. Els més importants són el combustible i la temperatura, però podem considerar que pel gas-oil a partir de 500 K el retard és de 0'5 ms.

Així doncs és necessari controlar l'instant en que s'efectua la injecció i a ser possible que s'adquireixi el màxim de pressió admissible pel motor.

A partir de la bomba plantejada, que s'activa quan l'electroimant desplaça el baldo i desencalla el mecanisme que és accionat per una molla carregada, cal doncs un sistema que permeti el pas del corrent cap a l'electroimant en el moment desitjat.

La resolució del sistema plantejat no és vàlid, ja que s'ha realitzat una idealització tal dels elements electrònics que difícilment s'obtidrien el resultat desitjat, però si que és suficientment vàlid per demostrar que es pot regular el moment d'injecció d'una forma suficientment eficient, i amb una revisió i dimensionament correcte, el procés seria vàlid.

El sistema plantejat es basa en un circuit electrònic que estableix si cal avançar o retardar l'accionament de la bomba a partir d'un sensor de pressió en la cavitat com també del temps transcorregut des de l'instant que s'ha efectuat la injecció fins que succeeix el punt mort superior (PMS). El temps de retard es regularà connectant o desconnectant diferents condensadors d'una bateria de condensadors en paral·lel i variant així el temps de descarrega d'aquests.

Així doncs per tal d'aconseguir aquest procés s'instal·larà un sensor de posició pel rotor, i per cada cavitat de combustió un sensor de pressió, un circuit de decisió de retard de l'injecció i un circuit de bateria de condensadors.

El sensor de posició ha de disposar de 4 sortides, dues referents a cada conjunt de cambres de combustió. La sortida S01 serà activa des de 20° abans del PMS fins a 5° passats el PMS i la S02 des del PMS fins 90° posteriors. Les sortides S03 i S04 son equivalents a les S01 i S02 però per l'altre conjunt de cambres. Només és necessari un sensor pel conjunt de les quatre cambres de combustió.

El sensor de pressió és un piezoelèctric, que forma part del transductor de pressió, i dona com a sortida una tensió elèctrica en funció la pressió de la cambra de combustió i que serà discretitzada en els valors de 57, 100 i 115 bar en el convertidor de senyal.

Aquests valors fan referència a quan es considera l'inici de la combustió (57 bar), la pressió màxima nominal del motor i a la qual s'intentarà treballar lleugerament per sota (100 bar) i la pressió màxima admissible per seguretat (115 bar). El convertidor de senyal també avalua la diferència de pressió en les dues cambres, donant una senyal si aquesta és superior a 10 i 20 bar respectivament i quina de les cambres té la pressió superior.

Es requereix d'un transductor de pressió per cada cambra de combustió però tal com s'ha plantejat, només es requereix d'un convertidor de senyal per les cambres simètriques.

El circuit de decisió de retard avalua les dades obtingudes del marcador de temps, del sensor de posició i de la pressió en la cambra per tal d'ajustar que la combustió s'iniciï entre 180  $\mu$ s abans del PMS i 380  $\mu$ s després del PMS a partir de donar una senyal d'avançar o retrocedir el moment d'injecció o fens i tot donant una senyal per tal d'impedir la injecció la volta següent en el cas de que s'hagin detectat anomalies.

El retard de la injecció s'assoleix a partir que en el moment que el rotor està a 20° del PMS, un conjunt de condensadors amb capacitats diferents deixen de

carregar-se i comencen a descarregar-se. En el moment que la tensió sigui inferior a 0'7 V s'iniciarà la injecció.

Així doncs, el conjunt de circuïteria és capaç de resoldre diferents situacions a partir de les dades obtingudes de la combustió anterior.

El primer cas és l'arrencada del motor. El sistema electrònic no ha estat inicialitzat i el conjunt de biestables que controlen els condensadors tenen un estat indeterminat. A més, tan el combustible com el motor en general estan freds i per tan, el retard de l'autodetonació del combustible és superior. La circuïteria detecta aquest cas a partir de un parell de portes lògiques que actuen com a memòria en el circuit de decisió. La resolució és a partir que les dues primeres revolucions no s'injecti combustible, i que les dues següents voltes, la injecció es produeixi en el PMS. A més, també inicialitza els condensadors, passant-los tots a actius i establint el retard inicial de la injecció el màxim possible.

En el cas de que en alguna de les cambres de combustió s'hagi assolit o es superin els 115 bar, s'anul·larà la injecció en aquesta revolució i el retard de la injecció s'establirà en el màxim possible per les dues cambres.

Igualment, en el cas de que les pressions entre les cambres simètriques arribi a diferir en més de 20 bar, s'anul·larà la injecció en aquesta revolució i el retard de la injecció s'establirà en el màxim possible per les dues cambres.

En el cas de que una cambra superi els 100 bar de pressió, el circuit de decisió de retard generarà una senyal per incrementar el retard de la cambra on s'ha produït l'accés de pressió.

En el cas de que la diferència de pressió entre les cambres sigui superior a 10 bar, es reduirà el temps de retard de la cambra amb menys pressió, sempre i quan no compleixi cap dels casos mencionats anteriorment i la combustió s'hagi produït després del PMS i s'incrementarà el temps de retard de la cambra amb més pressió.

En el cas de que la combustió es realitzi passats 380  $\mu$ s del PMS es reduirà el temps de retard de la cambra, sempre i quan no es compleixi cap dels casos anteriors.

En el cas de que la combustió es realitzi abans de 180  $\mu$ s d'assolir el PMS, s'incrementarà el temps de retard de la injecció de la cambra en la que s'ha donat el cas.

El sistema de control de la injecció dona cobertura en tot el rang de règim de gir nominal desitjat (de 300 a 3000 RPM), impedit que les combustions que causen accés de pressió o que es produeixin abans de 180  $\mu$ s del PMS (que segons el règim de gir, són entre 0'32° a 300 RPM i 3'2° a 3000 RPM) es repeteixin, i sempre que no es superin les pressions admissibles, que es produeixin amb un retard màxim de 380  $\mu$ s del PMS (entre 0'68° a 300 RPM i 6'8° a 3000 RPM). A més, també intenta que les pressions entre les cambres simètriques estiguin equilibrades amb un màxim de 10 bar.

En l'annex C.1.6 hi ha una descripció més detallada del conjunt del sistema de control de la injecció.

# CAPÍTOL 4: RESULTATS

## 4.1. Resultats dimensionals

El pes del conjunt del motor sense sistemes auxiliars ni sistema d'injecció és de 245 kg i les dimensions de  $763 \times 763 \times 392 \text{ mm}^3 = 0'22 \text{ m}^3$ . El valor màxim desitjat pel que fa al pes era 165 kg i per tan ha estat superat aproximadament en un 50%, les dimensions màximes desitjades eren 1m per la cota superior, 0'6m per la següent cota i un volum màxim ocupat de  $0'240 \text{ m}^3$ . Les dimensions son pròximes a les desitjades, però encara superiors pel que fa a una de les cotes.

## 4.2. Resultats tèrmics i mecànics

A nivell termodinàmic, a partir del model descrit en l'annex B, s'han aconseguit uns resultats de:

<b>Dosatge</b>	<b>1.2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
<b>Treball útil</b> [ kJ/kg ]	1031.68	713.90	524.82	305.40
[ J ]	1382.03	956.32	703.05	409.10
<b>Rendiment indicat</b>	43.75%	49.35%	53.83%	61.92%

on el treball útil està mesurat en kJ/kg d'aire.

A nivell mecànic, les pèrdues obtingudes a partir del model descrit en l'annex B, son:

		Dosatge			
		1.2	2	3	6
Règim Gir [RPM]	3000	17996.31	18001.60	18004.25	18047.83
	2000	7969.18	7973.87	7976.21	7973.45
	1250	3184.19	3186.95	3188.33	3116.49
	750	1335.98	1335.46	1335.48	1204.28
	500	800.82	797.91	796.56	647.44
	300	551.36	540.54	535.21	379.58

Així doncs, pel que fa a la potència, obtenim:

		Potència			
		1.2	2	3	6
Règim Gir [RPM]	3000	-830714	-852264	-865060	-881936
	2000	-219572	-233918	-242439	-252145
	1250	-37545	-46471	-51777	-56404
	750	576	-4739	-7905	-9940
	500	4843	1320	-779	-1986
	300	4153	2079	839	148

essent, dins els valors calculats, la potència màxima de 6'58 CV amb un dosatge de 1'2 a 500 RPM.

Pel que fa el rendiment:

		Consum Específic			
		1.2	2	3	6
Règim Gir [RPM]	3000	-16.37	-9.79	-6.50	-3.23
	2000	-41.30	-23.78	-15.47	-7.52
	1250	-150.94	-74.82	-45.26	-21.02
	750	5907.85	-440.19	-177.86	-71.56
	500	468.04	1053.52	-1202.86	-238.76
	300	327.48	401.39	670.21	1927.23

El qual, el rendiment màxim és de 327 g de combustible per kWh generat amb un dosatge de 1'2 i 300 RPM, pròxim a un 26%.

Els valors desitjats eren de 66 kW de potència i un consum òptim de 210 g/kWh, ambdós, valors molt distants dels obtinguts.

### 4.3. Resultats de la resistència de les peces

A nivell de resistència seria correcte treballar amb un factor de seguretat de com a mínim de 5 ja que els càlculs que s'han realitzat son a nivell d'esbós. Els valors obtinguts han sigut de:

De 1'12 de l'arbre rotor en transmissió del par màxim i de 2'44 pel cos del rotor en les sol·licitacions de pressió màxima i per tant, el disseny i/o els materials s'han de modificar.

La camisa de l'estator també té un coeficient de seguretat excessivament reduït, de 1'95.

El bloc de l'estator tampoc obté un coeficient de seguretat suficient, el qual, el mínim calculat és de 1'68. A més no disposa de la capacitat de funcionar com a col·lector del líquid lubricant i per tan, el seu disseny haurà de ser modificat.

Pel que fa la comporta, l'aro tampoc compleix el coeficient de seguretat i la seva dimensió haurà de ser significativament augmentada.

El cos de la comporta té un coeficient de seguretat mínim de 1'33 i el seu gruix haurà de ser incrementat.

La vàlvula resisteix les sol·licitacions sotmeses a vida finita.

# CAPÍTOL 5: CONCLUSIONS

Davant els resultats obtinguts es podrien generar varies solucions per tal de decrementar les pèrdues mecàniques.

L'aplicació de dotze cambres de combustió que compartissin les comportes en lloc de quatre cambres amb dos comportes cada una optimitzaria l'espai i no incrementaria gaire el pes, deixant un valor similar a la relació de compressió. Generaria una cilindrada aproximada de 2'39 litres i permetria la reducció de les dimensions de les vàlvules. Al passar de 8 comportes a 12 s'incrementaria en la mateixa relació les pèrdues degut a les comportes i també incrementarien aproximadament el doble les pèrdues degut a la inèrcia de les vàlvules però en el conjunt incrementaria la potència a càrrega màxima a 500 RPM fins als 14 kW (4'8 kW en el disseny actual) amb un 25'5% de rendiment (18'4% actual), però amb un increment important de peces i per tant també de cost.

Reduir el volum mínim de la cambra de combustió mantenint la relació de compressió permetria poder reduir el desplaçament de les comportes i per tant també les pèrdues generades per aquestes. Les pèrdues degut a la inèrcia de les comportes tenen dependències pròximes al quadrat de la velocitat màxima que assoleixen i aquestes representen el 41% del total de les pèrdues dels mecanismes analitzats a 750 RPM i el 48% a 2000 RPM. Una reducció de la velocitat màxima de la comporta del 10% significa una reducció del 19% de les pèrdues degut a la inèrcia d'aquestes, i un 25% significa un casi un 44% de reducció. A més, la reducció de la velocitat de la comporta afectaria significativament i positivament les pèrdues degut a la fricció entre la comporta i el rotor.

La reducció d'aquest volum mínim es podria assolir reduint el con de l'espai en l'injector o disminuint la longitud de la vàlvula com també, reduint l'espai que hi ha entre les camises del rotor i de l'estator.

Incrementar el gruix de la comporta permetria reduir-ne el pes, el qual també afecta de forma lineal a les pèrdues degudes a la inèrcia d'aquest component.



Es podria millorar el rendiment tèrmic a partir de la incorporació d'un turbocompressor, i per tant incrementar-ne el rendiment general.

Pel que fa a l'estator, es podrien millorar els problemes de resistència i de dificultat de lubricar d'alguns components aplicant una forma de dues seccions (general una similitud de tres blocs) a l'estator. Tot i així, el pes continuaria sent significatiu.

Així doncs, no es pot concloure de forma rotunda, ja que es poden adoptar solucions als diferents problemes i incrementar-ne el rendiment i les prestacions, però difícilment es pugui arribar a les prestacions desitjades i per tan no es creu necessari la necessitat de realitzar-ne més estudis.

# CAPÍTOL 6: BIBLIOGRAFIA

**Robert L. Norton**, *Diseño de Máquinas*, Prentice Hall, 1999.

**J. Agëra Soriano**, *Termodinámica Lógica y Motores Térmicos*, Ed. Ciencia 3 S.L., 1999.

**Robert L. Norton**, *Diseño de Máquinas*, Prentice Hall, 1999.

**P. Orlov**, *Ingeniería de diseño*, Ed. Mir, 1974.

**V. Trigo, J.C. Martín, P.A. Sánchez**, *Automatismos y Cuadros Eléctricos*, Editex, 2004.