

Estudio de la Rigidez Neumática de Suspensiones para Vehículos

Manuel Guijón Amengual

TESI DOCTORAL

presentada al

Departament de Mecànica de Fluids

E.T.S.E.I.T.

Universitat Politècnica de Catalunya

Per a l'obtenció del grau de

Doctor Enginyer Industrial

Terrassa 2006

Estudio de la Rigidez Neumática de Suspensiones para Vehículos

Manuel Guijón Amengual

Directors de la Tesi

Dr. Angel Comas Amengual

Dr. Esteve Codina i Macià

Tribunal Qualificador

President
Universitat

Vocal
Universitat

Vocal
Universitat

Vocal
Universitat

Secretari
Universitat

A sa meva dona,
Iratxe

Agradecimientos:

Deseo expresar mi agradecimiento a D. Angel Comas Amengual, no sólo por sus orientaciones como director de esta Tesis, sino especialmente por su colaboración, dedicación y constante ánimo durante la realización de este trabajo.

En la misma línea quisiera hacer notar mis agradecimientos más sinceros a D. Esteve Codina Macià, como co-director de la Tesis Doctoral y Director del Laboratorio de Sistemas Oleohidráulicos y Neumáticos, por haberme brindado la posibilidad de vivir esta experiencia.

No quisiera olvidar a D. Munir Khamashta Shahin, como sub-director de LABSON y extender mi más sincero agradecimiento a todos los miembros del equipo en general, del cuál me he sentido parte activa durante todo el periplo.

Igualmente quiero agradecer la colaboración prestada, así como su generosa predisposición en todo momento a D. David Huguet Ballester, D. Salvador Bàguena, D. Josep Gràcia Vila, D. Antonio Calvo Larruy, D. Emilio Puig Montada y D. Carlos Río Cano.

Agradecer a l'Agència de Gestió d'Ajuts i de Recerca (AGAUR) de la Generalitat de Catalunya el haberme otorgado la beca FI para la realización de la Tesis Doctoral.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 <i>Motivación</i>	3
1.2 <i>Estado del arte</i>	4
1.3 <i>Objetivos</i>	7
1.4 <i>Metodología</i>	7
2. ESTUDIO PRELIMINAR DE UNA SUSPENSIÓN NEUMÁTICA	12
2.1 <i>Conceptos previos</i>	12
2.2 <i>Metodología clásica</i>	14
2.3 <i>Estudio comparativo</i>	16
3. ECUACIONES GOBERNANTES	25
3.1 <i>Suspensión neumática simple</i>	26
3.2 <i>Suspensión neumática de doble cámara</i>	28
4. CARACTERIZACION DEL FLUIDO DE TRABAJO	30
4.1 <i>Ecuaciones de estado</i>	30
4.2 <i>Ecuación de Lee-Kesler</i>	34
4.3 <i>Propiedades de transporte</i>	39
4.4 <i>Condiciones de trabajo</i>	40
5. ESTUDIO TEÓRICO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA HIPÓTESIS DE GAS REAL EN UN SISTEMA CERRADO	41
5.1 <i>Proceso adiabático</i>	41
5.2 <i>Efecto del factor de compresibilidad</i>	44
6. MODELIZACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE MASA ENTRE DOS CÁMARAS SEPARADAS POR UN ORIFICIO	48
6.1 <i>Flujo isentrópico a través de una tobera convergente. Análisis con gas perfecto</i>	48
6.2 <i>Descarga de un depósito</i>	50
6.3 <i>Flujo de un depósito sobre otro</i>	54
6.4 <i>Flujo isentrópico a través de una tobera convergente. Análisis con gas real e ideal</i>	56
6.5 <i>Conclusiones</i>	60
6.6 <i>Modelo de diagnosis</i>	69
6.7 <i>Unidad experimental</i>	73
6.8 <i>Banco de ensayos para el cálculo del coeficiente de descarga</i>	75
6.9 <i>Síntesis de resultados</i>	78

7. MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	94
7.1 <i>Método de Otis</i>	99
7.2 <i>Método indirecto de evaluación del flujo térmico global e instantáneo</i>	105
7.3 <i>Método de Fourier para la obtención del flujo calorífico local e instantáneo</i>	106
7.4 <i>Transferencia de calor sobre las paredes externas de la suspensión neumática</i>	108
7.5 <i>Conclusiones</i>	110
7.6 <i>Banco de ensayos para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor</i>	111
7.7 <i>Banco de ensayos para suspensiones</i>	112
7.8 <i>Síntesis de resultados</i>	116
8. MODELO DE UNA SUSPENSIÓN NEUMÁTICA	124
8.1 <i>Modelo de predicción</i>	124
8.2 <i>Estimación de la temperatura de la pared</i>	125
8.3 <i>Validación del modelo</i>	128
8.4 <i>Conclusiones</i>	131
9. CONCLUSIONES	154
10. NOMENCLATURA	159
11. REFERENCIAS	161
A.1. APÉNDICE 1. Método de Richmond	164
A.2. APÉNDICE 2. Suavizado de los registros experimentales	166
A.3. APÉNDICE 3. Análisis dimensional	167
A.4. APÉNDICE 4. Regresión multivariable	168
A.5. APÉNDICE 5. Equipo de medida	170