

**OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO
DE SISTEMAS DE SUJECCIÓN PARA VÍAS
DE FERROCARRIL DE ALTA
VELOCIDAD ESPAÑOLA**

Autor:
Isidro A. Carrascal Vaquero

Directores:
Federico Gutiérrez-Solana Salcedo
Juan Antonio Polanco Madrazo





UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

TESIS DOCTORAL

OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE SUJECCIÓN PARA VÍAS DE FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA



Autor: Isidro Alfonso Carrascal Vaquero

**Directores: Federico Gutiérrez-Solana Salcedo
Juan Antonio Polanco Madrazo**

Santander, Mayo 2006

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

TESIS DOCTORAL

**OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO
DE SISTEMAS DE SUJECCIÓN PARA VÍAS DE FERROCARRIL
DE ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA**

ISIDRO ALFONSO CARRASCAL VAQUERO

Santander, Mayo 2006

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

TESIS DOCTORAL

**OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO
DE SISTEMAS DE SUJECCIÓN PARA VÍAS DE FERROCARRIL
DE ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA**

Autor:

ISIDRO ALFONSO CARRASCAL VAQUERO

Directores:

D. FEDERICO GUTIÉRREZ-SOLANA SALCEDO

D. JUAN ANTONIO POLANCO MADRAZO

**Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Cantabria para la
obtención del título de Doctor**

Santander, Mayo 2006

A Mariló, Marco y Saúl

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de todos estos años en los que ha nacido y ha ido madurando mi labor investigadora he adquirido diversos conocimientos de entre los que destacaría el saber que sin el trabajo en equipo este proyecto no hubiese salido adelante. Por todo ello, me gustaría expresar mi agradecimiento a todas las personas que directa o indirectamente se han involucrado en el desarrollo de la presente Tesis.

A los profesores Juan Antonio Polanco y Federico Gutiérrez-Solana por haberme ofrecido la oportunidad de trabajar con ellos, por su labor de dirección, por haber puesto a mi disposición los medios tanto humanos como materiales que he necesitado, por el magnífico ambiente en el que se ha desarrollado el trabajo y, sobre todo, por su amistad.

Al profesor y amigo José Antonio Casado por su continua ayuda desinteresada en este trabajo, por su disponibilidad en todo momento y por haber conseguido hacer las largas horas de ensayo más divertidas y llevaderas.

Al profesor José María Varona por su inestimable ayuda con los desarrollos teóricos encaminados a la búsqueda de la energía disipada y almacenada en la fatiga de un polímero.

A todos mis compañeros del Grupo de Materiales (LADICIM) de la Universidad de Cantabria, que siempre han estado cerca cuando les he pedido ayuda, o simplemente por las agradables conversaciones compartidas durante 15 minutos diariamente detrás de una taza de café: Jesús Setién, Luciano Sánchez, José Alberto Álvarez, Jaime Carpio, Carlos Gallo, Ainhoa de Carlos, Ana Saiz, Diego Ferrreño e Irene Aizpurúa (pido perdón si alguno se me ha quedado en el tintero).

A los ayudantes de laboratorio Manual Solana, Alfredo García y Javier Laguillo sin cuya habilidad y maestría a la hora de preparar los diferentes ensayos de laboratorio se habría retrasado enormemente el trabajo experimental.

No quiero olvidarme en estos momentos de mi familia. De mi esposa Mariló que ha tenido que soportarme en los momentos menos buenos y que siempre ha supuesto mi principal apoyo para seguir adelante. De mis dos hijos, Marco y Saúl, que han colmado por completo mi vida. Y de mis padres, Cipriano y Felisa, y mi hermana Pili, gracias a cuyo sacrificio he podido realizar mis estudios y esta Tesis.

La presente Tesis se engloba en el marco de las acciones estratégicas del área sectorial de construcción civil y conservación del patrimonio histórico cultural del Plan Nacional de Investigación Científica: Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003 del Ministerio de Fomento.

Se desea agradecer a las siguientes entidades, tanto públicas como privadas, el apoyo prestado durante el desarrollo del trabajo:

- ADIF (Durante el desarrollo de la Tesis GIF y Departamento de Mantenimiento de Infraestructura de Jefatura de Vía de RENFE)
- ALVISTRANVI, S.A.
- ARIES INDUSTRIAS DEL PLÁSTICO, S. A.
- CEBUTOR, S. L. INDUSTRIA TRANSFORMADORA DE PLÁSTICO
- DRACE, DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES ESPECIALES S.A.
- DSM
- DU PONT
- DYF, DESARROLLOS Y FABRICACIÓN, S. A.
- EFESA
- IBEROFÓN PLÁSTICOS, S. A.
- INDUSTRIAS LANEKO S.A.L. (DIVISIÓN TORNILLERÍA)
- MECÁNICAS ARRASATE
- MINISTERIO DE FOMENTO
- MOLTEPLAS, MOLDEADOR TECNICO DE PLÁSTICO
- MONDRAGON PLÁSTICOS, S. A.
- ORBELÁN
- PRECON, PREFABRICACIÓN Y CONTRATAS, S.A.
- PREFABRICADOS DELTA, S.A.
- RAILTECH (SUFETRA-TRANOSA)
- REDALSA, S.A.
- SUJECIONES DE VÍA, S.L.
- TIFSA, TECNOLOGÍA E INVESTIGACIÓN FERROVIARIA, S.A.
- TRAVIPOS S.A, SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA
- TYPASA, TUBERIAS Y PREFABRICADOS, S.A.
- YONIX Y RETSACOAT, S.L.

Resumen:

Los nuevos ferrocarriles de Alta Velocidad Española (AVE) suponen, respecto a su predecesor, la línea Madrid-Sevilla, un incremento en la velocidad máxima, pasando de los 280-300 km/h de la línea original a los 350 km/h que se pretende alcanzar en los nuevos trazados. Este incremento de velocidad origina mayores solicitaciones que afectan a la superestructura de la vía y, por ello, se hace necesario un redimensionado de todos los parámetros de diseño del trazado. Entre los componentes de la superestructura se encuentra el sistema de sujeción. Este sistema está constituido por un conjunto de pequeños elementos de vía que fijan el carril a la traviesa dando continuidad estructural a la vía. El sistema de sujeción cobra mayor importancia debido a este incremento de los esfuerzos originado por el aumento de las velocidades, convirtiéndose en un elemento clave de la superestructura de vía.

Esta Tesis, pretende, en primer lugar, encontrar el sistema óptimo de sujeción que se adapte a las exigencias establecidas por la administración en el "Pliego de bases para el suministro de sujeciones" para ferrocarriles de alta velocidad. En segundo lugar, una vez definido el sistema, analizar el comportamiento de la sujeción, tanto desde el punto de vista individual de cada componente, como desde el punto de vista global. Este análisis incluye la totalidad de propiedades importantes del sistema, desde las mecánicas, ya sean estáticas o dinámicas, hasta las eléctricas, pasando, entre otras, por las de durabilidad y deterioro. También, se estudiarán las posibles variaciones sufridas por estas propiedades en función de parámetros externos, como pueden ser los de carácter ambiental, e internos propios del sistema de sujeción.

Abstract:

The new Spanish High Speed Railways (AVE) involve, regarding its predecessor, Madrid-Seville line, an increase in the maximum speed, going from 280-300 km / h of the original line to 350 km / h that expects in the new routes. This speedup produces greater efforts that affect the superstructure of the track and, therefore, resizing of all design parameters of the track is required. The fastening system is among the components of the superstructure. This system is made up of a set of small track pieces that fasten the rail to the sleeper giving structural continuity to the track. The fastening system is becoming more important because of this greater efforts caused by the increased speeds, becoming a key element of the track superstructure.

The aim of this thesis is, first, to find the optimum fastening system that well suits the requirements set by the administration in the "Terms for the supply of fasteners" for high speed railways. Secondly, this thesis, once the system has defined; analyzes the behaviour of the fastening, both from the point of view of individual component, and from a global perspective. This analysis includes all the important properties of the system, from the mechanical properties, whether static or dynamic, to the electrical properties, besides the hardness and deterioration. Also, the possible changes undergone for these properties depending of external parameters, such as the environmental measure, and own internal parameters of the fastening system were studied.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	7
3. Planteamiento de la tesis.....	8

CAPÍTULO 2: LA SUJECIÓN

1. Generalidades	13
2. Sujeción: definición, funciones y características	14
3. Componentes y clasificación de las sujeciones	17
3.1. Clasificación de las sujeciones atendiendo a los elementos que la constituyen y su colocación	18
3.2. Clasificación de las sujeciones atendiendo a la naturaleza de los elementos básicos	20
3.3. Clasificación de las sujeciones atendiendo a la forma de trabajo.....	21
4. Principales sistemas de sujeciones empleados en la actualidad en España	22
4.1. Sujeción RN	22
4.2. Sujeción P-2.....	25
4.3. Sujeción J-2	28
4.4. Sujeción Nabla	30
4.5. Sujeción Pandrol	33
4.6. Sujeción HM (SKL 1).....	38

CAPÍTULO 3: MECÁNICA DE LA SUJECIÓN

1. Generalidades	41
2. Comportamiento del vehículo en curva. Influencia de la velocidad en los esfuerzos	42
3. Naturaleza de los esfuerzos aplicados sobre la sujeción	52
3.1. Esfuerzos verticales	53
3.2. Esfuerzos transversales	55
3.3. Esfuerzos longitudinales	56
3.3.1. Fuerzas por temperatura.....	56
3.3.2. Fluencia en la vía.....	58

3.3.3.	Carga de frenado.....	59
3.4.	Esfuerzos dinámicos	59
3.5.	Condiciones de diseño	61
3.5.1.	Condiciones de seguridad	61
3.5.1.1.	Riesgo de vuelco	61
3.5.1.2.	Riesgo de descarrilamiento.....	62
3.5.1.3.	Riesgo de ripado o desplazamiento lateral de la vía	63
3.5.2.	Condiciones de comodidad.....	63
3.5.2.1.	Aceleraciones verticales.	64
3.5.2.2.	Aceleraciones transversales	64
4.	Esfuerzos medidos en la sujeción	65
4.1.	Estudios previos	65
4.1.1.	Separación de la vía no cargada	66
4.1.2.	Fuerzas vertical y ejercidas por la rueda sobre el carril	70
4.1.3.	Variación de fuerza de apriete de los tirafondos al paso de cargas rodantes, $ \Delta F_T $	72
4.2.	Mediciones en alta velocidad.....	79
4.2.1.	Mediciones sobre el vehículo	80
4.2.2.	Mediciones sobre la superestructura.....	82
4.2.2.1.	Desplazamiento transversal entre patín y traviesa	84
4.2.2.2.	Desplazamiento transversal entre cabeza de carril y traviesa	85
4.2.2.3.	Desplazamiento vertical del patín exterior respecto a la traviesa	86
4.2.2.4.	Desplazamiento vertical del patín interior respecto a la traviesa	87
4.2.2.5.	Torsión máxima del carril.....	88
4.2.2.6.	Desplazamiento vertical entre la traviesa y el suelo	89
4.2.2.7.	Aceleración vertical en centro de traviesa.....	91
4.2.2.8.	Aceleración vertical y transversal de la cabeza del carril.....	91
5.	Influencia de la velocidad en el deterioro de la vía.....	92
5.1.	Relación de la sujeción con el deterioro de la vía	94

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA EMPLEADA PAA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA SUJECIÓN

1	Generalidades	99
2	Ensayos sobre el elemento muelle	100

2.1	Fuerza de apriete	100
2.1.1	Justificación del ensayo	100
2.1.2	Metodología	101
2.1.2.1	Descripción del ensayo según norma	101
2.1.2.2	Metodología experimental adoptada	102
2.1.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo ...	104
2.1.2.4	Parámetros de ensayo	105
2.1.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	105
3	Ensayos sobre el elemento de anclaje	106
3.1	Carga vertical	106
3.1.1	Justificación del ensayo	106
3.1.2	Metodología	106
3.1.2.1	Descripción del ensayo según norma	106
3.1.2.2	Metodología experimental adoptada	107
3.1.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo ...	108
3.1.2.4	Parámetros de ensayo	108
3.1.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	109
4	Ensayos sobre el elemento de apoyo, o placa de asiento	110
4.1	Rigidez vertical secante estática	110
4.1.1	Justificación de los ensayos	110
4.1.2	Metodología	110
4.1.2.1	Descripción del ensayo según norma	110
4.1.2.2	Metodología experimental adoptada	111
4.1.2.3	Equipamiento necesario para la realización de los ensayos	112
4.1.2.4	Parámetros de ensayo	113
4.1.2.4.1	Rigidez vertical a 80 kN	113
4.1.2.4.2	Rigidez vertical secante P_0/P_0+75	113
4.1.2.4.3	Rigidez vertical secante 100/200 kN	114
4.1.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	114
4.2	Rigidez dinámica a baja frecuencia	116
4.2.1	Justificación del ensayo	116
4.2.2	Metodología	116
4.2.2.1	Descripción del ensayo según norma	116
4.2.2.2	Metodología experimental adoptada	116
4.2.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo ...	117
4.2.2.4	Parámetros de ensayo	118

4.2.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	118
4.3	Atenuación de impactos	119
4.3.1	Justificación del ensayo	119
4.3.2	Metodología	120
4.3.2.1	Descripción del ensayo según norma	120
4.3.2.2	Metodología experimental adoptada	121
4.3.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo... ..	123
4.3.2.4	Parámetros de ensayo	124
4.3.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	125
5	Ensayos sobre el conjunto de la sujeción	126
5.1	Ensayo de resistencia al deslizamiento longitudinal	126
5.1.1	Justificación del ensayo	126
5.1.2	Metodología	126
5.1.2.1	Descripción del ensayo según norma	126
5.1.2.2	Metodología experimental adoptada	127
5.1.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo... ..	129
5.1.2.4	Parámetros de ensayo	130
5.1.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	130
5.2	Ensayo de resistencia a la torsión	132
5.2.1	Justificación del ensayo	132
5.2.2	Metodología	132
5.2.2.1	Descripción del ensayo según norma	132
5.2.2.2	Metodología experimental adoptada	133
5.2.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo... ..	135
5.2.2.4	Parámetros de ensayo	135
5.2.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	136
5.3	Ensayo dinámico de carga inclinada	137
5.3.1	Justificación del ensayo	137
5.3.2	Metodología	138
5.3.2.1	Descripción del ensayo según norma	138
5.3.2.2	Metodología experimental propuesta	141
5.3.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo... ..	145
5.3.2.4	Pparámetros de ensayo	145
5.3.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	146
5.4	Ensayo de resistencia eléctrica	147

5.4.1	Justificación del ensayo	147
5.4.2	Metodología	147
5.4.2.1	Descripción del ensayo según norma	147
5.4.2.2	Metodología experimental propuesta	149
5.4.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo... ..	151
5.4.2.4	Parámetros de ensayo	151
5.4.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	152
5.5	Ensayo de resistencia a las condiciones ambientales adversas	152
5.5.1	Justificación del ensayo	152
5.5.2	Metodología	152
5.5.2.1	Descripción del ensayo según norma	152
5.5.2.2	Metodología experimental adoptada	153
5.5.2.3	Equipamiento necesario para la realización del ensayo... ..	154
5.5.2.4	Parámetros de ensayo	154
5.5.3	Resultado obtenido y valor límite indicado en la especificación	154

CAPÍTULO 5: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECIÓN: OPCIONES Y CARACTERIZACIÓN

1.	Generalidades	157
2.	Descripción del sistema de sujeción de la línea Madrid-Sevilla	159
3.	Descripción de las diferentes soluciones estudiadas inicialmente para el sistema de sujeción de la línea de alta velocidad.....	160
3.1.	Modificaciones propuestas a la sujeción HM.....	160
3.1.1.	Clip elástico	160
3.1.2.	Anclaje	164
3.1.3.	Placa acodada	171
3.1.4.	Placa de asiento	176
3.2.	Sujeción SKL-14	179
3.3.	Modificaciones de la traviesa respecto a la línea Madrid-Sevilla	181
4.	Caracterización de las diferentes configuraciones de sujeción	187
4.1.	Configuración nº 1	188
4.2.	Configuración nº 2.....	189
4.3.	Configuración nº 3.....	194
4.4.	Configuración nº 4.....	199
4.5.	Configuración nº 5.....	204

4.6.	Configuración nº 6.....	205
4.7.	Configuración nº 7.....	206
4.8.	Configuración nº 8.....	212
4.9.	Configuración nº 9.....	217
4.10.	Resumen de los resultados obtenidos con las diferentes configuraciones.....	218

CAPÍTULO 6: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECIÓN: ANÁLISIS DE RESULTADOS

1.	Introducción.....	221
2.	Análisis por ensayo.....	222
2.1.	Fuerza de apriete.....	222
2.1.1.	Anclaje.....	222
2.1.2.	Placa acodada.....	223
2.1.3.	Placa de asiento.....	225
2.1.4.	Clip.....	226
2.2.	Rigideces.....	226
2.3.	Resistencia al deslizamiento longitudinal.....	229
2.4.	Ensayo dinámico de carga inclinada.....	230
2.4.1.	Fuerza de apriete.....	230
2.4.2.	Resistencia al deslizamiento longitudinal.....	231
2.4.3.	Rigideces.....	232
2.4.4.	Medidas directas del ensayo dinámico.....	233
2.5.	Atenuación de impactos.....	237
2.6.	Carga vertical.....	238
2.7.	Resistencia a la torsión.....	241
2.8.	Resistencia eléctrica.....	243
2.8.1.	Anclaje.....	243
2.8.2.	Clip.....	244
2.8.3.	Ensayos específicos.....	244
2.9.	Condiciones ambientales adversas.....	260
3.	Optimización del sistema de sujeción.....	270
3.1.	Optimización del anclaje.....	270
3.1.1.	Conclusiones sobre el anclaje.....	273
3.2.	Optimización de la placa acodada.....	274
3.2.1.	Ensayos comparativos sobre pieza acodada aislada.....	275
3.2.2.	Conclusiones sobre la placa acodada.....	283
3.3.	Optimización de la placa de asiento.....	285

3.3.1.	Conclusiones sobre la placa de asiento	286
3.3.2.	Comparación de las placas de asiento de tpee con otras placas En servicio	287
3.4.	Optimización del clip elástico	292
3.4.1.	Ensayos comparativos sobre clip.....	293
3.4.2.	Conclusiones sobre el clip	299
4.	Sistema de sujeción óptimo.....	299

CAPÍTULO 7: CONTROL DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUJECIÓN

1.	Generalidades	301
2.	Placa acodada.....	302
2.1.	Comportamiento estático	304
2.1.1.	Influencia del contenido de humedad en el comportamiento estático	304
2.1.2.	Influencia del par de apriete en el comportamiento estático.....	309
2.1.3.	Influencia del deterioro por fatiga en el comportamiento estático	311
2.2.	Resistencia al impacto	312
2.2.1.	Influencia del contenido de humedad en la resistencia al impacto	312
2.2.2.	Influencia del par de apriete en la resistencia al impacto	316
2.2.3.	Influencia del deterioro por fatiga en la resistencia al impacto ..	317
2.3.	Comportamiento en fatiga	318
2.3.1.1.	Influencia del contenido de humedad en el comportamiento en fatiga de la placa acodada.....	319
2.3.1.2.	Influencia del par de apriete en el comportamiento en fatiga de la placa acodada.....	328
3.	Placa asiento.....	333
3.1.	Influencia de la temperatura en el comportamiento estático.....	334
3.2.	Comportamiento dinámico.....	338
3.2.1.	Influencia de la temperatura.....	338
3.2.2.	Influencia del deterioro por fatiga.....	342
3.2.2.1.	Influencia de la rigidez inicial de la placa	346
3.2.2.2.	Influencia del envejecimiento ambiental.....	349
4.	Anclaje.....	356

4.1.	Vaina.....	356
4.1.1.	Caracterización de las vainas ante esfuerzos estáticos	359
4.1.2.	Caracterización de las vainas ante esfuerzos de impacto	361
4.1.3.	Caracterización de las vainas ante esfuerzos de fatiga.....	362
4.2.	Tornillo	367
4.2.1.	Caracterización en tracción.....	367
4.2.2.	Caracterización en doblado.....	371
4.2.3.	Caracterización frente al impacto.....	372
5.	Clip elástico	375

CAPÍTULO 8: CONTROL DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN

1.	Generalidades	381
2.	Caracterización de nuevas configuraciones con componentes optimizados	382
2.1.	Configuración nº 10.....	383
2.2.	Configuración nº 11	385
2.3.	Configuración nº 12.....	387
2.4.	Configuración nº 13.....	391
2.5.	Configuración nº 14	394
2.6.	Configuración nº 15.....	396
2.7.	Configuración nº 16.....	399
2.8.	Resumen de configuraciones	402
3.	Análisis de los resultados obtenidos en las configuraciones con anclaje tipo vape.....	403
3.1.	Fuerza de apriete	403
3.1.1.	Ensayos específicos sobre la geometría de la placa acodada ..	408
3.2.	Resistencia al deslizamiento longitudinal.....	412
3.3.	Comportamiento dinámico.....	413
3.3.1.	Fuerza de apriete.....	414
3.3.2.	Resistencia el deslizamiento	416
3.3.3.	Variación de la placa de asiento	417
3.3.4.	Desplazamientos del carril	420
4.	Fuerzas sobre el anclaje.....	424
4.1.	Calibración del sistema	425
4.2.	Esfuerzos sufridos por el anclaje ante una sollicitación estática	429
4.3.	Esfuerzos sufridos por el anclaje ante una sollicitación de impacto ..	430
4.4.	Esfuerzos sufridos por el anclaje ante una sollicitación de fatiga	432

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

1.	Resumen del trabajo realizado	440
2.	Conclusiones de la investigación desarrollada	441
2.1.	Conclusiones relativas a la especificación técnica	441
2.2.	Conclusiones acerca de la optimización del sistema de sujeción	444
2.3.	Conclusiones relativas al comportamiento del sistema de sujeción..	447
2.3.1.	Conclusiones respecto al comportamiento de los componentes individuales del sistema de sujeción.	448
2.3.1.1.	Placa acodada A2.....	448
2.3.1.2.	Placa de asiento	449
2.3.1.3.	Anclaje.....	451
2.3.1.4.1	Vaina.....	451
2.3.1.4.2	Tornillo	452
2.3.1.4.	Clip	452
2.3.2.	Conclusiones respecto al comportamiento del sistema de sujeción	453
2.4.	Conclusiones adicionales	455
2.4.1.	Respecto a la influencia del contenido de humedad en el comportamiento de la Poliamida 6.	455
2.4.2.	Respecto a la determinación del fallo por fatiga en base a consideraciones energéticas.....	457
3.	Lineas de investigacion y trabajo aplicado propuesto	459
	BIBLIOGRAFÍA.....	463

ANEXO I: GRAFICAS OBTENIDAS EN LAS PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUJECIÓN

1.	Configuración 1 (c1)	AI.2
2.	Configuración 2 (c2)	AI.3
3.	Configuración 3 (c3)	AI.8
4.	Configuración 4 (c4)	AI.13
5.	Configuración 5 (c5)	AI.18
6.	Configuración 6 (c6)	AI.19
7.	Configuración 7 (c7)	AI.20
8.	Configuración 8 (c8)	AI.25
9.	Configuración 9 (C9)	AI.30

**ANEXO II: INFLUENCIA DE LA HMEEDAD EN LA POLIAMIDA REFORZADA
CON FIBRA DE VIDRIO**

1.	Introducción	AII.1
2.	Absorción y difusión de agua en la poliamida reforzada con fibra de vidrio	AII.6
3.	Influencia del contenido de humedad en el comportamiento mecánico de la poliamida 6	AII.18
3.1.	Comportamiento a tracción (estático y dinámico)	AII.18
3.2.	Comportamiento en fatiga	AII.21
3.3.	Comportamiento en fluencia.....	AII.31
4.	Influencia del contenido de humedad en la estabilidad dimensional de la poliamida 6	AII.44
5.	Influencia del contenido de humedad en el comportamiento eléctrico de la poliamida 6	AII.46

**ANEXO III: DETERMINACIÓN DEL FALLO POR FATIGA EN BASE A
CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS**

1.	Introducción	AIII.1
2.	Análisis teórico para nivel medio igual a cero	AIII.2
3.	Estudio teórico para el caso de nivel medio distinto de cero.....	AIII.4
4.	Desarrollo experimental del modelo.....	AIII.8

**ANEXO IV: GRAFICAS OBTENIDAS EN LAS PRUEBAS DE CONTROL DEL
COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN**

1.	Configuración 3 (c3)	AIV.2
2.	Configuración 4 (c4)	AIV.2
3.	Configuración 7 (c7)	AIV.2
4.	Configuración 10 (c10)	AIV.2
5.	Configuración 11 (c11)	AIV.4
6.	Configuración 12 (c12)	AIV.6
7.	Configuración 13 (c13)	AIV.9
8.	Configuración 14 (c14)	AIV.12
9.	Configuración 15 (c15)	AIV.14
10.	Configuración 16 (c16)	AIV.16