



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA
INDUSTRIAL DE BILBAO**



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2013 / 2014

*SUSPENSIÓN TRASERA REGULABLE DE UNA MOTO DE
COMPETICIÓN: ALTERNATIVA FULL FLOATER*

ÍNDICE

DATOS DEL ALUMNO

NOMBRE: ANDONI

APELLIDOS: JURADO PINTO

FDO.:

FECHA: 2 DE JULIO DE 2014

DATOS DEL DIRECTOR

NOMBRE: MIKEL

APELLIDOS: ABASOLO BILBAO

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA: 2 DE JULIO DE 2014

INDICE

1. DOCUMENTO 2.: RESUMEN	2
2. DOCUMENTO 3. MEMORIA	3
3. DOCUMUENTO 4.: BIBLIOGRAFÍA	9
4. DOCUMENTO 5.1.: ANEXO PLANOS	10
5. DOCUMENTO 5.2.: ANEXO CÁLCULOS	11

1. DOCUMENTO 2.: RESUMEN

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	2
2. CÁLCULOS Y RESULTADOS	3

2. DOCUMENTO 3: MEMORIA

1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	7
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
3. ALCANCE	15
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	18
4.1. Dimensiones	18
4.2. Peso	20
4.3. Suspensión trasera	20
4.4. Basculante	21
4.5. Llanta trasera	22
4.6. Otros	22
5. LA SUSPENSIÓN	23
5.1. Introducción	23
5.1.1. Muelle	24
5.1.2. Amortiguador	25
5.2. Frecuencia de la suspensión	26
5.3. Hundimiento del muelle	28
5.4. Modelos de suspensión de 4 gdl	29
6. LA SUSPENSIÓN TRASERA	30
6.1. Una buena suspensión trasera: curva de rigidez	30
6.2. Alternativas o Tipos de suspensión trasera	32
6.2.1. Sistema Plunger	32
6.2.2. Sistema de conexión directa resorte-amortiguador con basculante	32
6.2.2.1. Sistema Clásico	34
6.2.2.2. Sistema Cantiléver	35

6.2.3. Sistema de bieletas	35
6.2.3.1. Sistema Unitrak	36
6.2.3.2. Sistema Pro-link	40
6.2.3.3. Sistema Full Floater	41
6.3. Solución adoptada	44
6.4. Fuerzas y rigidez reducida	45
7. LA SUSPENSIÓN TRASERA CLÁSICA	47
7.1. Cálculo matemático de la ecuación de la fuerza F y de la rigidez reducida kr para el sistema Clásico	47
7.1.1. Cálculo estático	48
7.1.2. Cálculo cinemático	49
7.1.3. Cálculo de la rigidez reducida kr	50
7.1.4. Relación de velocidades τ en función de los parámetros del sistema θ , OP, X_B , Y_B y L	51
7.2. Simulación por ordenador del sistema clásico	54
7.2.1. Estudios realizados	54
7.2.1.1. Estudio con velocidades	54
7.2.1.2. Estudio con fórmula	56
7.2.1.3. Estudio con fuerzas	57
8. LA SUSPENSIÓN TRASERA FULL FLOATER	60
8.1. Cálculo matemático de la ecuación de la fuerza F y de la rigidez reducida kr para el sistema Full Floater	60
8.1.1. Cálculo estático	64
8.1.2. Cálculo cinemático	62
8.2. Cálculo del centro de gravedad	66
8.3. Cálculo de la carga más desfavorable	69
8.4. Simulación por ordenador del sistema Full Floater	72

8.4.1. Estudio de alternativas	73
8.4.1.1. Primer resultado	73
8.4.1.2. Segundo resultado	74
8.4.1.3. Tercer resultado	75
8.4.1.4. Cuarto resultado	76
8.4.1.5. Quinto resultado	77
8.4.2. Resultado final	78
8.4.2.1. Modo de elección de la suspensión final	78
8.4.2.2. Elección final	79
8.4.2.3. Curva de rigidez para la elección final	80
8.4.2.4. Geometría inicial para la elección final	82
8.4.2.5. Fuerzas para la elección final	83
8.5. Estudio de las piezas	87
8.5.1. Triángulo de suspensión	87
8.5.1.1. Formas de fijación axial de los elementos auxiliares (rodamientos y rótulas)	87
8.5.1.2. Selección de los elementos auxiliares para el triángulo	89
8.5.1.2.1. Centro de rotación del balancín (Punto T)	89
8.5.1.2.2. Unión de la bieleta con el triángulo (Punto E)	92
8.5.1.2.3. Unión de la unidad resorte - amortiguador con el triángulo (Punto D)	95
8.5.1.3. Tipo de análisis por elementos finitos para todas las piezas	97
8.5.1.4. Simulación del triángulo de suspensión	98
8.5.1.4.1. Análisis del triángulo final con Inertia Relief	99
8.5.1.4.2. Análisis del triángulo final con restricciones en los apoyos	101

8.5.2. Bieleta	103
8.5.2.1. Selección de los elementos auxiliares de la bieleta	104
8.5.2.2. Simulación de la horquilla de la bieleta	107
8.5.2.2.1. Estudio de pandeo de la horquilla	108
8.5.2.2.2. Resultado final de la simulación de la horquilla	112
8.5.2.3. Simulación del tensor de la bieleta	115
8.5.2.4. Dimensionamiento de la unión bieleta - balancín	116
8.5.3. Unidad Resorte - amortiguador	123
8.5.3.1. Dimensionamiento de la unión muelle - balancín	123
8.5.4. Ilustración final bieleta - triángulo - muelle	128
9. EL BASCULANTE	129
9.1. Introducción	129
9.2. Tipos de basculante	130
9.2.1. Punto de vista funcional	130
9.2.1.1. Basculante Monobrazo	130
9.2.1.2. Basculante Doble brazo	131
9.2.2. Punto de vista constructivo	131
9.2.2.1. Basculante con tubos de acero soldados	132
9.2.2.2. Basculante de aluminio: mecanizado	132
9.2.2.3. Basculante de aluminio: fundición más mecanizado	133
9.2.2.4. Basculante de aluminio: soldado	133
9.3. Tipos de diseño	134
9.3.1. Diseño global	135
9.3.1.1. Rigidez longitudinal	135
9.3.1.2. Rigidez torsional	136
9.3.1.3. Rigidez a flexión	137
9.3.1.4. Rigidez lateral	138
9.3.2. Diseño a detalle	138

9.4.	Diseño preliminar del basculante	139
9.4.1.	Elección del basculante	139
9.4.2.	Estudio de rigideces	142
9.4.2.1.	Rigidez longitudinal	143
9.4.2.2.	Rigidez torsional	144
9.4.2.3.	Rigidez a flexión	146
9.4.2.4.	Rigidez lateral	147
9.4.3.	Estudio de las orejas: resistencia	149
9.4.3.1.	Oreja final de unión a la bieleta	149
9.4.3.2.	Oreja final de unión al muelle	150
9.4.3.3.	Resultado del análisis final	152
9.4.4.	Uniones	154
9.4.4.1.	Dimensionamiento de la unión basculante - bieleta	154
9.4.4.2.	Dimensionamiento de la unión basculante - muelle	158
10.	PROCESO DE FABRICACIÓN	162
10.1.	Procesos de fabricación	162
10.1.1.	Soldadura por arco TIG	162
10.1.2.	Procesos de mecanizado	163
10.1.2.1.	Torneado	164
10.1.2.2.	Taladrado	165
10.1.2.3.	Fresado	166
10.1.2.4.	Corte por laser	167
10.1.2.5.	Corte por agua	168
10.2.	Fabricación de los componentes	169
10.2.1.	Casquillos	169
10.2.2.	Triángulo de suspensión	171
10.2.3.	Tensor	172
10.2.4.	Horquilla	174

10.2.5.	Basculante	175
10.2.6.	Orejas	177
11.ILUSTRACIÓN FINAL DEL CONJUNTO		178
12.PLANIFICACIÓN		183
12.1.	Fase 1: Familiarización con el problema a tratar	183
12.2.	Fase 2: Familiarización con los medios a utilizar	183
12.2.1.	Definir la geometría de la suspensión Clásica	184
12.2.2.	Análisis de mecanismos para la suspensión clásica	184
12.3.	Fase 3: Encontrar la curva de rigidez para la suspensión Full Floater	184
12.4.	Fase 4: Diseño de la suspensión Full Floater	185
12.4.1.	Diseño del triángulo de suspensión	185
12.4.2.	Diseño de la bieleta	185
12.4.3.	Diseño del muelle (unión al triángulo)	186
12.5.	Fase 5: Diseñar el basculante	186
12.6.	Fase 6: Definir el proceso de fabricación	187
13.VALORACIONES GENERALES Y LÍNEAS FUTURAS		188

3. DOCUMENTO 4.: BIBLIOGRAFÍA

1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	2
1.1. Libros y catálogos	2
1.2. Páginas web	2
1.3. Apuntes de asignaturas	2
2. PROGRAMAS INFORMÁTICOS	4

4. DOCUMENTO 5.1.: ANEXO PLANOS

1. INTRODUCCIÓN		2
2. PLANO DE CONJUNTO	DIN A2	3
3. BIELETA	DIN A3	4
4. HORQUILLA	DIN A4	5
5. TENSOR	DIN A4	6
6. TRIÁNGULO DE SUSPENSIÓN	DIN A3	7
7. CASQUILLOS	DIN A4	8

5. DOCUMENTO 5.2.: ANEXO CÁLCULOS

1. INTRODUCCIÓN	6
2. SISTEMA CLÁSICO	7
2.1. Cálculo de la curva de rigidez para el sistema clásico	7
2.1.1.Paso 1: Definir piezas	8
2.1.2.Paso2: Definir el mecanismo	9
2.1.3.Paso 3: Definir análisis de mecanismos	11
2.1.4.Paso 4: Estudio en Ansys	15
2.1.5.Paso 5: Excel	18
2.1.5.1. Rigidez reducida con velocidades	18
2.1.5.2. Rigidez reducida con fórmula	22
2.1.5.3. Rigidez reducida con fuerzas en Creo	26
2.1.5.4. Rigidez reducida con fuerzas en Ansys	28
2.1.5.5. Rigidez reducida con fórmula completa	30
3. SISTEMA FULL FLOATER	32
3.1. Cálculo de la curva de rigidez para el sistema Full Floater	32
3.1.1.Paso 1: definir piezas	33
3.1.2.Paso 2: Definir el mecanismo	34
3.1.3.Paso 3: Definir análisis de mecanismos	36
3.1.4.Paso 4: Variaciones en las piezas	39
3.1.4.1. Variando el basculante (Swing arm)	40
3.1.4.2. Variando el triángulo de suspensión (Rocker arm)	50
3.1.4.3. Variando la bieleta (Connecting rod)	58
3.1.5.Paso 5: Resultado de las alternativas y del modelo escogido	61

3.1.5.1.	Primer resultado	61
3.1.5.1.1.	Estudio con velocidades	61
3.1.5.1.2.	Estudio con fórmula	62
3.1.5.1.3.	Estudio con fuerzas	62
3.1.5.1.4.	Otros estudios	63
3.1.5.2.	Segundo resultado	65
3.1.5.2.1.	Estudio con velocidades	66
3.1.5.2.2.	Estudio con fórmula	66
3.1.5.2.3.	Estudio con fuerzas	67
3.1.5.2.4.	Otros estudios	68
3.1.5.3.	Tercer resultado	70
3.1.5.3.1.	Estudio con velocidades	70
3.1.5.3.2.	Estudio con fórmula	71
3.1.5.3.3.	Estudio con fuerzas	71
3.1.5.3.4.	Otros estudios	72
3.1.5.4.	Cuarto resultado	74
3.1.5.4.1.	Estudio con velocidades	74
3.1.5.4.2.	Estudio con fórmula	75
3.1.5.4.3.	Estudio con fuerzas	76
3.1.5.4.4.	Otros estudios	76
3.1.5.5.	Quinto resultado o resultado final	78
3.1.5.5.1.	Estudio con velocidades	79
3.1.5.5.2.	Estudio con fórmula	79
3.1.5.5.3.	Estudio con fuerzas	80

3.1.5.5.4.	Otros estudios	81
3.1.5.5.5.	Excel del resultado final Full Floater	83
3.2.	Simulación por EF de las piezas	86
3.2.1.	Triángulo de suspensión	86
3.2.1.1.	Simulación del triángulo	86
3.2.1.1.1.	Obtener las fuerzas	86
3.2.1.1.2.	Material	87
3.2.1.1.3.	Mallado	87
3.2.1.1.4.	Restricciones y análisis (Inertia Relief)	88
3.2.1.1.5.	Restricciones y análisis (estudio con restricciones)	89
3.2.1.2.	Variaciones del triángulo	91
3.2.1.3.	Resultado final	94
3.2.1.3.1.	Análisis del triángulo final con el método Inertia Relief	95
3.2.1.3.2.	Análisis del triángulo final con restricciones en los apoyos	96
3.2.2.	Bieleta	97
3.2.2.1.	Simulación de la horquilla	97
3.2.2.1.1.	Definir la geometría	97
3.2.2.1.2.	Material	98
3.2.2.1.3.	Mallado	98
3.2.2.1.4.	Restricciones	98
3.2.2.1.5.	Fuerza	99
3.2.2.1.6.	Análisis estático lineal	99
3.2.2.1.7.	Análisis de pandeo	100
3.2.2.2.	Variaciones de la horquilla	101

3.2.2.3.	Resultado final de la horquilla	106
3.2.2.4.	Simulación del tensor	109
3.2.2.4.1.	Definir la geometría	109
3.2.2.4.2.	Material	109
3.2.2.4.3.	Mallado	109
3.2.2.4.4.	Restricciones	110
3.2.2.4.5.	Fuerza	110
3.2.2.4.6.	Análisis	110
3.2.2.5.	Variaciones del tensor	111
3.2.2.6.	Resultado final del tensor	113
3.2.3.	Resultado final del triángulo, la bieleta y el muelle	115
4.	EL BASCULANTE	116
4.1.	Diseño global del basculante: rigidez	116
4.1.1.	Simulación global del basculante	116
4.1.1.1.	Definir la geometría	116
4.1.1.2.	Material	116
4.1.1.3.	Mallado	117
4.1.1.4.	Restricciones	117
4.1.1.5.	Fuerzas	117
4.1.1.6.	Rigid link	119
4.1.1.7.	Análisis estático lineal	119
4.1.2.	Variaciones del basculante	120
4.1.3.	Resultado final	130
4.2.	Diseño a detalle del basculante: resistencia	132

4.2.1.Simulación a detalle del basculante	132
4.2.1.1. Definir la geometría	132
4.2.1.2. Material	132
4.2.1.3. Mallado	133
4.2.1.4. Restricciones	133
4.2.1.5. Fuerzas	133
4.2.1.6. Análisis estático lineal	135
4.2.2. Variaciones de las orejas	135
4.2.3.Resultado final	147
5. ILUSTRACIÓN FINAL DE LA SUSPENSIÓN	149

