



*SUSPENSIÓN TRASERA REGULABLE PARA UNA MOTO DE  
COMPETICIÓN: ALTERNATIVA PRO-LINK*

**DOCUMENTO 1: ÍNDICE GENERAL**

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO  
NOMBRE: JOSÉ RAMÓN  
APELLIDOS: OLAIZOLA GAZTELUMENDI

FDO.:

FECHA: 20/06/2014

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA  
NOMBRE: MIKEL  
APELLIDOS: ABASOLO BILBAO  
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA: 20/06/2014



## Índice

	Página
<b>DOCUMENTO 1: ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>DOCUMENTO 2: RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>DOCUMENTO 3: MEMORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>DOCUMENTO 4: BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>DOCUMENTO 5: ANEXOS.....</b>	<b>13</b>

## DOCUMENTO 2: RESUMEN

	<b>Página</b>
2.1 Descripción del problema y solución adoptada .....	5/2
2.2 Curva de Rigidez Reducida .....	7/2
2.3 Balancín.....	7/2
2.4 Bieleta.....	8/2
2.5 Prediseño del basculante .....	8/2
2.6 Conjunto final.....	9/2

## DOCUMENTO 3: MEMORIA

	<b>Página</b>
3.1 Descripción del problema .....	21/3
3.2 MotoStudent. Especificaciones técnicas.....	23/3
3.3 Definición de términos básicos .....	26/3
3.3.1 Definiciones.....	26/3
3.3.2 Abreviaturas .....	27/3
3.4 Estudio Dinámico de una Motocicleta.....	30/3
3.4.1 Introducción.....	30/3
3.4.1.1 Manejabilidad.....	30/3
3.4.1.2 Adherencia o agarre a la carretera .....	30/3
3.4.1.3 Estabilidad .....	31/3
3.4.1.4 Movimientos de la motocicleta.....	31/3
3.4.1.5 Función del chasis .....	32/3
3.4.1.6 Suspensión delantera .....	33/3
3.4.1.7 Suspensión trasera.....	34/3
3.4.1.7.1 Descripción y finalidad de la suspensión trasera.....	34/3
3.4.1.7.2 Evolución de los sistemas de suspensión. ....	36/3
3.4.1.7.3 Basculante.....	42/3
3.4.2 Consideraciones Generales .....	45/3
3.4.2.1 Geometría básica de una motocicleta.....	45/3
3.4.2.2 Avance.....	46/3
3.4.2.2.1 Efecto direccional .....	48/3
3.4.2.2.2 Tacto en línea recta .....	49/3
3.4.2.3 Lanzamiento .....	49/3
3.4.2.3.1 Reducción del efecto provocado por el lanzamiento .....	50/3
3.4.2.3.2 Avance negativo .....	51/3
3.4.2.3.3 Caída de la pipa de dirección .....	51/3

3.4.2.3.4	Descentramiento del eje de la rueda .....	52/3
3.4.2.3.5	Resumen .....	53/3
3.4.2.4	Distancia entre ejes .....	54/3
3.4.2.4.1	Ángulo de giro requerido .....	54/3
3.4.2.4.2	Ángulo de la rueda trasera .....	55/3
3.4.2.4.3	Efectos de inercia .....	56/3
3.4.2.5	Rigidez del chasis .....	56/3
3.4.2.6	Peso y su posición .....	58/3
3.4.2.6.1	Equilibrio .....	58/3
3.4.2.6.2	Transferencia de carga .....	59/3
3.4.2.6.3	Tracción .....	59/3
3.4.2.6.3.1	Ángulo de inclinación .....	59/3
3.4.2.7	Movimientos angulares .....	61/3
3.4.2.7.1	Cabeceo .....	61/3
3.4.2.7.2	Guiñada .....	<b>¡Error! Marcador no definido./3</b>
3.4.2.7.3	Inclinación .....	61/3
3.4.3	Partes de una motocicleta .....	62/3
3.4.3.1	El chasis .....	62/3
3.4.3.1.1	Función del chasis .....	63/3
3.4.3.1.2	Tipos de chasis .....	63/3
3.4.3.2	La suspensión .....	66/3
3.4.3.2.1	Muelles .....	66/3
3.4.3.2.2	Amortiguador .....	67/3
3.4.3.2.3	Masa suspendida y masa no suspendida .....	69/3
3.4.3.2.4	Relación entre masa suspendida y no suspendida .....	70/3
3.4.3.2.5	Los neumáticos .....	71/3
3.4.3.2.6	Frecuencia de la suspensión .....	72/3
3.4.3.2.7	Altura de marcha y precarga .....	74/3
3.4.3.2.8	Distancia entre ejes .....	77/3

3.4.3.2.9	Resumen .....	78/3
3.4.3.3	La suspensión delantera.....	79/3
3.4.3.3.1	Horquillas con pipa de dirección.....	80/3
3.4.3.3.2	Otros tipos de suspensión .....	84/3
3.4.3.4	La suspensión trasera.....	86/3
3.4.3.4.1	Constante efectiva del muelle.....	88/3
3.4.3.4.2	Sistema de bieletas .....	88/3
3.4.3.4.2.1	UniTrack.....	91/3
3.4.3.4.2.2	Pro-Link.....	93/3
3.4.3.4.2.3	Full Floater .....	94/3
3.4.3.5	Rigidez Reducida o equivalente de la suspensión.....	96/3
3.4.3.5.1	Ratio del Movimiento o Relación de Velocidades.....	96/3
3.4.3.5.2	Relación de Velocidades en sistemas de bieletas .....	98/3
3.4.3.5.3	Rigidez reducida de la suspensión .....	98/3
3.4.3.5.4	Rigidez reducida del sistema Pro-Link.....	102/3
3.5	Rigidez Reducida y Relación de Velocidades .....	104/3
3.5.1	Sistema de suspensión tradicional .....	107/3
3.5.1.1	Equilibrio de Fuerzas .....	107/3
3.5.1.2	Estudio de velocidades .....	108/3
3.5.1.3	Expresión matemática de la Relación de Velocidades .....	109/3
3.5.1.4	Verificación computacional .....	111/3
3.5.1.5	Conclusiones .....	119/3
3.5.2	Sistema de suspensión Pro-Link .....	120/3
3.5.2.1	Relación de Velocidades mediante equilibrio de fuerzas....	120/3
3.5.2.2	Relación de Velocidades mediante velocidades.....	123/3
3.5.2.3	Verificación Computacional .....	129/3
3.6	Cargas sobre la suspensión .....	132/3
3.6.1	Centro de Gravedad.....	132/3
3.6.2	Posición de equilibrio .....	135/3

3.6.3	Carga máxima sobre la rueda trasera .....	136/3
3.6.4	Carga máxima sobre el amortiguador .....	138/3
3.7	Cálculo de las dimensiones del mecanismo .....	139/3
3.7.1	Condiciones para el dimensionamiento .....	139/3
3.7.2	Obtención de datos .....	140/3
3.7.3	Resultados .....	143/3
3.8	Regulación de la suspensión .....	145/3
3.8.1	Bieleta .....	145/3
3.8.2	Altura del amortiguador .....	147/3
3.8.3	Basculante.....	150/3
3.9	Reacciones en las Conexiones y configuración desechada .....	152/3
3.10	Introducción al Método de Elementos Finitos (MEF) .....	160/3
3.11	Balancín.....	171/3
3.11.1	Rótulas .....	172/3
3.11.2	Rodamiento .....	175/3
3.11.3	Estudio del Balancín por MEF .....	180/3
3.11.3.1	Material y mallado.....	181/3
3.11.3.2	Cargas. ....	182/3
3.11.3.3	Análisis y comparativas .....	184/3
3.11.3.3.1	Una carga y dos restricciones.....	184/3
3.11.3.3.2	Dos cargas y una restricción total.....	186/3
3.11.3.3.3	Dos cargas, una restricción Pin y otra puntual .....	188/3
3.11.3.3.4	Inertia Relief .....	189/3
3.11.4	Diseño definitivo .....	190/3
3.11.5	Análisis estático No Lineal.....	194/3
3.11.6	Anillo de retención de sección constante .....	200/3
3.12	Bieleta.....	202/3
3.12.1	Cabeza de articulación .....	203/3
3.12.2	Cabeza de horquilla .....	206/3



3.12.2.1 Carga sobre orificios del bulón .....	207/3
3.12.2.2 Carga aplicada en la rosca .....	209/3
3.12.3 Tirante regulador .....	211/3
3.12.3.1 Carga en la rosca hembra .....	211/3
3.12.3.2 Carga en la rosca macho.....	213/3
3.12.3.3 Inertia Relief.....	214/3
3.12.4 Longitud mínima roscada .....	215/3
3.12.5 Contratuercas .....	222/3
3.13 Conjunto final.....	223/3
3.13.1 Unión Bieleta-Balancín .....	223/3
3.13.2 Unión Bieleta-Amortiguador .....	224/3
3.14 Prediseño del basculante .....	225/3
3.14.1 Rigidez del basculante .....	225/3
3.14.1.1 Suspensión lateral .....	225/3
3.14.1.2 Rigidez Torsional .....	228/3
3.14.1.3 Rigidez longitudinal y a flexión.....	229/3
3.14.1.4 Valores admisibles para las rigideces.....	230/3
3.14.1.5 Consideraciones adicionales .....	231/3
3.14.1.5.1 Forma y estructura.....	231/3
3.14.1.5.2 Material.....	232/3
3.14.1.5.3 Resistencia .....	233/3
3.14.2 Propuesta de basculante.....	234/3
3.14.2.1 Restricciones y cargas para análisis MEF .....	235/3
3.14.2.2 Rigidez lateral .....	237/3
3.14.2.3 Rigidez torsional .....	238/3
3.14.2.4 Rigidez longitudinal.....	239/3
3.14.2.5 Rigidez a flexión .....	240/3
3.14.3 Comparativa con basculante tubular .....	241/3
3.14.4 Análisis modal del basculante .....	245/3

3.15 Procesos de Fabricación .....	248/3
3.15.1 Procesos de soldadura.....	248/3
3.15.1.1 Introducción .....	248/3
3.15.1.2 Tipos de soldadura .....	249/3
3.15.1.2.1 Soldadura por arco .....	249/3
3.15.1.2.1.1 Soldadura manual con electrodo – SMAW .....	249/3
3.15.1.2.1.2 Soldadura Semiautomática con protección de Gas.....	250/3
3.15.1.2.1.3 Soldadura GTAW/TIG con Protección de Gas.....	251/3
3.15.1.2.1.4 Soldadura por Arco Sumergido.....	252/3
3.15.1.2.2 Otros tipos de soldadura.....	252/3
3.15.1.2.2.1 Soldadura con Hilos Tubulares (FCAW) .....	252/3
3.15.1.2.2.2 Soldadura de Aluminio por fricción (FSW) .....	253/3
3.15.1.2.2.3 Soldadura por Electroescoria (ESW) .....	254/3
3.15.1.2.2.4 Soldadura por Plasma (PAW) .....	255/3
3.15.1.3 Soldadura elegida: soldadura TIG .....	256/3
3.15.1.4 Influencia de la soldadura en la fatiga .....	256/3
3.15.2 Mecanizado por arranque de viruta.....	260/3
3.15.2.1 Torneado .....	262/3
3.15.2.2 Fresado.....	266/3
3.15.2.2.1 Operaciones básicas en fresado .....	266/3
3.15.2.2.2 Fresado periférico o cilíndrico.....	267/3
3.15.2.2.3 Fresado de careado o refrentado .....	267/3
3.15.2.2.4 Fresado frontal.....	268/3
3.15.3 Corte .....	268/3
3.15.3.1 Oxicorte .....	268/3
3.15.3.2 Corte por láser .....	270/3
3.15.3.3 Corte por plasma .....	271/3
3.15.3.4 Corte por chorro de agua.....	273/3
3.15.3.5 Conclusión.....	274/3

3.16 Planificación .....	275/3
3.16.1 Fase 1: Familiarización con el problema .....	275/3
3.16.2 Fase 2: Formulación matemática del problema.....	276/3
3.16.3 Fase 3: Pro-Link. Diseño cinemático.....	276/3
3.16.4 Fase 4: Pro-Link. Diseño Mecánico.....	277/3
3.16.5 Fase 5: Prediseño del basculante .....	277/3
3.16.6 Fase 6: Procesos de Fabricación .....	278/3
3.17 Valoraciones Generales y Líneas Futuras .....	279/3
3.17.1 Valoraciones Generales .....	279/3
3.17.2 Líneas Futuras .....	280/3

## DOCUMENTO 4: BIBLIOGRAFÍA

	<b>Página</b>
4.1 Libros.....	4/4
4.2 Estudios y Trabajos .....	5/4
4.3 Catálogos .....	6/4
4.4 Apuntes/Asignaturas.....	6/4
4.5 Páginas web .....	7/4

## DOCUMENTO 5: ANEXOS

Página

### DOCUMENTO 5.1: Balancín

### DOCUMENTO 5.2: MotoStudent

5.2.1	Reglamento de la Competición .....	5/5.2
5.2.2	Componentes Yamaha.....	55/5.2

### DOCUMENTO 5.3: Planos

Referencia Plano	Nombre	Formato
PRO_01_CON	Conjunto	DIN A1
PRO_02_BIE	Subconjunto Bieleta	DIN A3
PRO_03_BAL	Balancín	DIN A3
PRO_04_HOR	Horquilla	DIN A4
PRO_05_TIR	Tirante	DIN A4
PRO_06_CAS	Casquillos	DIN A4