



*DISEÑO DE UNA TRANSMISIÓN Y SISTEMA DE FRENADO
PARA UNA CARRETILLA TELESCÓPICA DE 4.300 KG*

1. INDICE GENERAL

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO

NOMBRE: IÑIGO

APELLIDOS: MARTÍN LORENZO

FDO.:

FECHA:

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA

NOMBRE: MIKEL

APELLIDOS: ABASOLO BILBAO

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:

Índice general

Documento 2: Memoria

1. Objeto	14
2. Alcance	14
3. Antecedentes	15
4. Normas y referencias	17
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	17
4.2 Bibliografía	18
4.3 Programas de cálculo	19
5. Definiciones y abreviaturas	19
5.1 Definiciones	19
5.2 Abreviaturas	20
6. Requisitos de diseño	20
6.1 Especificaciones del cliente	21
6.2 Cálculo de especificaciones	21
6.2.1 Fuerzas que se oponen al avance del vehículo	21
6.2.1.1 Resistencia por rodadura	22
6.2.1.2 Resistencia por pendiente	24
6.2.1.3 Resistencia por inercia	25
6.2.1.4 Resistencia por aerodinámica	25
6.2.1.5 Resumen de resistencias	26
6.2.2 Curva de utilización	26
6.2.3 Curva de potencia	27
6.2.4 Localización del centro de gravedad	28
6.2.5 Factores que influyen en el reparto del peso por eje	29
6.2.6 Adherencia	30
6.2.7 Pendientes máximas para arrancar y superar debido a la adherencia ..	31

6.2.7.1 Pendiente máxima para arrancar.....	31
6.2.7.2 Pendiente máxima superable (en marcha)	33
6.2.8 Rendimiento de los elementos mecánicos	34
6.2.9 Resultados	34
7. Análisis de soluciones	35
7.1 Transmisiones mecánicas	35
7.2 Transmisiones eléctricas	37
7.3 Transmisiones hidrostáticas	37
7.3.1 Tipos de circuitos hidráulicos.....	38
7.3.2 Elección de los elementos primario y secundario	38
7.3.3 Necesidad de caja de cambios	39
7.4 Motor hidráulico	39
7.5 Elementos de la transmisión	40
7.5.1 Función de la transmisión	40
7.5.2 Relación de transmisión	40
7.5.3 Tipos de engranaje	42
7.5.4 Dimensionado de los engranajes	43
7.5.5 Fuerzas en engranajes	46
7.5.6 Ejes	49
7.5.6.1 Código ASME para el diseño de ejes	49
7.5.6.2 Diseño en base a deflexiones	50
7.5.6.3 Diseño en base a vibraciones	51
7.5.6.4 Estriado de los ejes	51
7.5.7 Rodamientos	53
7.5.8 Sincronizadores	57
7.5.9 Retenes	58
7.5.10 Uniones atornilladas a torsión pura	58
7.5.11 Juntas cardan	61
7.5.12 Juntas tóricas	62
7.6 Caja de transferencia (Transfer)	63
7.6.1 Principio de funcionamiento	64

7.6.2 Disposición de los árboles de engranajes	65
7.7 Grupo cónico (Diferencial)	66
7.7.1 Función del diferencial	66
7.7.2 Componentes del diferencial	66
7.7.3 Diferencial bloqueable	67
7.7.3.1 Diferencial de bloqueo manual por enclavamiento	68
7.7.3.2 Diferencial de bloqueo manual mediante discos de fricción	68
7.7.3.3 Función del aceite lubricante	69
7.7.3.4 Diseño del coeficiente de fricción del lubricante	69
7.7.3.5 Efecto del azufre/fósforo en el bronce	70
7.7.3.6 Discos de fricción	71
7.7.3.7 Par necesario de bloqueo	72
7.7.3.8 Cálculo de discos de fricción	73
7.8 Reductores de rueda	73
7.8.1 Descripción	73
7.8.2 Relaciones cinemáticas	74
7.8.3 Condiciones de montaje	75
7.9 Eje de transmisión	76
7.9.1 Descripción	76
7.9.2 Juntas cardan	76
7.9.3 Consideraciones para el cálculo	77
7.9.4 procedimiento de cálculo	78
7.10 Semiejes palier	80
7.10.1 Descripción	80
7.10.2 Cálculo de semiejes palier	80
7.11 Freno de servicio	81
7.11.1 Estudio de la adherencia durante la frenada	81
7.11.2 Fuerza y par de frenado	83
7.11.3 Distancia y tiempo de frenado	83
7.11.4 Tipos de freno utilizados	83
7.11.4.1 Freno de discos en baño de aceite	83

7.11.4.2 Freno de zapatas internas (tambor)	85
7.12 Freno de estacionamiento	85
7.12.1 Planteamiento del fenómeno de retención	85
7.12.2 Pendiente de retención	86
7.12.3 Tipos de freno utilizados	86
7.12.3.1 Freno de disco	86
7.12.3.2 Freno de zapatas	87
7.12.3.3 Freno de discos en baño de aceite	87
7.12.4 Selección de un freno de disco	88
8. Resultados finales	89
8.1 Elección del circuito hidráulico	89
8.1.1 Descripción del funcionamiento	90
8.2 Elección del motor hidráulico	92
8.2.1 Datos de partida	92
8.2.2 Elección del motor	94
8.3 Caja de transferencia	96
8.3.1 Descripción del funcionamiento	96
8.3.2 Engranajes utilizados	97
8.3.3 Disposición de los ejes	97
8.3.4 Cálculo de engranajes	98
8.3.4.1 Número de dientes	98
8.3.4.2 Parámetros que influyen en el cálculo	99
8.3.4.3 Cálculo del módulo	100
8.3.4.4 Distancia entre ejes	101
8.3.4.5 Dimensionado de los engranajes	102
8.3.4.6 Fuerzas en engranajes	102
8.3.5 Cálculo de los ejes	107
8.3.5.1 Dimensionado en base a tensiones	107
8.3.5.2 Comprobación en base a deflexiones	110
8.3.5.3 Comprobación en base a vibraciones	113
8.3.6 Estriado de los ejes	113

8.3.7 Dimensionado del sincronizador	114
8.3.8 Rodamientos	115
8.3.8.1 Fuerzas en los rodamientos	115
8.3.8.2 Rodamientos de agujas	116
8.3.8.3 Rodamientos de agujas axiales	118
8.3.8.4 Rodamientos de rodillos cónicos	119
8.3.8.5 Ajuste de los rodamientos	122
8.3.9 Retenes	122
8.3.10 Tapa de cierre	124
8.3.11 Tuercas del eje secundario	124
8.3.12 Otros elementos	125
8.4 Grupo cónico (Diferencial)	125
8.4.1 Disposición de los diferenciales	125
8.4.2 Engranajes utilizados	126
8.4.3 Dimensionado de planetarios y satélites	127
8.4.4 Dimensionado de piñón y corona	127
8.4.5 Fuerzas en los engranajes	128
8.4.6 Selección de rodamientos	129
8.4.6.1 Tipo de rodamientos	129
8.4.6.2 Vida de los rodamientos	130
8.4.6.3 Selección de rodamientos	131
8.4.6.4 Ajuste de los rodamientos	133
8.4.7 Retén del piñón	133
8.4.8 Bloqueo del diferencial	134
8.4.8.1 Elección del sistema de bloqueo	134
8.4.8.2 Determinación del par de bloqueo	134
8.4.8.3 Discos de fricción	135
8.4.8.4 Fuerzas de accionamiento	135
8.4.8.5 Muelles de retorno	135
8.4.8.6 Presión en la cámara de accionamiento	136
8.4.9 Juntas tóricas	136
8.4.8.1 Selección de juntas	136

8.4.8.2 Dimensionado de los alojamientos	137
8.4.10 Uniones atornilladas	138
8.4.10.1 Unión de la corona a la jaula del diferencial	138
8.4.10.2 Unión de la caja de transferencia y el diferencial	139
8.4.11 Otros elementos de catálogo.....	140
8.4.11.1 Circlips	140
8.4.11.2 Tornillos y tuercas	141
8.5 Reductores de rueda (epicicloidales)	142
8.5.1 Engranajes utilizados	142
8.5.2 Número de dientes	142
8.5.3 Módulo de los engranajes	143
8.5.4 Dimensiones de los engranajes	143
8.5.5 Fuerzas en engranajes	143
8.5.6 Dimensionado del potasatélites	144
8.5.7 Rodamientos	145
8.5.7.1 Velocidad angular de los satélites	146
8.5.7.2 Vida de los rodamientos	146
8.5.7.3 Selección de rodamientos	147
8.5.8 Otros elementos de catálogo	148
8.5.8.1 Circlips	148
8.6 Eje de transmisión	149
8.6.1 Selección del eje de transmisión	149
8.7 Semiejes palier	150
8.7.1 Tipo de semieje	150
8.7.2 Cálculo del diámetro mínimo	151
8.7.3 Estriado del eje	151
8.7.4 Selección de la junta cardan	152
8.8 Freno de servicio	153
8.8.1 Consideraciones iniciales	153
8.8.2 Dinámica de frenado	154
8.8.2.1 Efecto de la transferencia de peso en el frenado	154
8.8.2.2 Fuerza y par de frenado	155

8.8.2.3 Distancia y tiempo de frenado	155
8.8.3 Discos de fricción	156
8.8.4 Fuerza de accionamiento	156
8.8.5 Muelles de retorno	157
8.8.6 Presión en la cámara de accionamiento	157
8.8.7 Juntas tóricas	158
8.8.7.1 Selección de juntas	158
8.8.7.2 Dimensionado de los alojamientos	159
8.9 Freno de estacionamiento	160
8.9.1 Determinación del par de retención	160
8.9.2 Tipo de freno	161
8.9.3 Selección de los elementos del freno	161
9. Planificación	163
10. Orden de prioridad de los documentos	164

Documento 3: Anexos

Anexo 1: Datos de partida

1. Especificaciones del cliente	9
2. Estudio dinámico de la máquina	9
2.1 Diámetro de la rueda	9
2.2 Velocidad de la máquina	9
2.3 Fuerzas que se oponen al avance de la máquina	10
2.3.1 Resistencia por rodadura	10
2.3.2 Resistencia por pendiente	10
2.3.3 Resistencia aerodinámica	10
2.3.4 Resistencia por inercia	10
2.4 Potencia necesaria en diferentes situaciones	11
2.5 Estudio de la adherencia del vehículo	12
2.5.1 Reparto de cargas en cada eje	12

2.5.2 Pendientes máximas superables debido a la adherencia	12
2.5.2.1 Pendiente máxima para arrancar	12
2.5.2.2 Pendiente máxima superable (en marcha)	13
2.6 Rendimientos	14
2.7 Curvas de potencia	14
2.8 Resultados	16

Anexo 2: Cálculos

1. Motor hidráulico	16
1.1 Datos de partida	16
1.2 Elección del motor	17
1.3 Respuesta mínima del motor	19
1.4 Comportamiento del motor	21
2. Relaciones de transmisión	23
2.1 Relación total	23
2.1.1 Relación total para la marcha larga	24
2.1.2 Relación total para la marcha corta	24
2.2 Relación en el diferencial	24
2.3 Relación en el reductor de rueda	24
2.4 Relación en la caja de transferencia	24
2.4.1 Relación en la marcha larga	24
2.4.3 Relación en la marcha corta	25
3. Caja de transferencia	25
3.1 Módulo de los engranajes	26
3.1.1 Número de dientes	26
3.1.2 Datos de partida	26
3.1.3 Módulo del engranaje 2	28
3.1.4 Módulo del engranaje 3	32
3.2 Dimensionado de los engranajes	34
3.2.1 Distancia entre ejes	34
3.2.2 Radio de los engranajes	35

3.2.3 Anchura de los engranajes	36
3.3 Fuerzas en los engranajes	36
3.3.1 Cálculo de los ángulos principales	37
3.3.2 Cálculo de fuerzas	37
3.3.3 Representación de las fuerzas	40
3.4 Dimensionado de los ejes	43
3.4.1 Sentido de la marcha hacia delante	43
3.4.1.1 Eje primario	43
3.4.1.2 Eje intermediario	48
3.4.1.3 Eje secundario	52
3.4.2 Sentido de la marcha hacia atrás	56
3.4.2.1 Eje primario	56
3.4.2.2 Eje intermediario	57
3.4.2.3 Eje secundario	58
3.4.3 Comprobación en base a deflexiones	59
3.4.4 Comprobación en base a vibraciones	63
3.4.5 Estriado del eje	63
3.5 Dimensionado del sincronizador	65
3.6 Rodamientos	66
3.6.1 Vida de los rodamientos	67
3.6.2 Fuerzas en los rodamientos	67
3.6.3 Rodamientos de agujas	70
3.6.4 Rodamientos de rodillos cónicos	72
3.6.4.1 Eje primario	73
3.6.4.2 Eje intermediario	76
3.6.4.3 Eje secundario	80
3.6.5 Ajuste de los rodamientos	83
4. Diferencial	85
4.1 Dimensionado de satélite y planetarios	85
4.2 Dimensionado de piñón y corona	87
4.3 Fuerzas en engranajes	88
4.3.1 Fuerzas en la corona y piñón	89

4.3.2 Fuerzas en satélites y planetarios	91
4.4 Rodamientos	92
4.4.1 Tipo de rodamientos	92
4.4.2 Vida de los rodamientos	93
4.4.3 Fuerzas en los rodamientos de la jaula	93
4.4.4 Fuerzas en los rodamientos del piñón	96
4.4.5 Selección de rodamientos	99
4.4.5.1 Rodamientos de la jaula del diferencial.....	99
4.4.5.2 Rodamientos del piñón	103
4.5 Bloqueo del diferencial	107
4.5.1 Determinación del par de bloqueo.....	107
4.5.2 Discos de fricción	107
4.5.3 Fuerza de accionamiento	109
4.5.4 Muelles de retorno	109
4.5.5 Presión en la cámara de accionamiento	110
4.6 Uniones atornilladas	111
4.6.1 Unión de la corona a la jaula del diferencial	111
4.6.2 Unión de la caja de transferencia y el diferencial	113
5. Reductores epicicloidales	114
5.1 Número de dientes	114
5.2 Módulo de los engranajes	115
5.2.1 Estimación del módulo	115
5.2.2 Datos de partida	116
5.2.3 Comprobación del módulo	117
5.3 Dimensionado de los engranajes	119
5.3.1 Radio de los engranajes	119
5.3.2 Anchura de los engranajes	119
5.3.3 Distancia entre ejes	120
5.4 Fuerzas en engranajes	120
5.4.1 Fuerzas debidas a la transmisión	120
5.4.2 Fuerzas debidas a la traslación del vehículo	120
5.5 Dimensionado del portasatélites	122

5.6 Rodamientos	124
5.6.1 Velocidad angular de los satélites	124
5.6.2 Vida de los rodamientos	126
5.6.3 Selección de rodamientos	126
6. Eje de transmisión	128
6.1 Datos de partida	129
6.2 Procedimiento de selección	129
7. Semiejes palier	132
7.1 Diámetro del semieje palier	132
7.2 Junta cardan doble	133
8. Freno de servicio	134
8.1 Consideraciones iniciales	134
8.2 Dinámica de frenado	134
8.2.1 Distribución de pesos en máxima pendiente (bajada)	135
8.2.2 Efecto de la transferencia de peso en el frenado	136
8.2.3 Fuerza de frenado	136
8.2.4 Par de frenado	137
8.2.5 Distancia y tiempo de frenado	138
8.3 Discos de fricción	138
8.4 Fuerza de accionamiento	139
8.5 Muelles de retorno	140
8.6 Presión en la cámara de accionamiento	141
9. Freno de estacionamiento	142
9.1 Cálculo del par de retención	142
9.1.1 Fuerza de retención	142
9.1.2 Par de retención	142
9.2 Selección del freno	143

Documento 4: Planos

1. Conjunto transmisión completa	DIN A2
2. Caja de transferencia	
1 de 8 Conjunto caja de transferencia.....	DIN A2
2 de 8 Ejes caja de transferencia.....	DIN A3
3 de 8 Engranajes eje primario	DIN A3
4 de 8 Sincronizador.....	DIN A3
5 de 8 Engranajes eje intermediario.....	DIN A3
6 de 8 Engranajes eje secundario.....	DIN A3
7 de 8 Tapa de cierre	DIN A4
8 de 8 Elementos auxiliares	DIN A4
3. Diferenciales	
1 de 13 Conjunto diferencial delantero	DIN A2
2 de 13 Conjunto diferencial trasero	DIN A2
3 de 13 Jaula del diferencial	DIN A3
4 de 13 Corona del diferencial.....	DIN A3
5 de 13 Piñón del diferencial	DIN A3
6 de 13 Satélites y planetarios	DIN A3
7 de 13 Discos de fricción del bloqueo	DIN A3
8 de 13 Accionamiento del bloqueo del diferencial	DIN A4
9 de 13 Anillo con alojamiento para muelles	DIN A4
10 de 13 Soportes de los accionamientos.....	DIN A4
11 de 13 Accionamiento del freno	DIN A4
12 de 13 Discos de fricción del freno	DIN A3
13 de 13 Elementos auxiliares	DIN A4
4. Reductor epicicloidal	
1 de 5 Conjunto reductor epicicloidal	DIN A3
2 de 5 Corona y contracorona	DIN A3

3 de 5 Satélite y planetario.....	DIN A3
4 de 5 Portasatélites.....	DIN A3
5 de 5 Elementos auxiliares	DIN A4
5. Ejes y acoplamientos	
1 de 3 Acoplamiento diferencial-transfer.....	DIN A3
2 de 3 Acoplamientos del eje de transmisión	DIN A3
3 de 3 Semiejes palier	DIN A3

Documento 5: Pliego de condiciones

1. Condiciones generales.....	5
1.1 Generalidades	5
1.2 Objeto	5
1.3 Ámbito de aplicación	5
1.4 Documentación	5
1.5 Compatibilidad y relación entre los documentos	6
1.6 Condiciones generales de carácter legal	6
1.6 Normativa de carácter general	6
1.8 Dirección del proyecto	7
2. Materiales.....	7
2.1 Generalidades	7
2.2 Aceros	7
2.2.1 F150.D (20MnCr5) (Acero para cementación)	8
2.2.2 F1140 (SAE 1045) (Acero al carbono).....	8
2.2.3 F1120 (Acero al carbono)	9
2.2.4 F2111 (Acero de fácil mecanización).....	10
2.3 Fundición.....	10
2.4 Tratamientos térmicos	10
2.4.1 Normalizado.....	10
2.4.2 Templado	10

2.4.3 Recocido	11
2.4.4 Revenido	11
2.4.5 Cementado	11
2.5 Inspección de los materiales	11
2.5.1 Procedimiento de inspección	11
2.5.2 Pruebas e inspección	12
2.6 Ensayos mecánicos	12
2.6.1 Ensayos de entrega.....	12
2.6.2 Alcance de los ensayos	12
2.6.3 Toma de muestras	12
2.6.4 Ensayos de repetición	13
2.6.5 Certificación del ensayo	13
2.7 Reclamaciones	13
3. Especificaciones de ejecución y puesta en marcha	14
3.1 Fabricación	14
3.2 Especificaciones de ejecución	14
3.3 Verificación y control.....	14
3.3.1 Caja de transferencia.....	15
3.3.1.1 Síntomas de avería	15
3.3.1.2 Desmontaje	15
3.3.1.3 Puntos de observación.....	15
3.3.2 Eje de transmisión	16
3.3.2.1 Síntomas de avería	16
3.3.2.2 Desmontaje	16
3.3.2.3 Puntos de observación.....	16
3.3.3 Puente diferencial	16
3.3.3.1 Síntomas de avería	16
3.3.3.2 Desmontaje	17
3.3.3.3 Puntos de observación.....	17
3.4 Limitación de suministros	18
3.5 Entrega y transportes	18

3.6 Recepción	18
3.7 Montaje	18
3.8 Mantenimiento por parte del usuario final	19
3.8.1 Comprobación del nivel de aceite del sistema de freno	20
3.8.2 Ajuste del freno de mano	20
3.8.3 Comprobación del nivel de aceite del grupo cónico.....	20
3.8.4 Cambio de aceite del grupo cónico.....	21
3.8.5 Cambio de aceite de la caja de transferencia	21
3.8.6 Comprobación del nivel de aceite del reductor de rueda	22
3.8.7 Cambio de aceite del reductor de rueda.....	22
3.8.8 Engrase de las manguetas	23
4. Pliego de condiciones particulares.....	23
4.1 Condiciones generales de carácter económico	23
4.2 Forma de pago	24
4.3 Plazo de entrega.....	24
4.4 Penalizaciones y primas.....	24
4.5 Rescisión de contrato	24
4.6 Precios	25
4.7 Garantía	25
4.8 Impuestos	25
4.9 Litigios.....	25

Documento 6: Estado de mediciones

1. Elementos adquiridos	2
1.1 Caja de transferencia.....	2
1.2 Puente diferencial.....	2
1.3 Reductor de rueda.....	3
1.4 Ejes y acoplamientos	3
1.5 Freno de estacionamiento	3

2. Elementos fabricados	4
2.1 Caja de transferencia	4
2.2 Puente diferencial	5
2.3 Reductor de rueda	6
2.4 Ejes y acoplamientos	6
3. Operaciones	7
3.1 Caja de transferencia	7
3.2 Puente diferencial	8
3.3 Reductor de rueda	10
3.4 Ejes y acoplamientos	11

Documento 7: Presupuesto

1. Elementos adquiridos	2
1.1 Caja de transferencia	2
1.2 Puente diferencial	3
1.3 Reductor de rueda	3
1.4 Ejes y acoplamientos	4
1.5 Freno de estacionamiento	4
2. Elementos fabricados	4
2.1 Coste de materias primas	4
2.1.1 Caja de transferencia.....	5
2.1.2 Puente diferencial	6
2.1.3 Reductor de rueda.....	6
2.1.4 Ejes y acoplamientos.....	7
2.2 Operaciones	7
2.2.1 Caja de transferencia.....	7
2.2.2 Puente diferencial	8
2.2.3 Reductor de rueda	9

2.2.4 Ejes y acoplamientos.....	9
2.3 Elementos encargados	9
2.3.1 Caja de transferencia.....	9
2.3.2 Puente diferencial	10
2.3.3 Reductor de rueda.....	10
2.3.4 Ejes y acoplamientos.....	11
3. Resumen de costes	11
4. Procedimiento de ensamblado	12
5. Realización del proyecto	12
6. Presupuesto final	13

Índice de figuras

Documento 2: Memoria

Figura 2.1 Terexlift Telelift 2506	14
Figura 2.2 Manipulador telescópico con torreta giratoria	15
Figura 2.3 Carretilla elevadora (izda) y grúa telescópica (dcha).....	16
Figura 2.4 Gráfico de carga de un manipulador telescópico	16
Figura 2.5 Par en el eje y fuerza de avance	22
Figura 2.6 Resistencia por rodadura rueda portadora	22
Figura 2.7 Resistencia por rodadura rueda portadora y motriz	23
Figura 2.8 Resistencia por pendiente	25
Figura 2.9 Curva de utilización sin pendiente	27
Figura 2.10 Curva de utilización con pendientes	27
Figura 2.11 Curva de potencia	27
Figura 2.12 Posición del centro de gravedad	28
Figura 2.13 Puntos de aplicación de cargas	29
Figura 2.14 Fuerzas que intervienen en la adherencia	30
Figura 2.15 Transmisión mecánica Audi 100 Quattro	36
Figura 2.16 Esfuerzo de tracción	36
Figura 2.17 Transmisiones eléctricas	37

Figura 2.18 Curva ideal de tracción	39
Figura 2.19 Pistones axiales	40
Figura 2.20 Pistones radiales	40
Figura 2.21 Engranaje dientes rectos	42
Figura 2.22 Engranaje cilíndrico helicoidal	43
Figura 2.23 Engranajes cónicos de dientes rectos	43
Figura 2.24 Fuerzas en engranajes rectos	46
Figura 2.25 Fuerzas en engranajes helicoidales	47
Figura 2.26 Sentido de las fuerzas en eng. cilíndricos helicoidales	48
Figura 2.27 Fuerzas en engranajes cónicos	48
Figura 2.28 Estriado de 4 dientes	52
Figura 2.29 DIN 5472	52
Figura 2.30 DIN 5482	53
Figura 2.31 Montajes directo e indirecto	56
Figura 2.32 Ajuste de rodamientos	57
Figura 2.33 Sincronizador	57
Figura 2.34 Retén de labio	58
Figura 2.35 Unión atornillada sometida a torsión pura	58
Figura 2.36 Junta cardan doble	61
Figura 2.37 Componentes de una junta cardan	61
Figura 2.38 Par máximo en función del ángulo de operación	62
Figura 2.39 Sellado mediante junta tórica	62
Figura 2.40 Porcentaje de aplastamiento de la junta en función de su sección	62
Figura 2.41 Dimensionado de los alojamientos para juntas tóricas	63
Figura 2.42 Fuerzas en engranajes cilíndricos	64
Figura 2.43 Transfer de dos ejes	65
Figura 2.44 Transfer de tres ejes	65
Figura 2.45 Trayectoria de las ruedas en curva	66
Figura 2.46 Componentes de un diferencial	67
Figura 2.47 Diferencial de bloqueo manual por enclavamiento	68
Figura 2.48 Diferencial “ARB” de bloqueo por enclavamiento	68
Figura 2.49 Diferencial de bloqueo manual por discos de fricción	69
Figura 2.50 Coeficiente de fricción de tres aceites en función de la velocidad	70

Figura 2.51 Coeficiente de fricción de varios aceites en función de la velocidad	70
Figura 2.52 Distribución de par con diferencial libre	72
Figura 2.53 Distribución de par con diferencial bloqueado	72
Figura 2.54 Reductor epicicloidal	74
Figura 2.55 Reductor epicicloidal con corona fija	74
Figura 2.56 Árbol de transmisión	76
Figura 2.57 Despiece de un árbol de transmisión con juntas cardan	77
Figura 2.58 Factores de aplicación de árboles de transmisión (Ameridrives)	79
Figura 2.59 Palier rígido	80
Figura 2.60 Palier cardanado	80
Figura 2.61 Fuerzas durante la frenada en pendiente	81
Figura 2.62 Reparto óptimo de frenado	83
Figura 2.63 Freno de discos sumergidos en palier externo	84
Figura 2.64 Freno de discos sumergidos en palier interno (Spicer)	84
Figura 2.65 Freno de zapatas (Excavadora Neuson 6502RD)	85
Figura 2.66 Fuerza debida a la pendiente	86
Figura 2.67 Extracto de la DIRECTIVA 98/12/CE	86
Figura 2.68 Freno de estacionamiento de disco	87
Figura 2.69 Freno de estacionamiento de zapatas	87
Figura 2.70 Freno de estacionamiento de discos (Parker)	88
Figura 2.71 Fórmulas de cálculo de freno Tolomatic ME10	88
Figura 2.72 Circuito hidrostático cerrado y reversible	90
Figura 2.73 Motor pistones axiales con cilindrada fija	90
Figura 2.74 Presión/caudal	91
Figura 2.75 Par/velocidad	91
Figura 2.76 Fuerza/velocidad	91
Figura 2.77 Evolución del par con la velocidad	92
Figura 2.78 Evolución de la potencia con la velocidad	92
Figura 2.79 Par y potencia del motor	95
Figura 2.80 Presión y caudal del motor	95
Figura 2.81 Eje de salida del motor	96
Figura 2.82 Botones de marcha	96
Figura 2.83 Engranaje cilíndrico helicoidal	97

Figura 2.84 Caja de transferencia con dos árboles de engranajes	97
Figura 2.85 Caja de transferencia con tres árboles de engranajes	98
Figura 2.86 Situaciones críticas de par y potencia	100
Figura 2.87 Fuerzas en engranajes helicoidales	103
Figura 2.88 Fuerzas marcha corta hacia delante	106
Figura 2.89 Fuerzas marcha larga hacia delante	106
Figura 2.90 Fuerzas marcha corta hacia atrás	106
Figura 2.91 Dimensiones aproximadas del eje primario	107
Figura 2.92 Dimensiones aproximadas del eje intermediario	108
Figura 2.93 Dimensiones aproximadas del eje secundario	109
Figura 2.94 Cálculo de flechas y ángulos girados	110
Figura 2.95 Ejes con seis nervios Norma DIN 5472	113
Figura 2.96 Estriado eje primario	114
Figura 2.97 Estriado eje intermediario	114
Figura 2.98 Estriado eje secundario	114
Figura 2.99 Rodamiento de agujas engranaje (1), (NSK)	117
Figura 2.100 Rodamiento de agujas engranaje (3), (NSK)	117
Figura 2.101 Rodamiento de agujas axiales (SKF)	118
Figura 2.102 Montaje directo (m=1)	120
Figura 2.103 Rodamientos cónicos eje primario (Timken)	121
Figura 2.104 Rodamientos cónicos eje intermediario (Timken)	121
Figura 2.105 Rodamientos cónicos eje secundario (Timken)	122
Figura 2.106 Retén eje primario	123
Figura 2.107 Retén eje secundario	123
Figura 2.108 Tornillos de la tapa de cierre	124
Figura 2.109 Tuercas eje secundario	124
Figura 2.110 Anillo de seguridad eje primario	125
Figura 2.111 Pista de rodadura	125
Figura 2.112 Disposición de los diferenciales	126
Figura 2.113 Engranajes cónicos de dientes rectos	126
Figura 2.114 Montaje directo (m=1)	130
Figura 2.115 Montaje indirecto (m=-1)	130
Figura 2.116 Rodamientos cónicos de la jaula del diferencial	132

Figura 2.117 Rodamientos cónicos del piñón	132
Figura 2.118 Retén del piñón	133
Figura 2.119 Bloqueo del diferencial mediante discos de fricción	134
Figura 2.120 Distribución de par con diferencial bloqueado	134
Figura 2.121 Juntas tóricas del bloqueo	137
Figura 2.122 Unión atornillada de la corona del diferencial	139
Figura 2.123 Unión atornillada entre el transfer y el diferencial	140
Figura 2.124 Circlip exterior de la jaula del diferencial	140
Figura 2.125 Circlip interior de la jaula del diferencial	140
Figura 2.126 Circlip interior del planetario del diferencial	141
Figura 2.127 Tornillo de la corona del diferencial y uniones	141
Figura 2.128 Tuerca del piñón del diferencial	142
Figura 2.129 Engranaje dientes rectos	142
Figura 2.130 Fuerzas en el portasatélites	144
Figura 2.131 Alojamiento de los satélites en el portasatélites	145
Figura 2.132 Tensiones en los puntos (A) y (B) del voladizo	145
Figura 2.133 Representación de velocidades	146
Figura 2.134 Rodamiento de los satélites (NSK)	147
Figura 2.135 Anillo de seguridad del portasatélites	148
Figura 2.136 Anillo de seguridad separador de rodamientos de rodillos	148
Figura 2.137 Anillo de seguridad interior de la corona	149
Figura 2.138 Características del árbol de transmisión elegido	150
Figura 2.139 Características del acoplamiento para el modelo U2160	150
Figura 2.140 Palier cardanado	151
Figura 2.141 Ranurado del palier DIN 5482	152
Figura 2.142 Junta cardan del semieje palier	152
Figura 2.143 Par admisible en función del ángulo de operación	153
Figura 2.144 Fuerzas durante la frenada en pendiente	154
Figura 2.145 Juntas tóricas del freno	159
Figura 2.146 Extracto de la DIRECTIVA 98/12/CE.....	160
Figura 2.147 Disco de freno 12”	162
Figura 2.148 Pinza de freno ME10LA	162
Figura 2.149 Fases del proyecto de diseño	163

Figura 2.150 Diagrama de Gantt del proyecto 164

Documento 3: Anexos

Anexo 1: Datos de partida

Figura 3.1 Curvas de potencia necesaria 16

Anexo 2: Cálculos

Figura 3.2 Fórmulas catalogo Bosch RexRoth 17

Figura 3.3 Catálogo motores A6VM Bosch RexRoth..... 18

Figura 3.4 Curvas de par y potencia del motor 23

Figura 3.5 Curvas de presión y caudal del motor 23

Figura 3.6 Esquema de la caja de transferencia..... 25

Figura 3.7 Situaciones críticas de par y potencia 28

Figura 3.8 Fuerzas en el eje primario e intermediario 41

Figura 3.9 Fuerzas en el eje intermediario y secundario 41

Figura 3.10 Representación de fuerzas marcha corta hacia delante 42

Figura 3.11 Representación de fuerzas marcha larga hacia delante 42

Figura 3.12 Representación de fuerzas marcha corta hacia atrás 43

Figura 3.13 Medidas aproximadas del eje primario 44

Figura 3.14 Medidas aproximadas del eje intermediario 48

Figura 3.15 Medidas aproximadas del eje secundario..... 52

Figura 3.16 Cálculo del deflexiones y ángulos girados..... 59

Figura 3.17 Ejes con seis nervios DIN 5472 64

Figura 3.18 Estriado eje primario 64

Figura 3.19 Estriado eje intermediario 64

Figura 3.20 Estriado eje secundario 64

Figura 3.21 Rodamiento de agujas engranaje 3 (NSK) 70

Figura 3.22 Rodamiento de agujas engranaje 1 (NSK) 71

Figura 3.23 Rodamiento de agujas axiales (SKF) 71

Figura 3.24 Montaje directo ($m=1$) 72

Figura 3.25 Rodamientos cónicos eje primario (Timken)..... 76

Figura 3.26 Rodamientos cónicos eje intermediario (Timken) 79

Figura 3.27 Rodamientos cónicos eje secundario (Timken) 83

Figura 3.28 Montaje directo ($m=1$)	92
Figura 3.29 Montaje indirecto ($m=-1$).....	92
Figura 3.30 Esquema de fuerzas en la jaula del diferencial delantero (marcha hacia adelante)	94
Figura 3.31 Esquema de fuerzas en el piñón del diferencial (marcha hacia adelante).....	97
Figura 3.32 Rodamientos cónicos de la jaula del diferencial (Timken).....	103
Figura 3.33 Rodamientos cónicos del piñón del diferencial (Timken)	106
Figura 3.34 Distribución de par con el diferencial bloqueado	107
Figura 3.35 Unión atornillada de la corona del diferencial	111
Figura 3.36 Unión atornillada entre el transfer y el diferencial.....	113
Figura 3.37 Representación de velocidades del satélite y planetario	117
Figura 3.38 Fuerzas debidas a la transmisión de potencia	120
Figura 3.39 Fuerzas en el portasatélites	121
Figura 3.40 Alojamiento de los satélites en el portasatélites.....	122
Figura 3.41 Cálculo de voladizos con carga distribuida.....	122
Figura 3.42 Tensiones en los puntos (A) y (B) del voladizo.....	123
Figura 3.43 Representación de velocidades	124
Figura 3.44 Rodamientos de los satélites	128
Figura 3.45 Características del eje de transmisión elegido	131
Figura 3.46 Características del acoplamiento para el modelo U2160	132
Figura 3.47 Junta cardan Serie 300 (GKN)	133
Figura 3.48 Par admisible en función del ángulo de operación	133
Figura 3.49 Características de la junta cardan del eje palier	134
Figura 3.50 Fuerzas durante la frenada en pendiente	135
Figura 3.51 Fuerza debido a la pendiente.....	142

Documento 5: Pliego de condiciones

Figura 5.1 Denominaciones acero 20MnCr5.....	8
Figura 5.2 Composición química acero 20MnCr5	8
Figura 5.3 Denominaciones acero SAE 1045.....	9
Figura 5.4 Composición química acero SAE 1045	9
Figura 5.5 Denominaciones acero F 1120.....	9
Figura 5.6 Composición química acero F 1120.....	9

Figura 5.7 Denominaciones acero F 2111	10
Figura 5.8 Composición química acero F 2111	10
Figura 5.9 Puntos de comprobación y llenado de aceite en el puente diferencial	21
Figura 5.10 Puntos de vaciado y llenado de aceite en el puente diferencial	21
Figura 5.11 Puntos de vaciado (2) y llenado (1) de aceite en el transfer	22
Figura 5.12 Posición para la comprobación del nivel en los reductores de rueda	22
Figura 5.13 Posiciones para el cambio de aceite de los reductores de rueda	23
Figura 5.14 Engrasadores de mangueta	23

Índice de tablas

Documento 2: Memoria

Tabla 2.1 Unidades de medida	20
Tabla 2.2 Coeficientes de rodadura	24
Tabla 2.3 Reparto de cargas en cada eje	29
Tabla 2.4 Resumen de reparto de cargas	29
Tabla 2.5 Coeficientes de adherencia	30
Tabla 2.6 Rendimiento de los elementos de la transmisión	34
Tabla 2.7 Módulos normalizados	44
Tabla 2.8 Valores de C_m y C_t	50
Tabla 2.9 Valores típicos de pendientes y deflexiones	50
Tabla 2.10 Valores típicos de pendientes y deflexiones	51
Tabla 2.11 Factor de seguridad estático	54
Tabla 2.12 Coeficientes X e Y	55
Tabla 2.13 Fórmulas para el cálculo de la carga radial equivalente	56
Tabla 2.14 Coeficientes de rozamiento	59
Tabla 2.15 Características de las roscas	60
Tabla 2.16 Clases de los tornillos	60
Tabla 2.17 Fórmulas catalogo Bosch RexRoth	93
Tabla 2.18 Rendimientos en motores de pistones axiales	94
Tabla 2.19 Motor Rexroth A6VM 80	95
Tabla 2.20 Propiedades del acero 20MnCr5	99
Tabla 2.21 Módulo mínimo engranaje (2)	101

Tabla 2.22 Módulo mínimo engranaje (3)	101
Tabla 2.23 Ángulos principales de los engranajes	103
Tabla 2.24 Fuerzas en engranaje (1), marcha larga	104
Tabla 2.25 Fuerzas en engranaje (2), marcha corta	104
Tabla 2.26 Fuerzas en engranaje (2), marcha larga	104
Tabla 2.27 Fuerzas en engranaje (3), marcha corta	104
Tabla 2.28 Fuerzas en engranaje (4), marcha corta	105
Tabla 2.29 Fuerzas en engranaje (5), marcha corta	105
Tabla 2.30 Fuerzas en engranaje (5), marcha larga	105
Tabla 2.31 Deflexiones admisibles por los engranajes	110
Tabla 2.32 Ángulos admisibles por los rodamientos	110
Tabla 2.33 Dimensiones de los dientes del sincronizador	115
Tabla 2.34 Situaciones de carga en rodamientos	116
Tabla 2.35 Factor de seguridad estático	116
Tabla 2.36 Fórmulas para el cálculo de la carga radial equivalente	119
Tabla 2.37 Ajuste de los rodamientos del transfer	122
Tabla 2.38 Características de los planetarios y satélites	127
Tabla 2.39 Características del piñón y la corona	128
Tabla 2.40 Fuerzas en el piñón, marcha corta	128
Tabla 2.41 Fuerzas en el piñón, marcha larga	129
Tabla 2.42 Fuerzas en la corona, marcha corta	129
Tabla 2.43 Fuerzas en la corona, marcha larga	129
Tabla 2.44 Situaciones de carga en los rodamientos del piñón	131
Tabla 2.45 Situaciones de carga en los rodamientos de la corona	131
Tabla 2.46 Fórmulas para el cálculo de la carga radial equivalente	131
Tabla 2.47 Ajuste de los rodamientos cónicos	133
Tabla 2.48 Muelle de compresión del bloqueo	135
Tabla 2.49 Dimensionado de los alojamientos de los O-Ring	137
Tabla 2.50 Detalle de los alojamientos de los O-Ring	138
Tabla 2.51 Número de dientes en los engranajes del reductor	142
Tabla 2.52 Radios primitivos de los engranajes del reductor	143
Tabla 2.53 Fuerzas en el vano del portasatélites	144
Tabla 2.54 Velocidades angulares de los satélites	146

Tabla 2.55 Situaciones de carga en los rodamientos de los satélites	147
Tabla 2.56 Composición y propiedades del disco de fricción de bronce	156
Tabla 2.57 Muelle de compresión del freno EN 10270	157
Tabla 2.58 Dimensionado de los alojamientos de los O-Ring	159
Tabla 2.59 Detalle de los alojamientos de los O-Ring	160
Tabla 2.60 Especificaciones pinza de freno modelo ME10	161
Tabla 2.61 Fórmulas pinza de freno modelo ME10	161

Documento 3: Anexos

Anexo 1: Datos de partida

Tabla 3.1 Resistencias y velocidades	15
Tabla 3.2 Potencia y par necesarios.....	15

Anexo 2: Cálculos

Tabla 3.3 Rendimientos en motores de pistones axiales	17
Tabla 3.4 Resistencias y rendimiento	19
Tabla 3.5 Velocidades del motor y de la máquina	20
Tabla 3.6 Potencias y pares del motor en las dos situaciones críticas.....	20
Tabla 3.7 Comportamiento del motor	21
Tabla 3.8 Propiedades del acero 20MnCr5	27
Tabla 3.9 Situaciones de carga en rodamientos.....	67
Tabla 3.10 Factor de seguridad estático	69
Tabla 3.11 Fórmulas para el cálculo de la carga radial equivalente.....	73
Tabla 3.12 Ajuste de rodamientos de agujas NSK.	83
Tabla 3.13 Ajuste de rodamientos de agujas axiales (SKF)	84
Tabla 3.14 Ajuste de rodamientos cónicos (Timken).....	84
Tabla 3.16 Datos de partida de planetarios y satélites.....	85
Tabla 3.17 Datos de partida de piñón y corona	87
Tabla 3.18 Situaciones de carga en los rodamientos del piñón.....	93
Tabla 3.19 Situaciones de carga en los rodamientos de la corona	93
Tabla 3.20 Composición y propiedades del disco de fricción de bronce	108
Tabla 3.21 Muelle de compresión del sistema de bloqueo EN 10270	109
Tabla 3.22 Coeficientes de rozamiento Fundición-Fundición	112

Tabla 3.23 Coeficientes de rozamiento Goma-Metal.....	113
Tabla 3.24 Datos de partida de los engranajes del reductor de rueda	116
Tabla 3.25 Propiedades del acero 20MnCr5	116
Tabla 3.26 Situaciones de carga en los rodamientos de los satélites.....	126
Tabla 3.27 Situaciones de carga en el eje de transmisión	129
Tabla 3.28 Factores de aplicación en ejes de transmisión.....	130
Tabla 3.29 Pares de aplicación y selección para cada situación.....	130
Tabla 3.30 Composición y propiedades del disco de fricción de bronce	139
Tabla 3.31 Muelle de compresión del freno EN 10270.....	140
Tabla 3.32 Especificaciones pinza de freno ME10 (Tolomatic)	143
Tabla 3.33 Fórmulas pinza de freno modelo ME10 (Tolomatic).....	143

Documento 5: Pliego de condiciones

Tabla 5.1 Propiedades acero 20MnCr5	8
Tabla 5.2 Propiedades acero SAE 1045	9
Tabla 5.3 Propiedades acero F 1120.....	9
Tabla 5.4 Propiedades acero F2111	10
Tabla 5.5 Mantenimientos cíclicos y no cíclicos.....	19