



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

**“DISEÑO Y
PARAMETRIZACIÓN DE
MODELOS DE RUEDAS DE
BICICLETA PARA LA
TRANSFORMACIÓN
DIGITAL DE LA INDUSTRIA
DENTRO DEL SECTOR.”**

MEMORIA PRESENTADA POR:

Carlos Ferrándiz Romero

TUTORES:

Francisco Manuel López Esteve y Miguel Jorge Reig Pérez

GRADO DE Ingeniería Mecánica

Convocatoria de defensa: Septiembre 2021

RESUMEN

“Diseño y parametrización de modelos de ruedas de bicicleta para la transformación digital de la industria del sector.”

En el presente Trabajo Final de Grado (TFG), se realiza el proceso de la digitalización del diseño y fabricación de ruedas de bicicletas mediante el diseño parametrizado de todos sus elementos. Durante el transcurso del proyecto se atraviesan diferentes fases del desarrollo de producto, tales como:

- Fase de diseño, donde se modelarán y parametrizarán los elementos que componen la rueda.
- Fase de ingeniería donde se explicarán y se demostrarán como mediante un diseño parametrizado y tablas de familia, que permitirá obtener diferentes configuraciones de ruedas con un mismo archivo CAD, con el cálculo automatizado de la longitud de los radios en función de las variables geométricas del resto de componentes.
- Fase de proceso de fabricación, donde se define el procedimiento del ensamblado dependiendo de las características del modelo de rueda, mediante la elaboración de la documentación técnica digital (listado de materiales, planos acotados y secuencia de operaciones).

Palabras Clave:

Diseño, CAD, Ruedas, Diseño paramétrico, Tablas de familia, Longitud de los radios, Procesos, Documentación técnica, Lista de materiales, Ventajas en la industria.

RESUM

“Disseny i parametrització de models de rodes de bicicleta per a la transformació digital de la indústria del sector.”

En el present Treball Final de Grau (*TFG), es realitza el procés de la digitalització del disseny i fabricació de rodes de bicicletes mitjançant el disseny parametritzat de tots els seus elements. Durant el transcurs del projecte es travessen diferents fases del desenvolupament de producte, com ara:

- Fase de disseny, on es modelaran i parametritzaran els elements que componen la roda.
- Fase d'enginyeria, on s'explicaran i es demostraran com mitjançant un disseny parametritzat i taules de família, que permetrà obtenir diferents configuracions de rodes amb un mateix arxiu CAD, amb el càlcul automatitzat de la longitud dels radis en funció de les variables geomètriques de la resta de components.
- Fase de procés de fabricació, on es defineix el procediment de l'assemblat dependent de les característiques del model de roda, mitjançant l'elaboració de la documentació tècnica digital (llistat de materials, plans delimitats i seqüència d'operacions).

Paraules Clau:

Disseny, CAD, rodes, Disseny paramètric, Taules de família, Longitud dels radis, Processos, Documentació tècnica, Llista de materials, Avantatges en la indústria.

SUMMARY

" Parametric design of bicycle wheel models for the digital transformation of the cycling industry ."

In this Final Degree Project, the process of digitizing the design and manufacture of bicycle wheels is carried out through the parameterized design of all its elements. During the project, different phases of product development are going through, such as:

- Design phase, where the elements that build the wheel will be modeled and parameterized.
- Engineering phase where they will be explained and demonstrated, by means of a parameterized design and family tables, which will allow obtaining different wheel configurations with the same CAD file, with the automated calculation of the length of the spokes based on the geometric variables of the rest of components.
- Manufacturing process phase, where the assembly procedure is defined depending on the characteristics of the wheel model, through the preparation of digital technical documentation (list of materials, dimensioned drawings and sequence of operations).

Keywords:

Design, CAD, Front Wheel, Parametric Design, Family Tables, Spoke Length, Processes, Technical Documentation, Materials List, Industry Advantages.

Tabla de contenido

RESUMEN	2
RESUM	3
SUMMARY	4
TABLA DE CONTENIDO	6
ABREVIATURAS Y CONCEPTOS	9
LISTADO DE FIGURAS.....	10
LISTADO DE TABLAS	14
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 ANTECEDENTES.	19
1.1.1 <i>Contexto histórico de la bicicleta.</i>	<i>19</i>
1.1.2 <i>Contexto histórico de la rueda en la bicicleta.</i>	<i>21</i>
1.1.3 <i>Definición de los componentes de una rueda.</i>	<i>24</i>
1.1.4 <i>Evolución de las ruedas dentro del MTB.</i>	<i>30</i>
1.1.5 <i>Visión de futuro.....</i>	<i>31</i>
1.1.6 <i>Esfuerzos y cargas que actúan sobre la rueda.....</i>	<i>32</i>
1.1.7 <i>Características técnicas de los componentes de la rueda.....</i>	<i>34</i>
1.1.8 <i>Proceso de radiado de la rueda.....</i>	<i>42</i>
1.1.9 <i>Postproceso del radiado (Centrado, Alineado y tensionado).....</i>	<i>51</i>
2. OBJETIVOS	55
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	57
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.	57
2.2.1 <i>Objetivos de la Fase de Diseño.....</i>	<i>57</i>
2.2.2 <i>Objetivos de la Fase de Ingeniería.....</i>	<i>57</i>
2.2.3 <i>Objetivos de la Fase de Procesos de fabricación.....</i>	<i>58</i>
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	60
3.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	62
3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	63
3.2.1 <i>Desarrollo de las Fases.</i>	<i>63</i>
3.2.2 <i>Fase de Diseño.....</i>	<i>63</i>
3.2.3 <i>Fase de Ingeniería.....</i>	<i>63</i>
3.2.4 <i>Fase de Proceso de fabricación.</i>	<i>63</i>
3.3 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONJUTO.	63
3.3.1 <i>Definición de las características técnicas de los componentes. ...</i>	<i>64</i>
3.3.2 <i>Configuraciones de ruedas que se van a realizar.....</i>	<i>66</i>
3.3.3 <i>Identificación de las configuraciones de ruedas.</i>	<i>67</i>
3.3.4 <i>Obtención de las características técnicas de las distintas configuraciones.....</i>	<i>67</i>

3.3.5	<i>Identificación de los componentes que van a ser parametrizados.</i>	
	72	
3.3.6	<i>Definición de los parámetros del conjunto.</i>	72
3.3.7	<i>Diseño de la Tabla de familia.</i>	74
3.4	DESPIECE DEL CONJUNTO GÉNÉRICO MODELIZADO.	75
3.4.1	<i>Modelización del esqueleto.</i>	76
3.4.2	<i>Modelización de la llanta.</i>	78
3.4.3	<i>Modelización de la cabecilla.</i>	79
3.4.4	<i>Modelización de los radios.</i>	79
3.4.5	<i>Modelización del buje.</i>	80
3.4.6	<i>Ensamblaje completo.</i>	81
3.5	RELACIONES PARAMÉTRICAS DEL CONJUNTO.	82
3.5.1	<i>Relaciones paramétricas del esqueleto.</i>	82
3.6	CÁLCULOS DE LA LONGITUD DE LOS RADIOS.	84
3.6.1	<i>Parámetros de cálculo de la longitud de los radios.</i>	84
3.6.2	<i>Justificación del cálculo de la longitud de los radios.</i>	84
3.6.3	<i>Longitudes de los radios según la calculadora online de DT Swiss de las distintas configuraciones.</i>	98
3.6.4	<i>Cálculo de la longitud de los radios mediante el diseño paramétrico.</i>	99
3.6.5	<i>Comparativa de resultados.</i>	100
3.7	DISEÑO FINAL DE LAS INSTANCIAS.	102
3.8	NORMATIVA APLICABLE.	107
3.8.1	<i>Normativa “ISO 4210-7:2014.”</i>	107
3.8.1.1	<i>Objetivos y requerimientos de la norma.</i>	107
3.8.1.2	<i>Normativa para consulta.</i>	107
3.8.1.3	<i>Métodos de ensayo.</i>	108
3.8.1	<i>Normativa “ASTM 4023-13: 2018.”</i>	111
3.8.1.1	<i>Objetivos y requerimientos de la norma.</i>	111
3.8.1.2	<i>Clasificación por niveles.</i>	111
3.8.1.3	<i>Clasificación por modalidades de ciclismo.</i>	113
3.9	SELECCIÓN DE MATERIALES.	114
3.9.1	<i>Selección de materiales para la llanta.</i>	114
3.9.1.1	<i>Proceso para la selección de materiales.</i>	114
3.9.1.2	<i>Selección de materiales en el Nivel 2 de GRANTA Edupack.</i>	115
3.9.1.3	<i>Selección de material final en el Nivel 2.</i>	122
3.9.1.4	<i>Selección de materiales en el Nivel 3 de GRANTA Edupack.</i>	122
3.9.1.5	<i>Selección final del material en el Nivel 3.</i>	128
3.10	ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.	130
3.11	ESTUDIO ECONÓMICO	130
3.11.1	<i>Precio de venta al público del conjunto de la rueda en el mercado actual.</i>	130
3.11.2	<i>Estudio de viabilidad del proyecto.</i>	132
3.11.2.1	<i>Cálculo del coste del producto.</i>	133
3.11.2.2	<i>Cálculo de los costes de mano de obra.</i>	135
3.11.2.3	<i>Cálculo de los costes en equipamiento.</i>	136
3.11.2.4	<i>Cálculo de los costes indirectos básicos.</i>	137
3.11.2.5	<i>Determinación de las unidades anuales a montar.</i>	139
3.11.2.6	<i>Cálculo de costes de ensamblaje.</i>	139
3.11.2.7	<i>Escandallo con el P.V.P del conjunto.</i>	140

4. CONCLUSIONES	144
5. APÉNDICES	148
5.1 BIBLIOGRAFÍA.	150
5.2 LISTADO DE NORMATIVA.	151
5.3 PLANOS.....	152

ABREVIATURAS Y CONCEPTOS

ABREVIATURAS /	SIGNIFICADO
<i>MTB</i>	Mountainbike, Ciclismo de montaña
<i>RIM</i>	Llanta o Aro
<i>HUB</i>	Buje
<i>SPOKE</i>	Radio
<i>NIPPLE</i>	Cabecilla
<i>ERD</i>	Diámetro efectivo de la rueda
<i>PITCH CIRCLE RIGHT</i>	Diámetro efectivo del ala derecha del buje
<i>PITCH CIRCLE LEFT</i>	Diámetro efectivo del ala izquierda del buje
<i>FLANGE DISTANCE RIGHT</i>	Distancia del ala derecha del buje respecto al centro
<i>FLANGE DISTANCE LEFT</i>	Distancia del ala izquierda del buje respecto al centro
<i>P.V.P</i>	Precio de venta al público

LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1; Celerífero.....	19
Ilustración 2; Biciclo del 1880 y Bicicleta de seguridad Rover.....	19
Ilustración 3; Bicicleta de seguridad.....	20
Ilustración 4; Publicidad de la marca ROVER.....	20
Ilustración 5; Evolución de las biciletas desde 1818 hasta la actualidad.....	21
Ilustración 6; Rueda de madera de un Velocípedo.....	22
Ilustración 7; Bicicleta de Seguridad Rover o Safety Rover.....	22
Ilustración 8; John Boyd Dunlop con ruedas que incluían la cámara y la cubierta.....	23
Ilustración 9; Bicicleta ORBEA de los años 80.....	23
Ilustración 10; Conjunto de ruedas MAVIC HELIUM.....	24
Ilustración 11; Conjunto de ruedas de carbono DT Swiss.....	24
Ilustración 12; Rueda DT Swiss completa.....	25
Ilustración 13; Llanta de aluminio de DT Swiss XR391.....	25
Ilustración 14; Llanta de fibra de carbono de DT Swiss X432.....	26
Ilustración 15; Cabecilla seccionada.....	26
Ilustración 16; Cabecilla.....	26
Ilustración 17; Radio recto.....	27
Ilustración 18; Radio conificado con ángulo de 90° a 95° en forma de "jota".....	27
Ilustración 19; Estudio por elementos finitos de las tensiones en el alojamiento del radio en el ala del buje.....	27
Ilustración 20; Esquema de la repartición de la carga entre los radios.....	28
Ilustración 21; Evolución cíclica de las cargas.....	28
Ilustración 22; Buje delantero.....	29
Ilustración 23; Buje trasero.....	29
Ilustración 24; Esquema de cómo afecta el diámetro del ala a la longitud del radio.....	29
Ilustración 25; Comparativa de la rueda 26" con la rueda de 29".....	30
Ilustración 26; Comparativa de los diferentes tamaños de ruedas y su huella.....	30
Ilustración 27; Comparativa de los diferentes tamaños de rueda incluyendo las nuevas medidas.....	31
Ilustración 28; Bicicleta GT con rueda delantera de 29" y rueda trasera de 27.5".....	31
Ilustración 29; Esquema de las fuerzas que afectan a la rueda.....	32
Ilustración 30; Esquema explicativo de donde se aplicarían las fuerzas radiales.....	32
Ilustración 31; Esquema explicativo de donde se aplicarían y como deformaría la rueda las fuerzas laterales.....	33
Ilustración 32; Esquema de como afectaría la torsión a los radios.....	33
Ilustración 33; Esquema explicativo de donde se aplicaría la torsión.....	34
Ilustración 34; Esquema comparativo de los distintos tamaños de rueda.....	34
Ilustración 35; Definición del ERD.....	35
Ilustración 36; Ejemplo de diferentes anchuras internas de la llanta.....	35
Ilustración 37; Diferencia entre un perfil de llanta alto y un perfil de llanta bajo.....	35
Ilustración 38; Lanta con perfil asimétrico de DT Swiss XR 361.....	36
Ilustración 39; Diferentes dimensiones de cabecillas seccionadas.....	36
Ilustración 40; Cabecilla Thorx y cabecilla Hexagonal.....	37
Ilustración 41; Tipos de fijación para las roscas de las cabecillas.....	37
Ilustración 42; Calculadora Online del fabricante suizo "DT Swiss".....	37
Ilustración 43; Ejemplo de diferentes formas de los radios.....	38
Ilustración 44; Ejemplo de patrón radial.....	39
Ilustración 45; Diferentes número de cruces del radiado.....	39
Ilustración 46; Diferencia entre el patrón radial y el patrón de radiado tangencial.....	40
Ilustración 47; Ejemplo de patrón de radiado híbrido.....	40
Ilustración 48; Ejemplo del patrón de radiado mixto.....	40
Ilustración 49; Comparativa de tensiones en rueda delantera y trasera.....	41
Ilustración 50; Buje con eje con cierre rápido.....	41

Ilustración 51; Buje con eje pasante.	42
Ilustración 52; Paso 1 Método Key Spokes.....	43
Ilustración 53; Paso 2 Método Key Spokes.....	43
Ilustración 54; Paso 3 Método Key Spokes.....	43
Ilustración 55; Paso 4 Método Key Spokes.....	43
Ilustración 56; Paso 5 Método Key Spokes.....	43
Ilustración 57; Paso 6 Método Key Spokes.....	43
Ilustración 58; Paso 1 Método de radiado de Schraner.....	44
Ilustración 59; Final paso 1 Método Schraner.....	44
Ilustración 60; Paso 2 Método Schraner.....	45
Ilustración 61; Final paso 2 Método Schraner.....	46
Ilustración 62; Paso 3 Método Schraner.....	46
Ilustración 63; Final paso 3 Método Schrande.....	47
Ilustración 64; Paso 3 Método Schraner.....	47
Ilustración 65; Paso 5 Método Schraner.....	48
Ilustración 66; Final paso 5 Método Schraner.....	48
Ilustración 67; Paso 6 Método Schraner.....	49
Ilustración 68; Final paso 6 Método Schraner.....	49
Ilustración 69; Paso 7 Método Schraner.....	50
Ilustración 70; Resultado final del radiado con el Método Schraner.....	50
Ilustración 71; Representación de cómo se observaría una rueda con un descentrado lateral.....	51
Ilustración 72; Centrador de ruedas con relojes comparadores.....	51
Ilustración 73; Ejemplo de centrado radial.....	52
Ilustración 74; Representación de zonas con salto y zonas valle.....	52
Ilustración 75; Comparador de alineado de una rueda o Aparaguador.....	52
Ilustración 76; Representación del uso del aparaguador.....	53
Ilustración 77; Tensiómetro calibrado.....	53
Ilustración 78; Logotipo de la marca “DT Swiss”.....	62
Ilustración 79; Logotipo del software “Creo Parametric”.....	62
Ilustración 80; Logotipo del software “Granta Edupack”.....	62
Ilustración 81; Sección acotada de la llanta.....	64
Ilustración 82; Diámetro del ala del buje derecho.....	65
Ilustración 83; Diámetro de la ala del buje izquierdo.....	65
Ilustración 84; Separación respecto al centro del buje derecha.....	65
Ilustración 85; Distancia respecto al centro del buje izquierda.....	65
Ilustración 86; Diámetro de los alojamientos para los radios.....	65
Ilustración 87; Calculadora Online DT Swiss.....	67
Ilustración 88; instancia nº 1.....	68
Ilustración 89; Instancia nº 2.....	68
Ilustración 90; Instancia nº 3.....	69
Ilustración 91; Instancia nº 4.....	69
Ilustración 92; Instancia nº 5.....	70
Ilustración 93; Instancia nº 6.....	70
Ilustración 94; Instancia nº 7.....	71
Ilustración 95; Instancia nº 8.....	71
Ilustración 96; Parámetros generados en el archivo de Creo.....	73
Ilustración 97; Tabla de familia generada en Creo.....	74
Ilustración 98; Modelo genérico del conjunto e instancia nº1.....	75
Ilustración 99; Árbol del modelo CAD.....	76
Ilustración 100; Árbol del esqueleto del modelo CAD.....	76
Ilustración 101; Esqueleto de la llanta.....	77
Ilustración 102; Esqueleto de los radios.....	77
Ilustración 103; Esqueleto del buje.....	78

Ilustración 104; Modelización de la llanta genérica.	79
Ilustración 105; Modelización de la cabecilla genérica.	79
Ilustración 106; Modelización de los radios.	80
Ilustración 107; Modelización del buje genérico.	80
Ilustración 108; Modelización del conjunto de la rueda.	81
Ilustración 109; Representación del ángulo respecto a la vertical.	85
Ilustración 110; Ángulo entre agujeros de la llanta.	86
Ilustración 111; Datos calculo primer agujero de la llanta.	86
Ilustración 112; Origen de coordenadas Llanta plano XZ.	86
Ilustración 113; Origen de coordenadas de la Llanta plano ZY.	87
Ilustración 114; Representación del triángulo rectángulo con todos los datos conocidos.	87
Ilustración 115; Representación del Punto “L” en el plano ZY.	88
Ilustración 116; Representación del triángulo rectángulo con todos los datos conocidos.	88
Ilustración 117; Representación del Punto “L” en el plano XZ.	89
Ilustración 118; Representación del Punto “B” en el buje.	89
Ilustración 119; Representación del ángulo “ β ” en el ala derecha del buje.	90
Ilustración 120; Representación de los datos en el ala derecha del buje.	90
Ilustración 121; Representación del ala derecha del buje en el plano XZ.	91
Ilustración 122; Representación del buje en el plano ZY.	92
Ilustración 123; Representación Puntos “L” y “B” en el plano XZ.	93
Ilustración 124; Representación Puntos “L” y “B” en el plano XZ.	93
Ilustración 125; Representación del ángulo formado por los Puntos “L” y “B” en el plano XZ.	94
Ilustración 126; Representación ampliada de la ilustración anterior.	94
Ilustración 127; Representación de las longitudes de “ZL” y “ZB”.	95
Ilustración 128; Representación de las longitudes de “XL” y “XB”.	95
Ilustración 129; Representación de la longitud del radio en el plano “XZ”.	96
Ilustración 130; Representación del radio en el plano “ZY”.	97
Ilustración 131; Representación de la longitud del radio final en el plano “ZY”.	98
Ilustración 132; Vista isométrica y frontal de la instancia nº1.	102
Ilustración 133; Vista isométrica y frontal de la instancia nº2.	103
Ilustración 134; Vista isométrica y frontal de la instancia nº3.	103
Ilustración 135; Vista isométrica y frontal de la instancia nº4.	104
Ilustración 136; Vista isométrica y frontal de la instancia nº5.	105
Ilustración 137; Vista isométrica y frontal de la instancia nº6.	105
Ilustración 138; Vista isométrica y frontal de la instancia nº7.	106
Ilustración 139; Vista isométrica y frontal de la instancia nº8.	107
Ilustración 140; Conjunto rueda/llanta – Precisión de rotación para bicicletas de paseo, jóvenes adultos y de montaña.	108
Ilustración 141; Conjunto rueda/neumático – Ensayo estático de resistencia.	109
Ilustración 142; Ensayos de efecto invertido para ruedas de material compuesto.	110
Ilustración 143; Conjunto rueda/neumático - Ensayo a fatiga.	111
Ilustración 144; Categoría 1 ASTM 4023-13:2018.	111
Ilustración 145; Categoría 2 ASTM 4023-13:2018.	112
Ilustración 146; Categoría 3 ASTM 4023-13:2018.	112
Ilustración 147; Categoría 4 ASTM 4023-13:2018.	112
Ilustración 148; Categoría 5 ASTM 4023-13:2018.	113
Ilustración 149; Categoría peso máximo ASTM 4023-13:2018.	113
Ilustración 150; Tabla de modalidades de ciclismo con las categorías ASTM.	114
Ilustración 151; Tabla de modalidades de MTB según norma ASTM.	116
Ilustración 152; Etapa 1 del Nivel 2– Selección de materiales.	117
Ilustración 153; Etapa 2 del Nivel 2 – Selección de materiales.	119

Ilustración 154; Etapa 3 del Nivel 2 – Selección de materiales.	119
Ilustración 155; Etapa 4 del Nivel 2 – Selección de materiales.	120
Ilustración 156; Etapa 5 del Nivel 2 – Selección de materiales.	121
Ilustración 157; Materiales posibles en el Nivel 2.	121
Ilustración 158; Selección material, nivel 2.	122
Ilustración 159; Etapa 1 del Nivel 3 – Selección de materiales.	123
Ilustración 160; Etapa 2 del nivel 3 - Selección de materiales.	124
Ilustración 161; Etapa 3 del Nivel 3 – Selección de materiales.	125
Ilustración 162; Etapa 4 del Nivel 3 – Selección de materiales.	125
Ilustración 163; Etapa 5 del Nivel 3 – Selección de materiales.	126
Ilustración 164; Etapa 6 del Nivel 3 – Selección de materiales.	127
Ilustración 165; Materiales posibles en el nivel 3.	127

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1; Tabla de las distintas configuraciones de ruedas creadas para este proyecto.	66
Tabla 2; Definición de los parámetros del archivo CAD.	73
Tabla 3; Tabla de familia en formato de hoja de cálculo.	74
Tabla 4; Componentes de la instancia nº1, ejemplo para el cálculo.	84
Tabla 5; Valores de las características técnicas de la instancia nº1.	85
Tabla 6; Tabla resumen del Punto “L” de la llanta.	89
Tabla 7; Tabla resumen del Punto “B” del buje.	93
Tabla 8; Definición de los valores del triángulo rectángulo obtenido.	96
Tabla 9; Definición del triángulo rectángulo obtenido.	97
Tabla 10; Resultado de la longitud del radio calculado.	98
Tabla 11; Tabla de las longitudes de los radios según la calculadora de DT Swiss.	99
Tabla 12; Tabla de las longitudes de los radios según el diseño paramétrico.	99
Tabla 13; Comparativa de las longitudes de los radios de la parte derecha de la instancia nº1.	100
Tabla 14; Comparativa de las longitudes de los radios de la parte derecha.	100
Tabla 15; Comparativa de las longitudes de los radios de la parte izquierda.	101
Tabla 16; Promedios del porcentaje de error.	101
Tabla 17; Características técnicas de la instancia nº1.	102
Tabla 18; Características técnicas de la instancia nº2.	102
Tabla 19; Características técnicas de la instancia nº3.	103
Tabla 20; Características técnicas de la instancia nº4.	104
Tabla 21; Características técnicas de la instancia nº5.	104
Tabla 22; Características técnicas de la instancia nº6.	105
Tabla 23; Características técnicas de la instancia nº7.	106
Tabla 24; Características técnicas de la instancia nº8.	106
Tabla 25; Tabla de datos y resultados de la Tensión equivalente radial en la llanta.	116
Tabla 26; Tabla de datos y resultados de la Densidad aparente en la llanta.	116
Tabla 27; Tabla de límites de las propiedades de la Etapa 1.	117
Tabla 28; Tabla límite inferior de las propiedades de la Etapa 2.	118
Tabla 29; Tabla límite superior de las propiedades de la Etapa 2.	118
Tabla 30; Tabla límite de las propiedades de la Etapa 2.	118
Tabla 31; Tabla de límites de las propiedades de la Etapa 2.	123
Tabla 32; Límites para la etapa 3 en el nivel 3.	124
Tabla 33; Tabla de P.V.P de la instancia nº1.	131
Tabla 34; Tabla de P.V.P de la instancia nº2.	131
Tabla 35; Tabla de P.V.P de la instancia nº3.	131
Tabla 36; Tabla de P.V.P de la instancia nº4.	131
Tabla 37; Tabla de P.V.P de la instancia nº5.	132
Tabla 38; Tabla de P.V.P de la instancia nº6.	132
Tabla 39; Tabla de P.V.P de la instancia nº7.	132
Tabla 40; Tabla de P.V.P de la instancia nº8.	132
Tabla 41; Tabla de coste del producto de la instancia nº1.	133
Tabla 42; Tabla de coste del producto de la instancia nº2.	133
Tabla 43; Tabla de coste del producto de la instancia nº3.	134
Tabla 44; Tabla de coste del producto de la instancia nº4.	134
Tabla 45; Tabla de coste del producto de la instancia nº5.	134
Tabla 46; Tabla de coste del producto de la instancia nº6.	134
Tabla 47; Tabla de coste del producto de la instancia nº7.	135
Tabla 48; Tabla de coste del producto de la instancia nº8.	135
Tabla 49; Tabla resumen de los salarios.	135

Tabla 50; Tabla resumen de los costes en recursos humanos.....	136
Tabla 51; Tabla con el número de empleados y de configuraciones.....	136
Tabla 52; Tabla con las unidades de equipamiento necesario.....	136
Tabla 53; Tabla con los costes de equipamiento necesario.....	136
Tabla 54; Tabla con oferta de alquiler nº1.....	137
Tabla 55; Tabla con oferta de alquiler nº2.....	137
Tabla 56; Tabla con oferta de alquiler nº3.....	137
Tabla 57; Tabla con oferta de alquiler nº4.....	137
Tabla 58; Costes mensuales y anuales de alquiler.....	138
Tabla 59; Costes de energía mensuales y anuales.....	138
Tabla 60; Tabla resumen costes indirectos más el coste en seguros.....	138
Tabla 61; Costes de ensamblaje y distribución.....	138
Tabla 62; Tabla resumen costes indirectos anuales.....	138
Tabla 63; Tabla con Salario bruto, Horas laborales 2021 y Coste bruto por hora.....	139
Tabla 64; Tabla con número total de horas laborales entre todos los empleados.....	139
Tabla 65; Total de unidades de ruedas ensambladas al año.....	139
Tabla 66; Costes totales el primer año.....	140
Tabla 67; Costes por unidad ensamblada.....	140
Tabla 68; Tabla con PVP final de la instancia nº1.....	140
Tabla 69; Tabla con PVP final de la instancia nº2.....	141
Tabla 70; Tabla con PVP final de la instancia nº3.....	141
Tabla 71; Tabla con PVP final de la instancia nº4.....	141
Tabla 72; Tabla con PVP final de la instancia nº5.....	141
Tabla 73; Tabla con PVP final de la instancia nº6.....	142
Tabla 74; Tabla con PVP final de la instancia nº7.....	142
Tabla 75; Tabla con PVP final de la instancia nº8.....	142

1. INTRODUCCIÓN



1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 Contexto histórico de la bicicleta.

Para poder saber de dónde surgió el primer concepto de bicicleta como vehículo de dos ruedas debemos remontarnos al 1791 en el cual el francés *Mede Sivrac* inventó el “Celerífero” o también llamado el “Caballo de ruedas”.



Ilustración 1; Celerífero.

Como la histórica muestra el ciclismo durante los últimos ciento años ha sufrido una evolución muy progresiva sin grandes cambios, para poder observar la última gran evolución en el sector tenemos que remontarnos a la evolución del Biciclo, bicicletas de los años 1870, con la rueda delantera sobredimensionada con un diámetro 1.6m o 1.2m siendo varias veces superior a la de la rueda trasera, dando paso a la llamada “Bicicleta de seguridad” o “Safety Bicycle” en el mundo anglosajón.

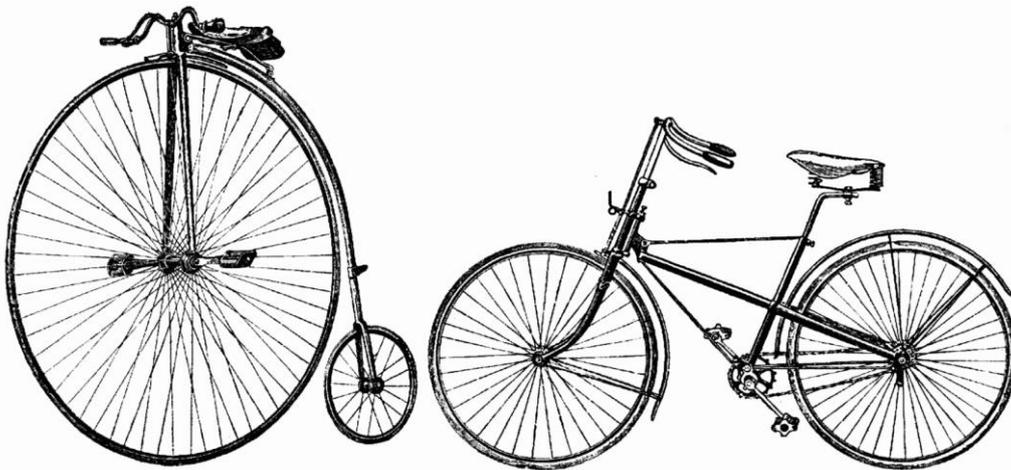


Ilustración 2; Biciclo del 1880 y Bicicleta de seguridad Rover.

Este nuevo concepto que fue desarrollado en la década de 1880 por el inventor e ingeniero *John Kemp Starley* de nacionalidad británica, el cual en el año 1885 diseña la conocida “Rover safety” o “Bicicleta de seguridad Rover” que se convierte en la primera bicicleta comercialmente exitosa.

La primera “Bicicletas de seguridad Rover” conocidas y utilizadas mayormente en el mundo anglosajón fueron fabricadas por la marca que regentaba el propio *John Kemp*, dicha marca se llamaba Rover.



Ilustración 3; Bicicleta de seguridad.

El diseño de este modelo de bicicleta rompía totalmente con el concepto que estaba establecido en esa época, ya que con este nuevo concepto se igualaba el tamaño de ambas ruedas de la bicicleta, también se bajó el posicionamiento de los pedales para así rebajar el posicionamiento de los pies del ciclista mejorando su manejabilidad y así mismo alejando los pies de la rueda delantera tal y como no sucedía en los bicis. Además de incluir un sistema de transmisión de tracción en la rueda trasera mediante una transmisión por cadena que incluía bielas y engranajes, también se incorporó la conducción directa con un manillar con horquilla que mejoraba la conducción y la maniobrabilidad de la misma y finalmente incluyendo un sistema de frenado.

Tal fue el impacto que la revista *The Cycling* afirmó que la “Bicicleta de seguridad Rover” había creado un patrón de alcance mundial, frase que posteriormente utilizaron en sus anuncios “The “Rover” has set the fashion to the world” en inglés.



Ilustración 4; Publicidad de la marca ROVER.

Poco tiempo después, concretamente en el 1888 se incorporará la invención del neumático, que junto a la evolución del concepto de “Cuadro diamante”, cuya característica principal de esta evolución, fue la incorporación de formas geométricas en forma de triángulos en los cuadros de la bicicleta, con lo cual ya se podía considerar la bicicleta como un vehículo seguro y deseable que se constituyó como el antecedente a lo que hoy en día conocemos como bicicleta.

Quedando presente la evolución de la bicicleta de forma esquemática mediante la imagen inferior desde como mediante el concepto de “Celerífero” que fue anterior al “Velocipedo” hasta la actualidad.

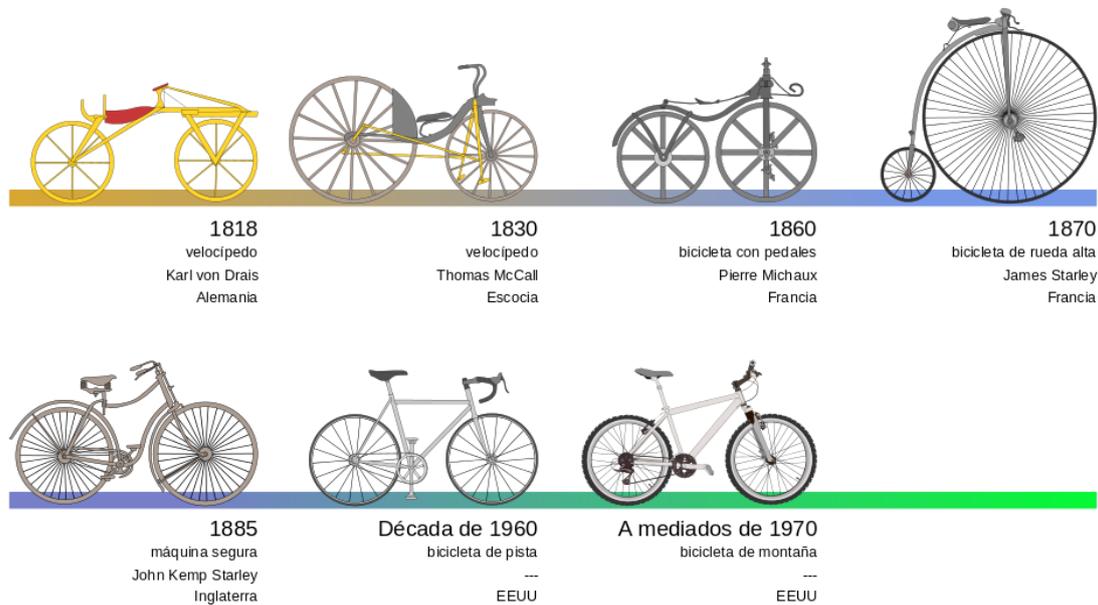


Ilustración 5; Evolución de las bicicletas desde 1818 hasta la actualidad.

1.1.2 Contexto histórico de la rueda en la bicicleta.

Para poder entender la evolución de la rueda en la industria del ciclismo, debemos tener claro que la rueda es una de las invenciones técnicas más importantes para la humanidad.

Partiendo que las ruedas de una bicicleta son muy distintas a la de otros vehículos, también debemos tener en cuenta que las fuerzas a las que esta sometidas son mucho menores debido al reducido peso del ciclista y por la limitada potencia humana, a causa de este factor las ruedas deben contar con una mayor ligereza, alta capacidad de reacción para poder acelerar y escalar de forma ágil, además de tener la mínima resistencia al viento posible.

Por lo tanto, la historia de la evolución de la rueda en la bicicleta ha sido lenta e inapreciable en este sector.

Las ruedas de bicicleta estaban formadas por un aro exterior o también llamado llanta, un buje que integra el eje de giro y los radios que unen estas dos partes de la rueda. Las primeras llantas fueron de madera por la nula capacidad técnica de fabricar perfiles de acero, los radios y el buje fueron de madera, pero rápidamente pasaron a ser metálicos. Debido a que el aro exterior era de madera el número de radios que se utilizaban era muy alto.



Ilustración 6; Rueda de madera de un Velocípedo.

El comportamiento de las primeras ruedas fabricadas con madera, se podían decir que eran mediamente rígidas, que difícilmente era posible centrarlas o equilibrarlas, por lo tanto, pasando a ser un tipo de rueda muy rudimentario.

El mayor paso en la evolución de las ruedas de bicicleta fue cuando gracias a la evolución tecnológica de las industrias se empezaron a fabricar perfiles de acero, ya que con esta mejora tecnológica favoreció el uso de perfiles de acero en el aro exterior de las ruedas de bicicleta, permitiendo bajar el espesor de los radios y reducir el número de los mismos, quedando en 36 radios, mediante los cuales se obtiene una mayor rigidez, mejor comportamiento frente a impactos y un mejor manejo.



Ilustración 7; Bicicleta de Seguridad Rover o Safety Rover.

Años después de ese avance, también se permitió que durante la década de 1890 se desarrollara las primeras pinceladas de los neumáticos que conocemos hoy en día, formados por la cámara de tela y caucho, y la cubierta.

La cámara de tela y caucho se hinchaba y se colocaba en la llanta, y para disminuir los pinchazos y mejorar el agarre se inventó la cubierta de caucho que también se colocaba encima de la cámara, esta invención fue desarrollada por el inglés *John Boyd Dunlop* que desde que fueron creados casi no han sufrido cambios.

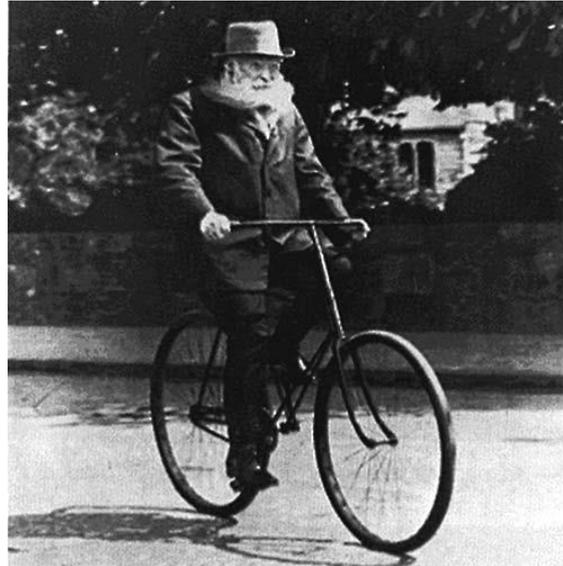


Ilustración 8; John Boyd Dunlop con ruedas que incluían la cámara y la cubierta.

Tras esta invención se siguió desarrollando e investigando el conjunto de la rueda para la mejora de prestaciones, la reducción de peso del conjunto y para aumentar su rigidez.

Pero debemos tener presente que la reducción de peso siempre va condicionada por la rigidez final del conjunto de la rueda, por lo cual durante la década de los 70 se incorporó el aluminio como material con el se podía fabricar la llanta, así como los elementos que componen el buje

Finalmente, en la década de los 80 en la que los pesos y la rigidez eran similares a los de la actualidad, también se redujo en número de radios quedando en un estándar de 32 radios y en algunos casos excepcionales a la cifra de 28 radios.



Ilustración 9; Bicicleta ORBEA de los años 80.

Durante la década de los años 90, se produjo una evolución similar a que se produjo en cuando el material de la llanta pasó de ser de madera a ser de acero, en esta década se empezó a fabricar las primeras ruedas de materiales compuestos apareciendo las ruedas ventriculares o de palos fabricadas en fibra de carbono centrados en la mejor la aerodinámica y la inercia.

Pero durante el final de esta década fabricantes como *Alpina* o *Mavic* apostaron por unos montajes integrales de ruedas de gama alta para la práctica del mountainbike utilizando los materiales de más alta tecnología de la época, tras el éxito obtenido se han quedado como un referente el "diseño integral".



Ilustración 10; Conjunto de ruedas MAVIC HELIUM.

Continuando con la tendencia clásica de reducción del número de radios, la utilización de perfiles mejorados, el rediseño de los bujes para minimizar su masa en busca de una mayor rigidez y una mejor solidez a cambio de bajar su peso.

Las evoluciones en este campo no han sido fruto de ciencia empírica, sino que con la utilización del diseño asistido por ordenador (CAD) se ha podido experimentar sobre nuevos tipos de montajes con diferentes combinaciones y diferentes materiales, para poder saber que mediante estas simulaciones el número de radios se podía reducir hasta el mínimo y poder reducir el peso de los bujes en hasta un 50% sin comprometer sus características si su fiabilidad.



Ilustración 11; Conjunto de ruedas de carbono DT Swiss.

1.1.3 Definición de los componentes de una rueda.

En este apartado voy a proceder a exponer las definiciones de los diferentes componentes que forman una rueda de bicicleta, que voy a analizar en este trabajo de final de grado, primero paso a enumerarlos desde el exterior de la rueda hacia el interior, el primer componente que está más alejado del centro es la llanta o aro exterior, el siguiente elemento son las cabecillas, a continuación, pasamos a los radios y finalmente en el centro el buje.



Ilustración 12; Rueda DT Swiss completa.

- **Llanta o Aro:**

Es el elemento que aporta la estructura circular a la rueda, que es la encargada de soportar el neumático. La llanta es el elemento donde confluyen las fuerzas laterales y de torsión en dirección opuesta a las generadas por los radios y otras fuerzas longitudinales producida por el peso del ciclista y las irregularidades que presente el terreno por el que circule que son amortiguadas por el neumático.

En cuanto a la fabricación de dicho elemento debemos tener en cuenta el material con el que vamos a fabricar el aro, ya que las llantas de aluminio son fabricadas a partir de un perfil que ha sido curvado mediante un laminado en frío, uniendo los dos extremos mediante un sistema de enclavijado, soldadura o pegado, para posteriormente recibir un tratamiento de optimización o de rectificado mediante un maquina CNC.



Ilustración 13; Llanta de aluminio de DT Swiss XR391.

En cuanto a las llantas que fabricamos con materiales compuestos, como es el caso de las llantas fabricadas en fibra de carbono, se fabrican con la ayuda de un molde donde se superponen capas de tejido de fibras para posteriormente recibir un prensado al mismo tiempo que se le añade resina que homogeniza la estructura de la llanta.



Ilustración 14; Llanta de fibra de carbono de DT Swiss X432.

En el mountainbike las llantas generalmente tienen un perfil bajo, esto ayuda a disminuir la resistencia al viento, pero por el contrario su rigidez disminuye haciendo trabajar más a los siguientes elementos como son los radios y las cabecillas, porque las ruedas con un menor número de radios son las que tienen un perfil mayor.

- **Cabecillas:**

Las cabecillas son los elementos que van roscados a el extremo superior de los radios, además las cabecillas son las encargadas de unir el radio con la llanta ya que las cabecillas son introducidas en la llanta y luego se ajustan utilizando su rosca. Este elemento tiene que soportar la tracción que le genera la tensión de los radios.



Ilustración 15; Cabecilla seccionada.



Ilustración 16; Cabecilla.

Si utilizamos cabecillas de aluminio, debemos tener en cuenta que debido a las condiciones atmosféricas se produce oxidación del aluminio entre el radio y la rosca del radio, por lo que debemos cambiarlos cada dos o tres años, pero actualmente las cabecillas vienen selladas para evitar este fenómeno.

Además, las cabecillas de aluminio nos permiten una menor capacidad de apriete, en cambio las cabecillas de latón permiten un mayor par de apriete y pueden soportar una mayor tensión.

- **Radios:**

Dependiendo del tipo de buje que vayamos a montar existen diferentes tipos de radios, los cuales son más frecuentes en el mercado, los radios de cabeza recta o los radios clásicos también llamados debido a su forma como "jota".

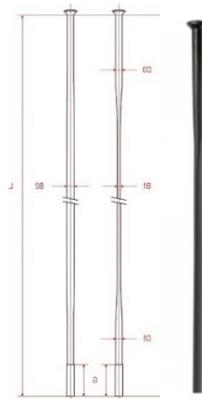


Ilustración 17; Radio recto.

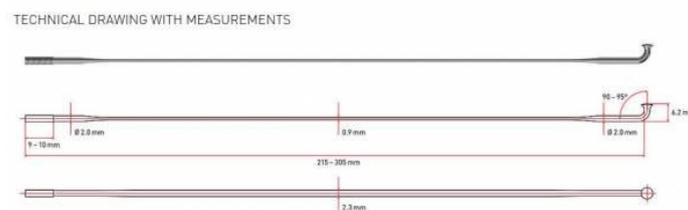


Ilustración 18; Radio conificado con ángulo de 90° a 95° en forma de "jota".

Los radios son los encargados de comunicar la llanta con el buje, siendo parte imprescindible de la estructura de la rueda, ya que son los que aportan la rigidez lateral, el coeficiente de absorción y en el caso de la rueda trasera los encargados de la tracción.

Hoy en día es muy común tener radios de distintos materiales, los más frecuentes son los de acero que son fabricados por laminado en frío o por forjado en frío.

Las zonas más conflictivas en los radios son los extremos, esas zonas son las zonas por las que se suele romper el radio con mayor frecuencia, por esta razón los radios que son aligerados reduciendo su sección en las partes centrales y en los extremos encontramos que su sección aumenta para poder prevenir estas sollicitaciones máximas.

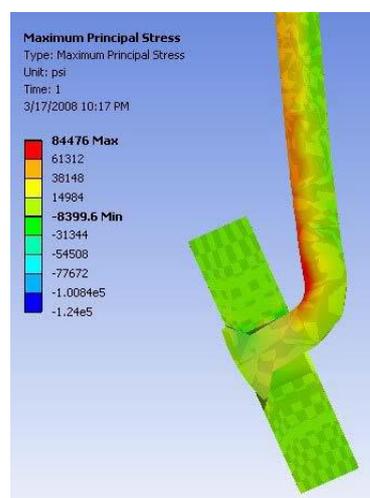


Ilustración 19; Estudio por elementos finitos de las tensiones en el alojamiento del radio en el ala del buje.

Por lo que para que un radio soporte todos los esfuerzos y trabaje a pleno rendimiento debemos montarlo de forma que este perfectamente alojado tanto en llanta como en el buje, ya que cuando se producen apoyos inclinados su resistencia baja de forma muy acusada debido a que los radios trabajan bajo cargas cíclicas es decir trabajan a fatiga.

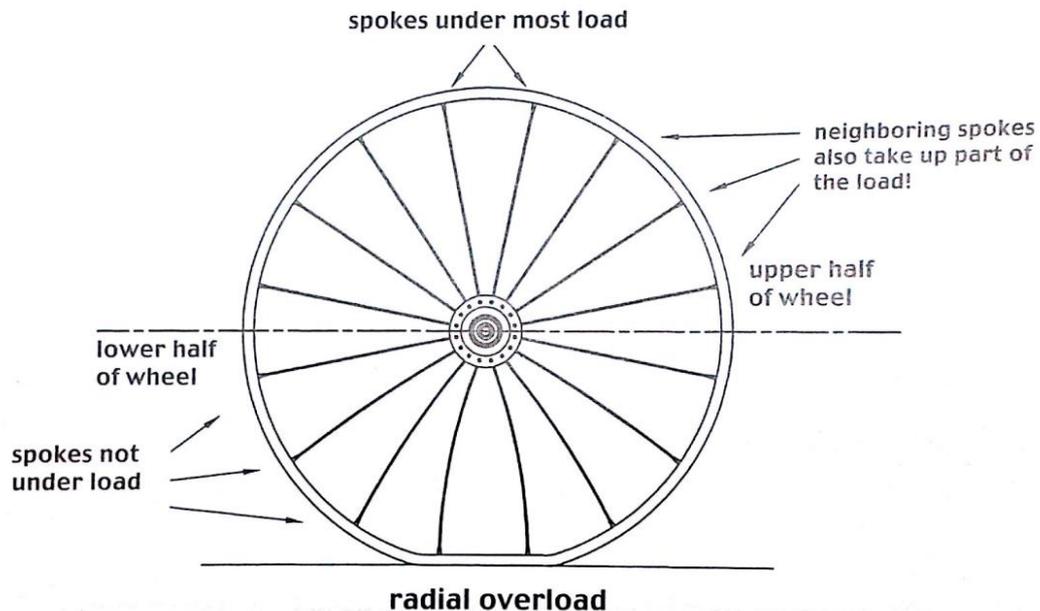


Ilustración 20; Esquema de la repartición de la carga entre los radios,

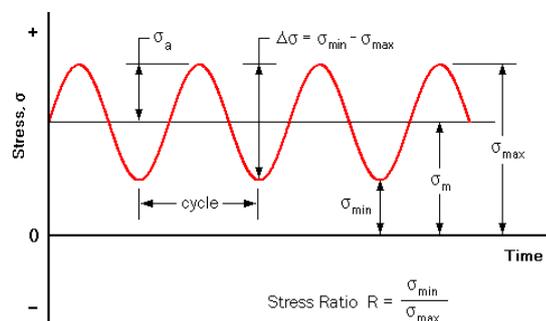


Ilustración 21; Evolución cíclica de las cargas.

Debemos saber que los radios son una de las partes más importantes de la bicicleta si hablamos sobre el efecto que tienen en la penetración aerodinámica, ya que padecen una fuerza frontal que les provoca el viento y además el propio giro puede generar corrientes turbulentas que puede afectar negativamente a la aerodinámica de la bicicleta.

- **Buje:**

Los bujes son los elementos encargados de aportar la rigidez a la rueda ya que es la pieza que va anclada al cuadro, debido a que está anclado al cuadro debemos tener en cuenta que el diámetro del eje y el apriete que tenga son parámetros muy importantes a tener en cuenta.

Los bujes son los que unen los radios, además de alojar el tren de rodadura y la rueda libre del piñón en el caso del buje trasero.

Una de las partes más importantes en el buje son las alas, dichas partes del buje es donde se alojan los radios, otra parte importante es el alojamiento del conjunto del eje y los rodamientos que permiten que la rueda gire.

En primer lugar, el buje delantero podemos observar que es un elemento simétrico, mientras que en el buje trasero esta descentrado para poder instalar la piñonera que permitirá la transmisión del par.



Ilustración 22; Buje delantero.



Ilustración 23; Buje trasero.

Uno de los parámetros que puede afectar a la rigidez de la rueda es el diámetro de las alas, por el cual a medida que aumentamos el diámetro de las alas los radios reducen su longitud y como consecuencia, la rueda se vuelve más rígida, pero en contra partida el ángulo del radio es menor sobre la perpendicular del eje de giro haciendo que los radios trabajen a una mayor fuerza lateral.

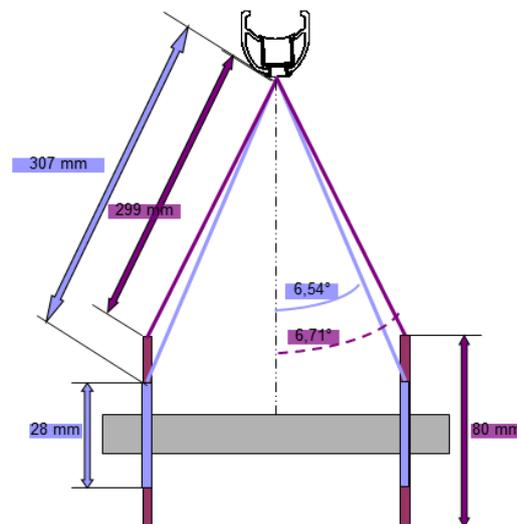


Ilustración 24; Esquema de cómo afecta el diámetro del ala a la longitud del radio.

1.1.4 Evolución de las ruedas dentro del MTB.

Cuando aparecieron los primeros modelos de bicicletas de MTB, no se sabía con exactitud qué medida de ruedas se iban a utilizar, pero en ese momento el tamaño elegido fue el de las ruedas de 26 pulgadas eran las que mejor se adaptaban a la necesidad y a la geometría de los cuadros de la época ya que se debían montar ruedas con un grosor mayor.

Pero un tiempo más tarde la marca norteamericana "WTB" que primero desarrolló las cubiertas de 29 pulgadas y las horquillas las fabricó "White Brothers", las cuales se popularizaron. Pero no fue hasta años más tarde cuando las principales marcas no decidieron incluirlas en sus catálogos aumentando su expansión hasta hoy en día.



Ilustración 25; Comparativa de la rueda 26" con la rueda de 29".

Para comprender mejor las ventajas y las razones por las cuales las ruedas de 29 pulgadas se han establecido en el mercado actual, debemos tener en cuenta que la medida de 29 pulgadas va referida a el diámetro exterior de la cubierta ya que el diámetro de la llanta es de 622mm (24.5 pulgadas), una vez aclarado la medida paso a describir sus ventajas:

Las ventajas de poder sobrepasar obstáculos grandes con mayor facilidad que con las ruedas de 26", esto es debido a que el ángulo de ataque, ya que cuanto mayor sea el diámetro de la rueda menor será el obstáculo facilitando la rodadura por encima de él. Otra ventaja es poder mantener la velocidad con un menor esfuerzo debido a que el peso está más separado del centro incrementando la inercia de la misma, finalmente las ruedas de 29" mejoran la tracción ya que la superficie en contacto con el suelo es más alargada que las de 26".



Ilustración 26; Comparativa de los diferentes tamaños de ruedas y su huella.

En contra posición de esta nueva evolución surgieron algunas desventajas como la pérdida de rigidez lateral por culpa del aumento en el diámetro, unas aceleraciones

más lentas debido a una mayor inercia y una peor manejabilidad en zonas reviradas, entre otras.

Unido a estas desventajas surgieron las ruedas de 27.5 pulgadas que buscaban mitigar esas desventajas y combinar las ventajas de las ruedas de 29" anteriormente descritas y las ventajas de las ruedas de 26" que aportaban mejor manejo y ligereza, llegando y estableciéndose en las modalidades de enduro y descenso.

1.1.5 Visión de futuro.

Podemos ver que en la industria el tamaño de rueda ideal aún no se ha establecido por esa razón aún se siguen desarrollando diferentes modelos después de haber visto que actualmente los estándares son las ruedas de 27.5 pulgadas y las de 29 pulgadas. Podemos observar que han surgido unos nuevos tamaños como son: 27.5+" y 29+" estos dos nuevos tamaños son la respuesta a la tendencia actual en el MTB de utilizar una anchura de cubierta cada vez más grande, por ello se han desarrollado este tipo de ruedas capaces de albergar cubiertas entre 2.8 y 3.5 pulgadas de anchura de neumático, permitiendo rodar de una forma más agresiva y con mayor confianza.

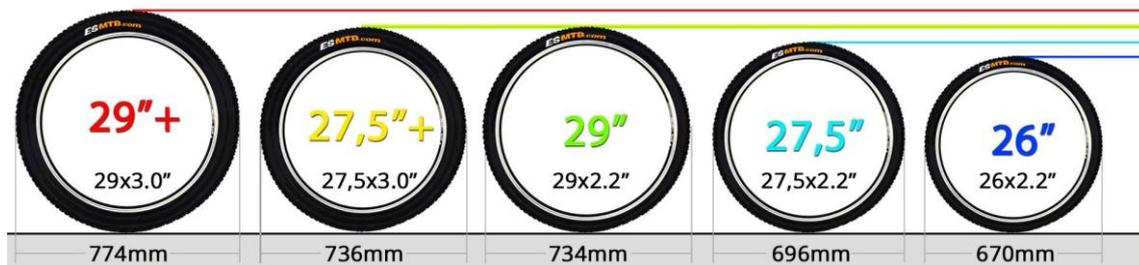


Ilustración 27; Comparativa de los diferentes tamaños de rueda incluyendo las nuevas medidas.

Otra evolución sobre todo en las modalidades de enduro y el descenso es la apuesta por algunas marcas referentes en estas modalidades en combinar ambos tamaños de rueda en la misma bicicleta, es decir combinar la rueda delantera con un tamaño de 29+" y en la rueda trasera un tamaño de 27.5+", ya que se benefician de las ventajas de ambos tamaños en la misma bicicleta adaptándose a estas modalidades.



Ilustración 28; Bicicleta GT con rueda delantera de 29" y rueda trasera de 27.5".

1.1.6 Esfuerzos y cargas que actúan sobre la rueda.

Para poder asegurar el correcto funcionamiento de las ruedas de bicicleta debemos conocer las fuerzas a las que están sometidas. Para poder identificarlas de mejor forma podemos observar el siguiente esquema.

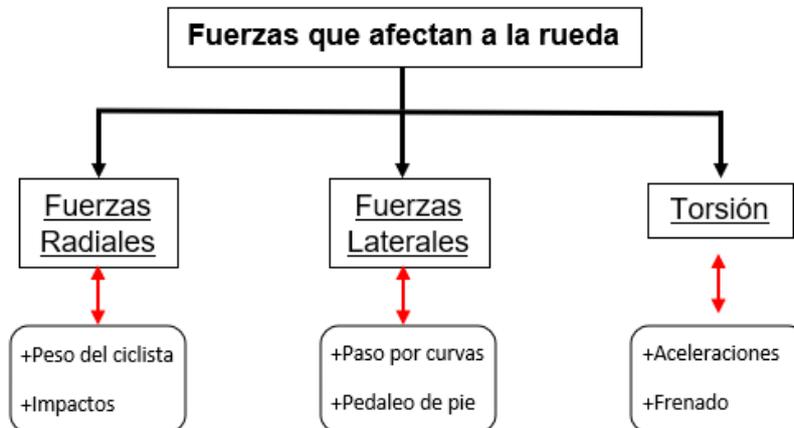


Ilustración 29; Esquema de las fuerzas que afectan a la rueda.

Una vez hemos entendido de forma general todas las fuerzas que actúan sobre la rueda, paso a describirlas una a una y a explicar qué tipo de acción las origina:

- **Fuerzas radiales:** son aquellas fuerzas que actúan en dirección perpendicular al eje de giro del buje de la rueda, como se muestra en la imagen.

- Causantes de esta fuerza:

Las fuerzas radiales son principalmente generadas por el peso del ciclista y de la bicicleta, además de ser generados por las irregularidades del terreno. La fuerza radial se convierte en tensión que debe soportada por los radios que varía de forma cíclica, también debemos tener en cuenta que los radios van pretensados con una fuerza que va desde os 500 Newtons hasta los 2500 Newtons.

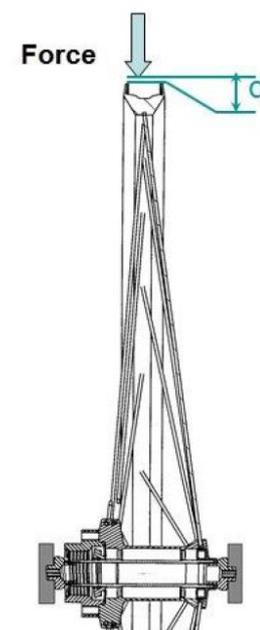


Ilustración 30; Esquema explicativo de donde se aplicarían las fuerzas radiales.

- **Fuerzas Laterales:** Son las fuerzas que actúan sobre la llanta de forma paralela a la dirección del eje, como se muestra en la imagen:

- Causas de estas fuerzas:

Una de las causas de que se genere fuerzas laterales es el pedaleo de pie, ya que cuando el ciclista pedalea sentado las ruedas van de forma perpendicular al suelo, pero en cambio cuando se pedalea de pie las ruedas dejan de estar verticales respecto al suelo en la vista frontal, y esto genera fuerza lateral ya que el peso del ciclista va cambiando de un lado a otro.

Otra causa de que genera fuerzas laterales son los giros o paso por curvas, ya que cuando se realiza un por una curva es necesario inclinar la bicicleta, esto hace que aparezcan fuerzas laterales que su magnitud dependerá de forma directa de la rigidez de la rueda y de la inclinación de los radios que viene definida por el diámetro de las alas del buje.

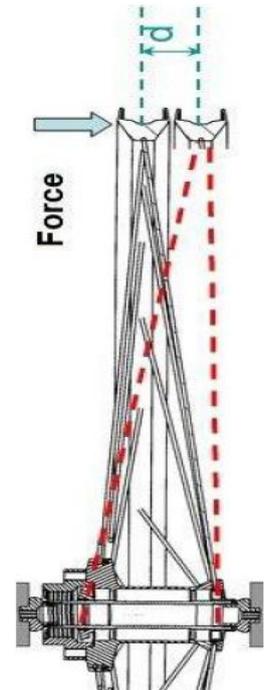


Ilustración 31; Esquema explicativo de donde se aplicarían y como deformaría la rueda las fuerzas laterales.

- **Torsión:** La torsión se produce cuando se intenta transmitir un par de forma paralela en el mismo sentido o en el contrario contra un sólido, como podemos observar en nuestro caso el sólido será el buje de nuestra rueda.

- Causas que originen el fenómeno de torsión:

Una de las causas de la torsión en las ruedas es la transmisión de potencia desde las bielas hasta los piñones que se encuentran alojados en el buje trasero, esta transmisión de potencia genera un momento torsor sobre el buje.

Otra causa que afecta a ambas ruedas es la fuerza de frenada, ya que la fuerza de fricción de las pastillas de freno sobre el disco de freno genera una torsión que puede ser menor que la anteriormente comentada.

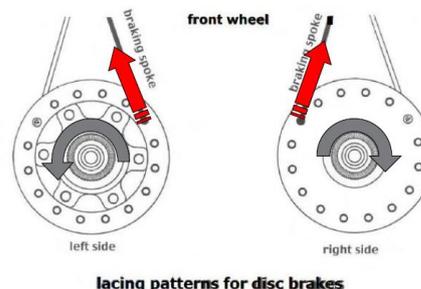


Ilustración 32; Esquema de como afectaría la torsión a los radios.

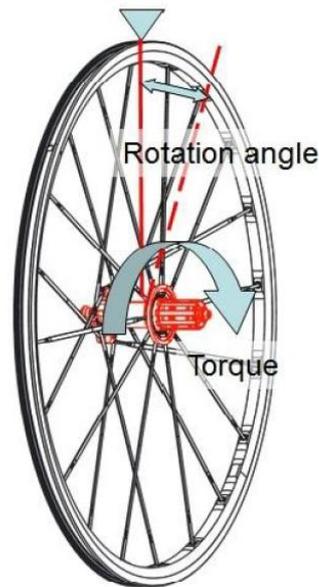


Ilustración 33; Esquema explicativo de donde se aplicaría la torsión.

1.1.7 Características técnicas de los componentes de la rueda.

Para poder exponer las diferentes características técnicas de los distintos componentes que forman una rueda de bicicleta que voy a analizar en este trabajo de final de grado, primero paso a enumerarlos desde el exterior de la rueda hacia el interior, el primer componente es la llanta o aro exterior, el siguiente elemento son las cabecillas, a continuación, pasamos a los radios y finalmente en el centro el buje.

- **Elección de la llanta:** La elección de todas las características técnicas que involucran a la llanta han de ser seleccionadas acorde a la modalidad de ciclismo que vayamos a practicar. Y sus características técnicas son las siguientes:

- Diámetro de la llanta: Como ya he comentado es esencial para el montaje de una rueda la elección de un tipo concreto de diámetro ya puede ser de 27.5 pulgadas, de 29 pulgadas, de 700c o de 650c.

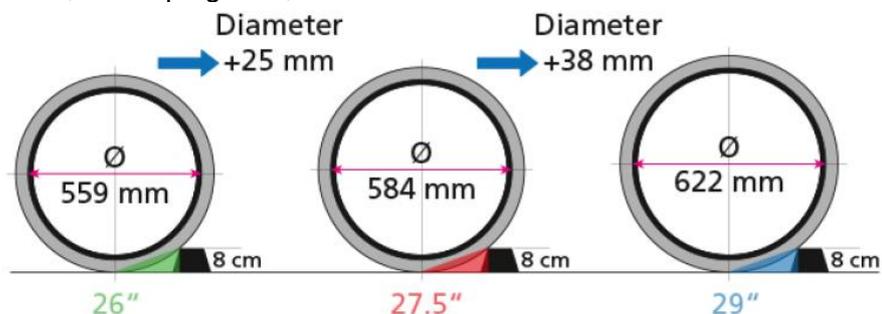


Ilustración 34; Esquema comparativo de los distintos tamaños de rueda.

Pero lo que realmente se tiene en cuenta a la hora de poder calcular la longitud de los radios de la bicicleta es el ERD, es decir, el diámetro efectivo de la rueda, esta medida viene dada por la siguiente expresión:

$$ERD = A + 2B$$

Es la suma de la distancia entre finales de las cabecillas más multiplicar por 2 la longitud de las cabecillas.

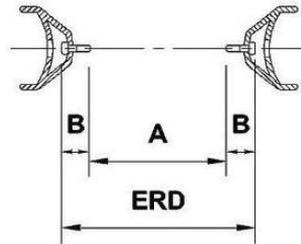


Ilustración 35; Definición del ERD.

- **Ancho de la llanta:**
Otra característica técnica a tener en cuenta a la hora de hacer un montaje personalizado de una rueda es la elección del ancho de nuestra llanta, como ya he comentado en los apartados anteriores, hoy en día hay una tendencia clara a aumentar el ancho de la llanta debido a que se están utilizando cubiertas con anchos más grandes para ganar en confort y estabilidad. Esto ha hecho que sobre todo en sector del MTB sea común encontrar anchos del interior de la llanta que van desde los 25 milímetros hasta los 30 milímetros.

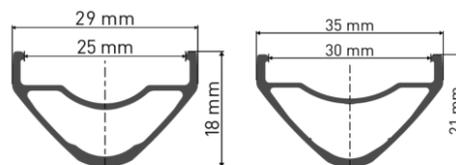


Ilustración 36; Ejemplo de diferentes anchuras internas de la llanta.

- **Altura del perfil de la llanta:**
Esta característica no es muy importante en el desarrollo del MTB, ya que no se suelen utilizar perfiles de llanta muy altos, ya que estos suelen estar entorno a los 18 o 22 milímetros. En cambio, en el mundo del ciclismo de carretera esta característica cobra vital importancia ya que afectan de forma importante a la aerodinámica y a las inercias de la rueda, estos suelen estar entre los 20 y 55 milímetros.

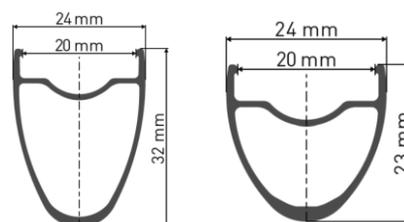


Ilustración 37; Diferencia entre un perfil de llanta alto y un perfil de llanta bajo.

- **Geometría del perfil de la llanta:**
Esta característica afecta sobre todo a las ruedas traseras de la bicicleta, ya que son en las que colocamos la piñonera obligando a que el buje no sea simétrico, debido a esto el ángulo de los radios respecto a la vertical se vea afectado.

Así que para que la rigidez de la rueda no se vea afectado debemos hacer que el perfil geométrico de la llanta no sea simétrico para poder conservar la rigidez total de la rueda.

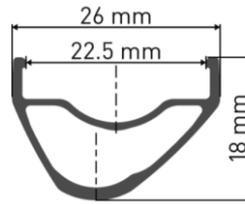


Ilustración 38; Lanta con perfil asimétrico de DT Swiss XR 361.

- **Elección de las cabecillas:** La elección de todas las características técnicas que involucran a la cabecilla han de ser seleccionadas acorde de las tensiones que apliquemos a los radios.

- Dimensiones de la cabecilla:

Debemos tener en cuenta diferentes parámetros que afectan directamente a las dimensiones de la cabecilla, las principales son:

- Rosca de la cabecilla: actualmente en el mercado disponemos de diferentes medidas de roscas, pero la más comunes son 1.8 mm 2.0 mm y 2.34mm, siendo la de 2.0 mm la más frecuente.
- Longitud de la cabecilla: actualmente solo hay tres medidas estandarizadas en el mercado, estas medidas son 12mm, 14mm y 16mm, pero la más frecuente es la de 14 milímetros.
- Cuadrado: este apartado hace referencia a la longitud de la parte donde podremos apretar la cabecilla una vez tengamos el radio bien alojado tanto en el buje como en la llanta. Estas longitudes varían desde los 3.23 mm hasta los 4.40 mm.

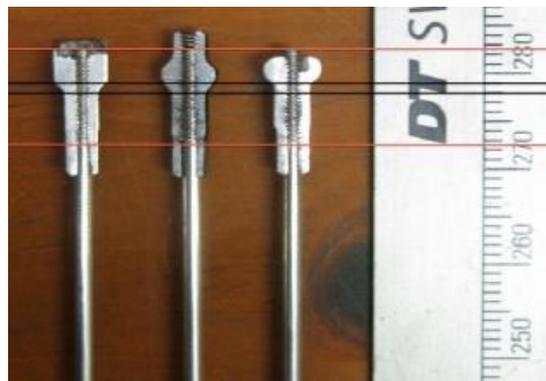


Ilustración 39; Diferentes dimensiones de cabecillas seccionadas.

- Forma de la cabecilla: Podemos encontrar diferentes formas de cabecillas las cuales paso a describir, Cabecillas con forma cuadrada, forma hexagonal, Torx, ocultas y Prohead. En la siguiente imagen muestro dos cabecillas una con la forma Torx y otra con forma Hexagonal.



Ilustración 40; Cabecilla Thorx y cabecilla Hexagonal.

- **Fijado de la rosca:** Para que la rosca de la cabecilla no se afloje, debemos utilizar unas cabecillas diseñadas específicamente para ello o por el contrario utilizar Loctite 270 o adhesivos similares.



Ilustración 41; Tipos de fijación para las roscas de las cabecillas.

- **Elección de los radios:** La elección de todas las características técnicas que involucran a los radios han de ser seleccionadas acorde de las tensiones que apliquemos sobre ellos y dependiendo la modalidad que vayamos a practicar.
 - **Longitud adecuada:** Para poder montar de forma adecuada una rueda de bicicleta debemos tener muy en cuenta esta característica técnica para poder seleccionar la longitud de la radio adecuada para esa configuración de rueda. Para ello debemos hacer uso hasta ahora de calculadoras online propias de algunos fabricantes, o ahora con el desarrollo de este proyecto podremos obtener la longitud de los radios gracias al diseño parametrizado del modelo de rueda.

DT SWISS SPOKE CALCULATOR

CALCULATOR CONTACT & HELP

CALCULATOR

Use the menu to select the rim, hub, spoke and nipple. As soon as you select a product, the calculator will automatically suggest suitable products. By opening the selection menu, however, you are free to choose any other product.

Only DT Swiss products are featured in this program. However, you can also calculate the spoke lengths for other manufacturers under "User defined". Simply enter the dimensions in the empty fields.

FRONT WHEEL

1. RIM

117% Choose rim type

MODEL Please choose first the rim type

INNER RIM WIDTH mm OUTER RIM WIDTH mm

2. HUB

117% Choose hub type

MODEL Please choose first the hub type

FLY OVER SPINDLE LENGTH mm FLY OVER SPINDLE THICKNESS mm

REAR WHEEL

1. RIM

117% Choose rim type

MODEL Please choose first the rim type

INNER RIM WIDTH mm OUTER RIM WIDTH mm

2. HUB

117% Choose hub type

MODEL Please choose first the hub type

FLY OVER SPINDLE LENGTH mm FLY OVER SPINDLE THICKNESS mm

NEW CALCULATION

Ilustración 42; Calculadora Online del fabricante suizo "DT Swiss".

- Forma geométrica del radio:
Debemos tener en cuenta que los radios pueden tener distintas formas dependiendo el uso y las tensiones que les tengamos que aplicar. Las formas más frecuentes son:
 - Redondos: los cuales terminan en forma de jota o en ángulo de 90° a 95° y pueden ser a su vez con sección constante, con sección doble conificada o triple conificada.
 - Planos: cuya sección central del radio es plana para mejorar la aerodinámica.
 - Rectos: Los radios rectos al contrario de los anteriores terminan totalmente rectos y estos a su vez pueden ser redondos, T-head o roscados.

También debemos tener en cuenta que la rosca donde irá roscada la cabecilla esta normalizada con los siguientes tamaños de rosca, de 1.8mm, de 2mm y de 2.34mm, siendo el más común el de 2mm.



Ilustración 43; Ejemplo de diferentes formas de los radios.

- Patrón de radiado de la rueda:
El patrón que se sigue en el radiado de una rueda de bicicleta es una de las características técnicas de mayor importancia a la hora del correcto ensamblaje de la rueda, para ello debemos saber que hay diferentes formas de radiar, que paso a explicar:
 - Patrón radial: en este patrón no se produce un cruce entre los radios, ya que cada radio va directamente desde el buje hasta el agujero más próximo de la llanta, en este tipo de patrón los radios pueden soportar carga, pero no pueden transmitir par, por lo que solo se pueden utilizar en la rueda delantera. Este tipo de patrón se suele utilizar en ruedas de la modalidad de ciclismo de carretera, ya que en la práctica del MTB debido al estrés radial que sufren los radios podrían provocar roturas por fatiga de los radios.



Ilustración 44; Ejemplo de patrón radial.

- Patrón de radios tangenciales:** Este tipo de patrón es llamado de radios tangenciales debido a la trayectoria que siguen los radios de una rueda, ya que salen de forma tangente del buje hasta la llanta, obligando a que los radios se entrecruzan de camino a la llanta, y según el número de veces que se entrecruzan los radios hasta llegar a la llanta podremos determinar el número de cruces. Este patrón de radiado es el utilizado para la transmisión de par por lo que es usado en las ruedas traseras en el ciclismo de carretera y en el MTB en ambas ruedas, ya que cuando los radios describen una posición tangencial, hace que los radios adyacentes tiren en direcciones opuestas reduciendo el estrés radial minimizando la rotura por fatiga. Para poder determinar el número de cruces máximos que puede albergar una rueda se puede calcular:

$$N^{\circ} \text{ de Cruces M}^{\text{áx}} = \frac{N^{\circ} \text{ de radios}}{9}$$

Por ejemplo, tenemos 32 radios y lo dividimos entre 9 obtendremos que el número de cruces máximo es de x3. Siendo el número de cruces más habitual el de tres cruces en las ruedas de 32 y 36 radios, pero esto no significa que solo se puedan hacer solo tres cruces si no que se pueden hacer desde x1 hasta x4.

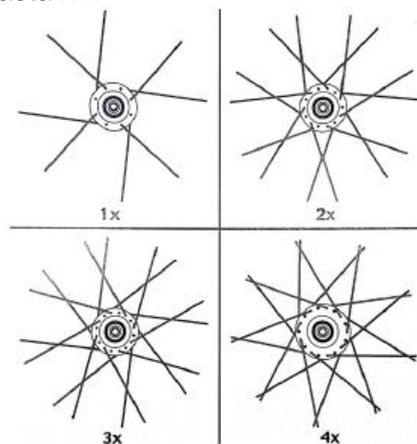


Ilustración 45; Diferentes número de cruces del radiado.

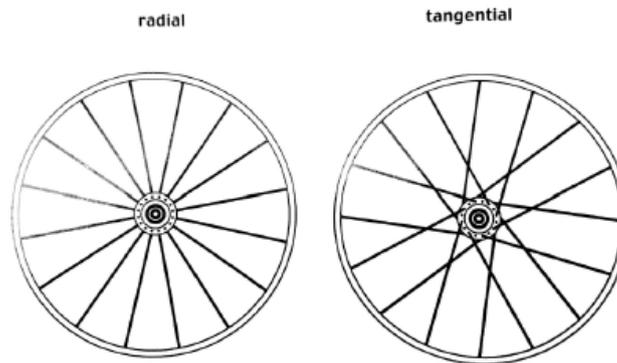


Ilustración 46; Diferencia entre el patrón radial y el patrón de radiado tangencial.

- **Patrón de radiado combinado o Híbrido:** Donde se combinan los dos patrones de radiado anteriores (Patrón radial y patrón tangencial) en ambas alas del buje, aprovechando las ventajas de ambos para poder obtener mejores valores de la relación rigidez – peso.

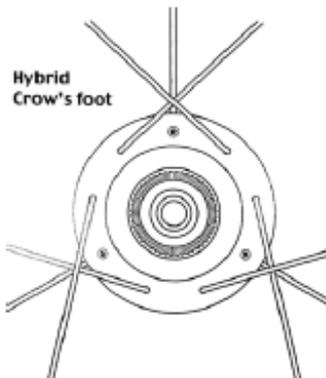


Ilustración 47; Ejemplo de patrón de radiado híbrido.

- **Patrón de radiado mixto:** En este patrón de radiado combina los dos patrones de radiado anteriores (Patrón radial y patrón tangencial), pero en este caso se utiliza exclusivamente en las ruedas traseras donde en la parte donde van la piñonera se monta un patrón de radiado tangencial y en la parte opuesta un patrón radial.



Ilustración 48; Ejemplo del patrón de radiado mixto.

○ Distribución de las tensiones:

Debemos tener en cuenta que las tensiones que le aplicamos a los radios dependen de las características técnicas de los bujes y dependiendo si estamos hablando de la rueda delantera o de la rueda trasera.

Si hablamos de la rueda trasera donde se aloja la transmisión en dicha parte debemos aplicar una tensión mayor.

En cambio, en la rueda delantera debemos aplicar un más de tensión en el lado donde se encuentra el disco de freno o en cambio debemos aplicar tensiones iguales en ambos lados si la rueda es simétrica.

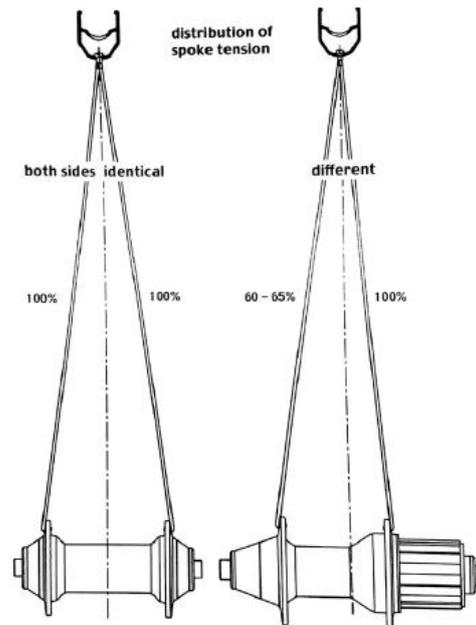


Ilustración 49; Comparativa de tensiones en rueda delantera y trasera.

- **Elección del buje:** La elección de todas las características técnicas que involucran al buje han de ser seleccionadas acorde de los componentes anteriormente mencionados y dependiendo la modalidad que vayamos a practicar.

○ Eje con el que funciona:

Esta característica técnica depende del cuadro de la bicicleta o de la suspensión en el que montemos nuestras ruedas, existen dos tipos de ejes el llamado eje con cierre rápido y el eje llamado eje pasante, pero hoy en día se está popularizando el uso del eje pasante.



Ilustración 50; Buje con eje con cierre rápido.



Ilustración 51; Bujes con eje pasante.

o Longitudes del buje estandarizadas:

Para determinar las longitudes de los ejes más comunes de la actualidad debemos separarlos en dos grupos, uno para las ruedas delanteras y otro para las ruedas traseras.

Primero las ruedas delanteras la medida estandarizada de hoy en día es 15 mm de diámetro del eje por 100mm de largo, estas medidas sería las correspondientes a un buje normal, pero actualmente también existen los modelos BOOST que alargan el buje en 10mm llegando a una longitud total de 110 mm.

En segundo lugar, las ruedas traseras, donde las medidas estandarizadas normales son de 12mm de diámetro del eje por 142mm de longitud, en cambio en el modelo BOOST la longitud del buje aumenta en 6mm quedando una longitud total de 148mm.

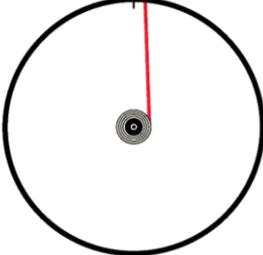
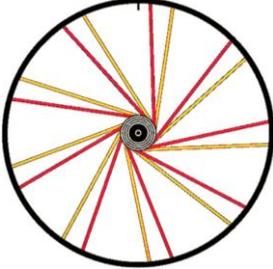
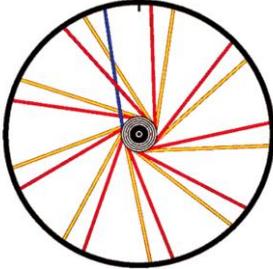
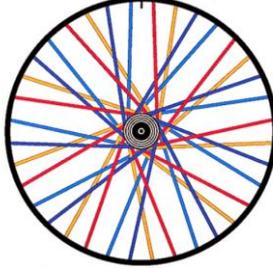
1.1.8 Proceso de radiado de la rueda.

Una vez he descrito todas las características técnicas que debemos conocer a la hora de radiar una rueda, paso a describir los métodos más comunes de radiado que se utilizan.

Los métodos más conocidos son el método clásico o también llamado en inglés “*Key spoke*”, este método que consta de pasos más complejos comparado con el siguiente método de radiado, el método de “*Schranner*”, este método cuenta con diversas ventajas sobre el método clásico ya que es un proceso sencillo de aprender, es un proceso mecánico con lo que quiere decir que es metódico, otra ventaja es que se puede saber exactamente el estado del proceso en cualquier momento, también permite detectar imperfecciones o fallos en el radiado de forma rápida los cuales se pueden corregir con facilidad.

A continuación, paso a indicar los pasos seguidos en ambos procesos de radiado:

- **Método del radiado clásico o del “Key Spoke”** se compone de los siguientes pasos, los cuales paso a nombrar:

PASO 1	PASO 2	PASO 3
<p>Paso 1; Colocación del radio clave o Key Spoke, en la parte derecha.</p>	<p>Paso 2; colocación de los 8 radios restantes en sentido horario.</p>	<p>Paso 3; colocación del radio clave de los radios de sentido antihorario.</p>
		
<p><i>Ilustración 52; Paso 1 Método Key Spokes</i></p>	<p><i>Ilustración 53; Paso 2 Método Key Spokes</i></p>	<p><i>Ilustración 54; Paso 3 Método Key Spokes</i></p>
PASO 4	PASO 5	PASO 6
<p>Paso 4; colocación de los 8 radios restantes en sentido antihorario.</p>	<p>Paso 5; colocación de los radios punteros, en la parte izquierda.</p>	<p>Paso 6; repetir los pasos anteriores para completar el lado izquierdo.</p>
		
<p><i>Ilustración 55; Paso 4 Método Key Spokes</i></p>	<p><i>Ilustración 56; Paso 5 Método Key Spokes</i></p>	<p><i>Ilustración 57; Paso 6 Método Key Spokes</i></p>

- **Método de radiado de “Schranner”**, es el que he seguido en las configuraciones de ruedas de este trabajo final de grado, los pasos en los que se basa este proceso son los siguientes:

- **Paso 1:**

En el primer paso de este método debemos tener claro el número de cruces que deseamos hacer, ya que dependiendo del número de cruces dependerá la posición del primer radio, en cambio el número de radios no afecta a la posición de comienzo de los radios.

En este caso voy a explicar un montaje de rueda que consta de 32 radios con x3 cruces, para ello debemos ir a la tabla mostrada en la “Ilustración 58” donde indica que para un montaje con tres cruces debemos contar en el buje 8 agujeros.

Lo siguiente es saber cómo identificar estos 8 agujeros del buje, para ello debemos situarnos en la parte derecha de la rueda y separar los 16 agujeros del ala derecha en dos partes simétricas y empezar por la superior como se puede apreciar en la imagen anterior.

Una vez tenemos identificados los agujeros tal y como se muestra la imagen, el primer radio que irá colocado en el buje será en el agujero con el número 1 de la imagen, siendo el primer agujero de la parte izquierda de la numeración expuesta en la "ilustración 58". El lugar donde irá colocado el primer radio en la llanta será en el agujero de la parte izquierda que está más cerca del agujero de la válvula, tal y como se muestra en la "ilustración 58".

Demos tener en cuenta que el primer radio debe tener la cabeza hacia el exterior de la rueda.

Para un mejor montaje y manejo a la hora de radiar podemos colocar el radio opuesto al primer radio, este radio ira colocado de forma opuesta al primero, es decir, con la cabeza del mismo hacia el interior de la rueda, como se muestra en la "ilustración 58", e ira en la posición número 8 de la numeración del ala expuesta en la "ilustración 58" y en el segundo agujero de la derecha de la llanta si tomamos como referencia el agujero de la válvula de llanta.

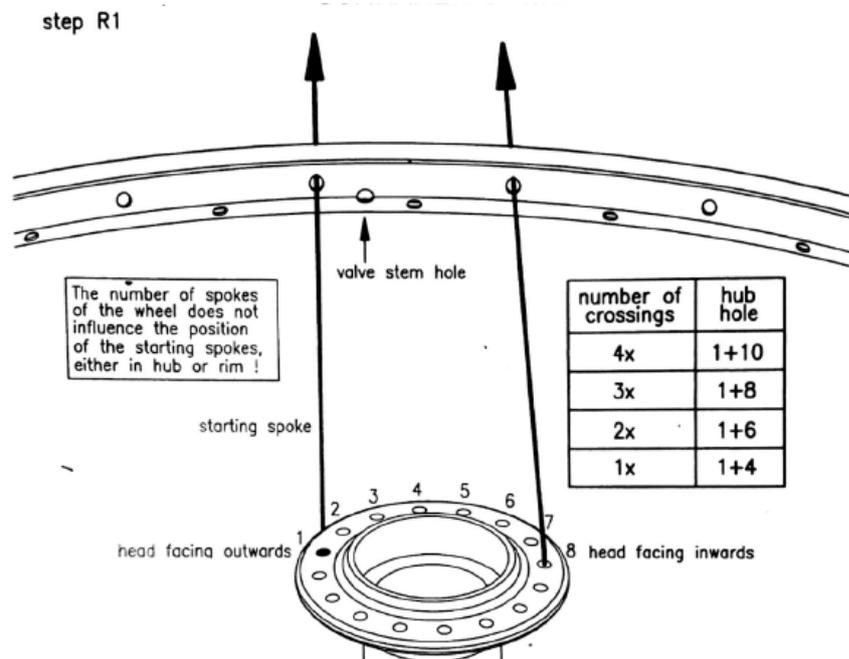


Ilustración 58; Paso 1 Método de radiado de Schraner.

Quedando el primer paso finalizado cuando se obtenga la siguiente forma con los radios.

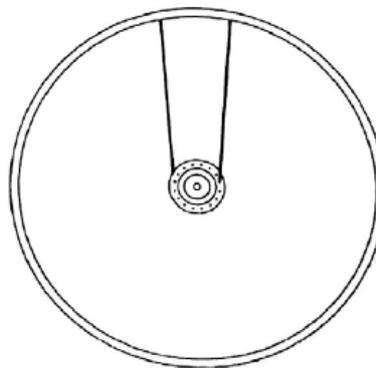


Ilustración 59; Final paso 1 Método Schraner.

○ **Paso 2:**

En el paso 2 debemos completar la primera tanda de radiado que consiste en colocar los 7 radios restantes que van en sentido horario de la parte derecha de la rueda.

Para ello partimos del primer radio que hemos colocado en el paso previo, ya que nos servirá de guía para los siguientes radios que debemos colocar. Los siguientes radios estarán colocados en los números impares de la numeración mostrada en la ilustración siguiente del ala del buje (números 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15). Por el contrario estos radios deberán ir colocado cada cuatro agujeros en la llanta, para ello debemos tomar como el primer agujero para contar cuatro, el primer agujero a la derecha del agujero de la válvula y contar cuatro agujeros en sentido horario, tal y como se muestra en la ilustración inferior.

Teniendo en cuenta que las cabezas de estos últimos 7 radios colocados deberán ir como la del primer radio, es decir, con la cabeza del radio hacia el exterior de la rueda.

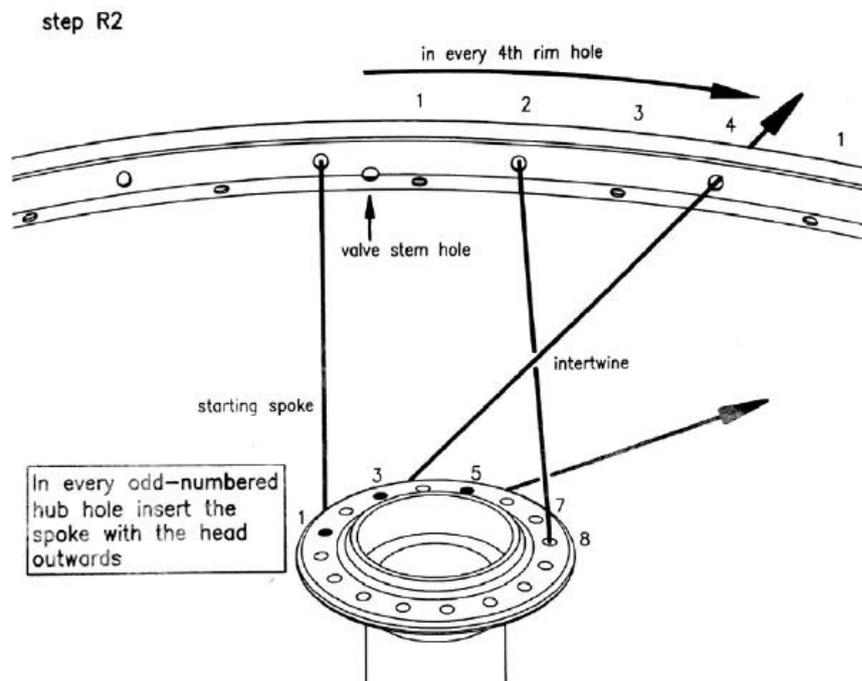


Ilustración 60; Paso 2 Método Schraner.

Una vez completado el paso 2, debemos tener colocados un total de 9 radios, 8 de los cuales formaran parte del radiado en sentido horario y con las cabezas de dichos radios mirando hacia el exterior de la rueda, y el noveno radio es el radio que hemos utilizado de apoyo para un mejor montaje. Quedando finalizado el paso 2, con el siguiente resultado;

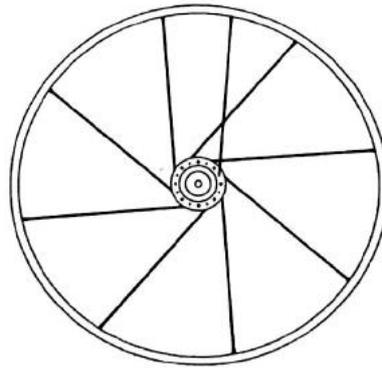


Ilustración 61; Final paso 2 Método Schraner.

○ Paso 3:

Para continuar con el radiado de la rueda, debemos completar la parte derecha de la rueda, para ello debemos colocar los radios del tramo antihorario restantes.

Para la realización de este paso ya contamos con el radio de apoyo, que habíamos colocado en el primer paso, ya que nos servirá de guía para los siguientes radios que debemos colocar. Como ya estarán colocados los radios de los números impares ahora los restantes ocuparán los números pares de la numeración mostrada en la ilustración siguiente del ala del buje (números 6, 4, 2, 10, 12, 14 y 16). Por el contrario estos radios deberán ir colocados cada cuatro agujeros en la llanta, para ello debemos tomar como el primer agujero para contar cuatro, el primer agujero a la derecha del agujero de la válvula y contar cuatro en sentido antihorario, tal y como se muestra en la ilustración inferior.

Teniendo en cuenta que las cabezas de estos últimos 7 radios colocados deberán ir como la del radio de apoyo colocado en el primer paso, es decir, con la cabeza del radio hacia el interior de la rueda.

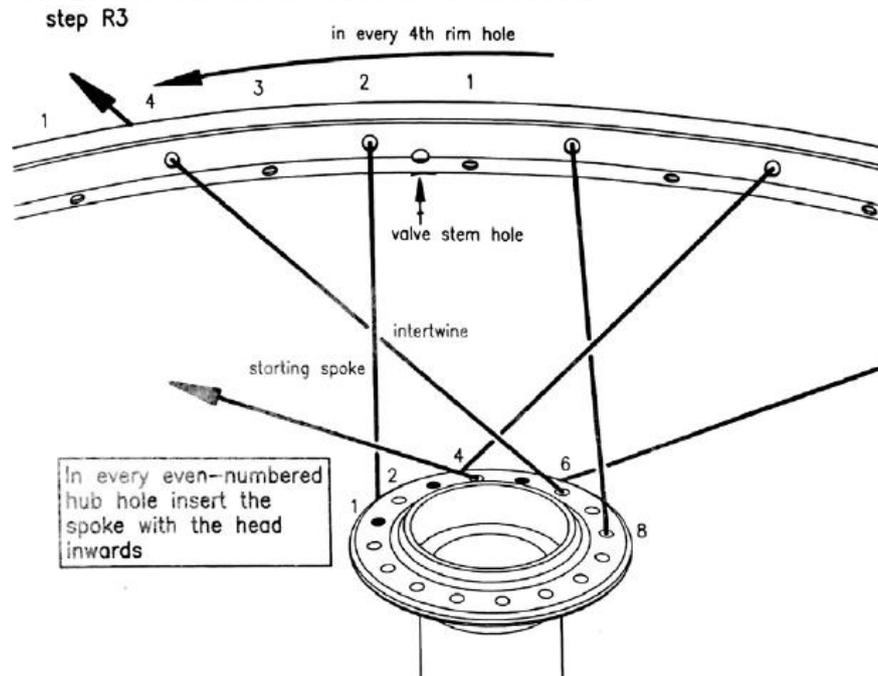


Ilustración 62; Paso 3 Método Schraner.

Una vez completado el paso 3, debemos tener colocados un total de 16 radios, 8 de los cuales 8 formaran parte del radiado en sentido horario y con las cabezas de dichos radios mirando hacia el exterior de la rueda, y el resto,

los 8 radios restantes formaran parte del radiado en sentido antihorario y son las cabezas mirando hacia el interior de la rueda.
Quedando finalizado el paso 3, tendremos la parte derecha de la rueda completada;

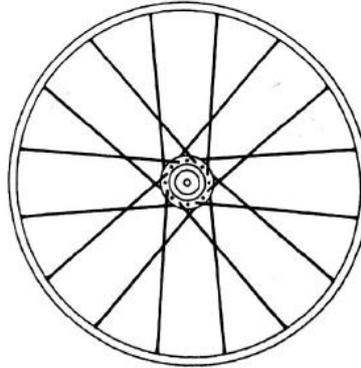


Ilustración 63: Final paso 3 Método Schrander.

o **Paso 4:**

En este paso del método se identificará el primer agujero del ala opuesta del buje, es decir. Con los pasos 1, 2 y 3 hemos completado el radiado de la parte derecha de la rueda y con este paso (Paso 4) empezaremos el radiado de la parte izquierda de la rueda.

Para ello partiremos del agujero de numerado con el número 1 de los pasos anteriores (ala derecha del buje), y debemos trazar una línea imaginaria desde el ala derecha hasta el ala izquierda del buje y escoger el primer agujero que se encuentre a la derecha de la línea trazada, tal y como se muestra en la imagen inferior.

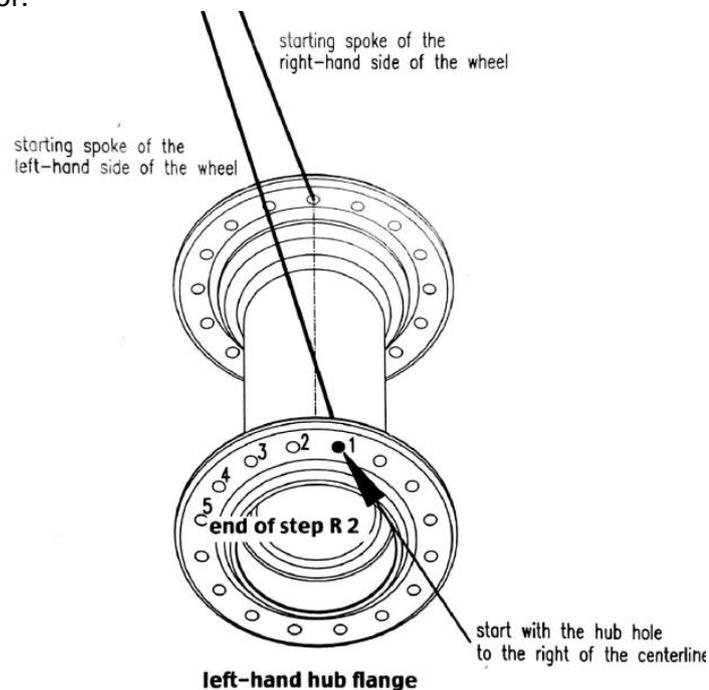


Ilustración 64: Paso 3 Método Schraner.

- **Paso 5:**
Este paso consistirá en aplicar el mismo procedimiento explicado en el paso 1 de este método, pero siendo aplicado para los dos radios que son servirán de guía para los radiados en sentido horario y antihorario.

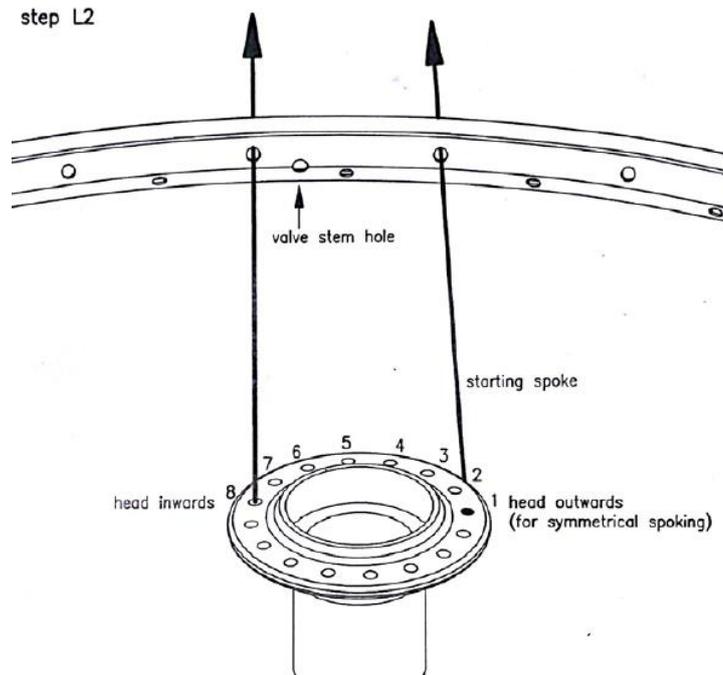


Ilustración 65; Paso 5 Método Schraner

Para poder asegurarnos de que los pasos están bien ejecutados deberemos obtener el siguiente patrón.

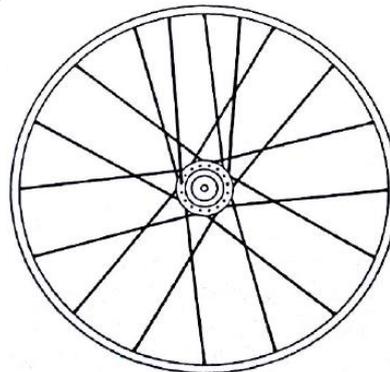


Ilustración 66; Final paso 5 Método Schraner.

- **Paso 6:**
Este paso consistirá en aplicar el mismo procedimiento explicado en el paso 2 de este método, pero siendo aplicado para los radios que compondrán el radiado horario de la parte izquierda de la rueda.
step L3

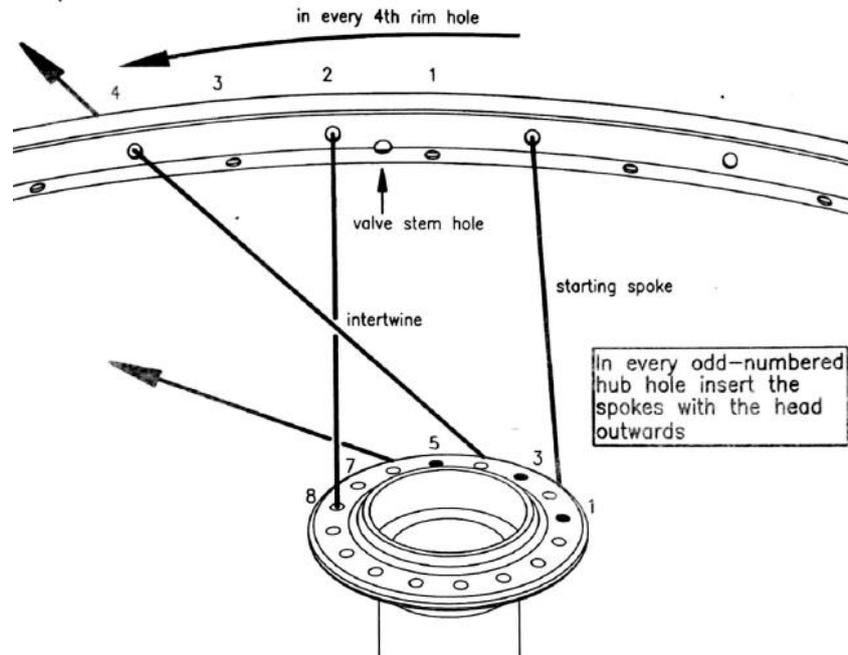


Ilustración 67; Paso 6 Método Schraner.

Para poder asegurarnos de que los pasos están bien ejecutados deberemos obtener el siguiente patrón.

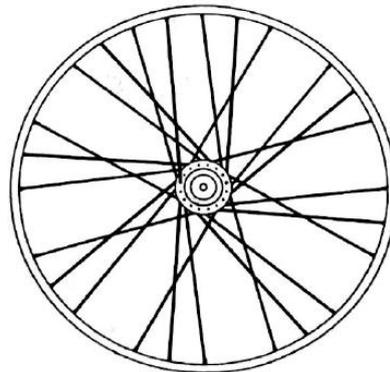


Ilustración 68; Final paso 6 Método Schraner.

- **Paso 7:**
En el paso completaremos el radiado de la rueda para ello deberemos seguir las indicaciones del paso 3, completando el radiado de los radios de sentido antihorario.

step L4

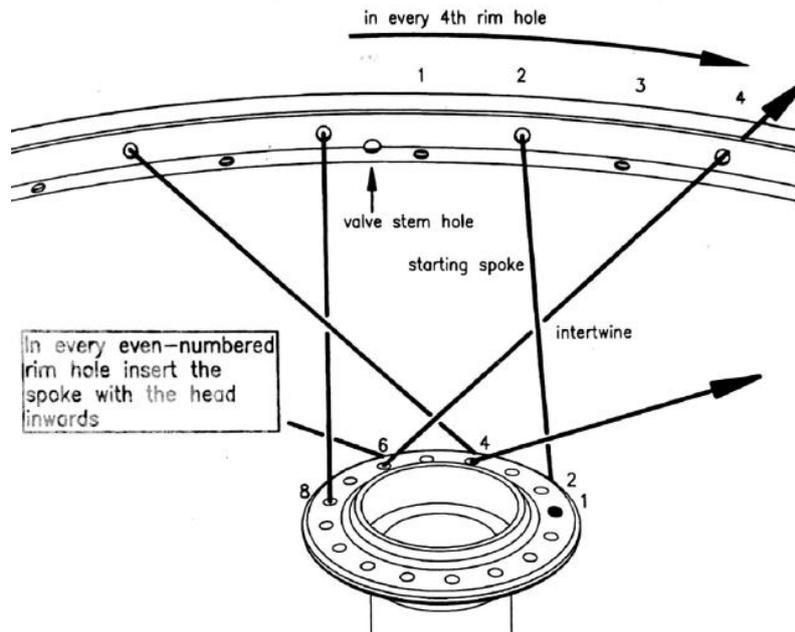


Ilustración 69; Paso 7 Método Schraner.

Para poder cerciorarnos de que hemos completado el radiado de nuestra rueda de una forma correcta deberemos obtener el siguiente resultado.

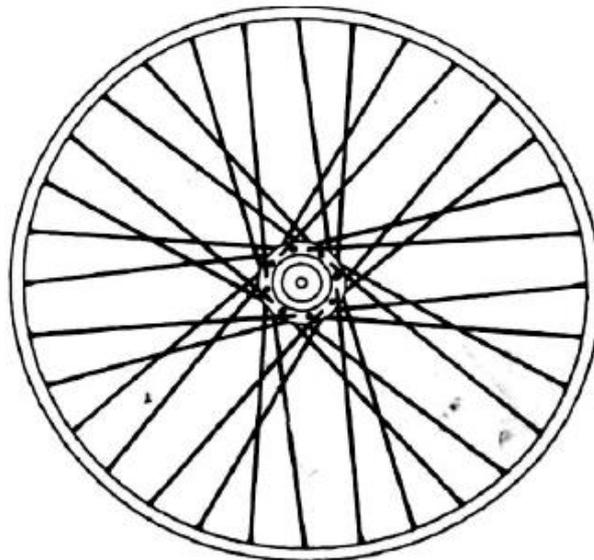


Ilustración 70; Resultado final del radiado con el Método Schraner.

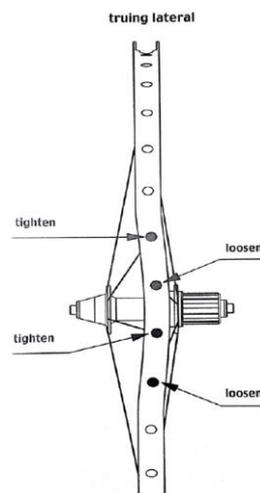
1.1.9 Postproceso del radiado (Centrado, Alineado y tensionado).

Después del proceso de radiado de una rueda no se obtienen las características mecánicas totales de la rueda, es decir, la rueda carece de rigidez, no está centrada ni alineada, todos estos problemas son causados por la falta de tensión de los radios. Una vez se haya terminado el proceso de radiado de la rueda, se sigue un proceso iterativo que se sigue de forma general, que consta de los siguientes pasos;

- **Centrado lateral:**

Para poder centrar la rueda de forma lateral se debe observar mediante el centrador de ruedas con los relojes comparadores instalados como se desvían los laterales de la rueda. Para poder solucionar este descentrado lateral se debe localizar las zonas donde se produzcan desviaciones para que mediante la modificación de la tensión de los radios de la zona poder solucionar el problema.

Para ello si necesitamos que la llanta se desplace hacia el lugar donde se encuentre el radio, ese mismo radio se debe aplicar más tensión, pero sí de forma contraria se quiere que la llanta se desplace hacia el lado contrario de donde se encuentre nuestro radio deberemos reducir la tensión de ese mismo radio.



*Ilustración 71;
Representación de cómo se observaría una rueda con un descentrado lateral.*

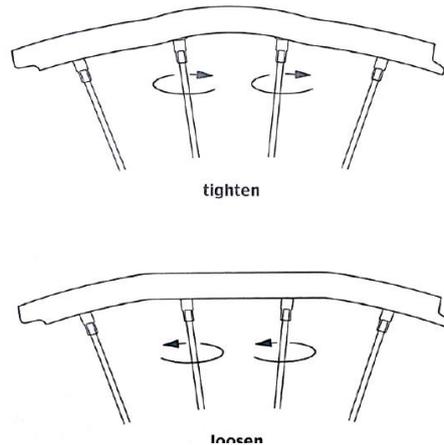


*Ilustración 72;
Centrador de ruedas con relojes comparadores.*

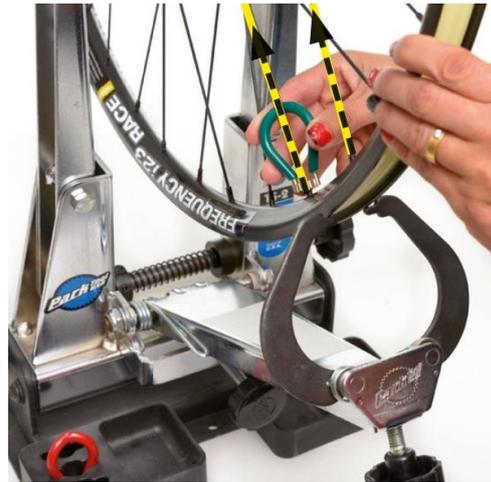
- **Centrado radial:**

Para poder centrar la rueda forma radial o poder eliminar los saltos creados en la llanta se debe contar con el centrador de ruedas, pero en este caso con el accesorio para centrado radial.

Para ello se debe tener en cuenta que para poder eliminar las zonas de la llanta que contengan un salto (zona más elevada) debemos aplicar una mayor tensión a los radios de la zona para que la llanta se desplace hacia el interior de la rueda. En cambio, en las zonas donde se encuentre un valle (zona con menor elevación) se debe reducir de los radios de la zona para que la llanta se desplace hacia afuera.



*Ilustración 74;
Representación de
zonas con salto y
zonas valle.*



*Ilustración 73;
Ejemplo de centrado
radial.*

- **Alineado:**

Este proceso también es llamado aparaguado, durante este proceso se necesitará de la ayuda de una herramienta llamada comparador de alineación de la rueda o también llamada aparaguador.

Para poder alinear una rueda primero se debe colocar el comparador de alineado en un lateral de la rueda, para posteriormente apoyar el centro de nuestra herramienta en el eje del buje. Una vez se tengan hechos ambos pasos, podremos saber si nuestra rueda está bien alineada si ambos extremos de nuestra herramienta se apoyan de forma igual en ambos extremos de la llanta, si no es así se debe modificar las tensiones de los radios.

Para ello si se observa que llanta esta desalineada hacia un lado se debe aplicar tensión por igual a todos los radios de dicho lado para poder desplazar la llanta hacia ese mismo lado. En cambio, si la rueda esta desalineada hacia un lado se debe reducir la tensión de todos los radios de ese lado para que la llanta se desplace hacia el lado contrario.



Ilustración 75; Comparador de alineado de una rueda o Aparaguador.

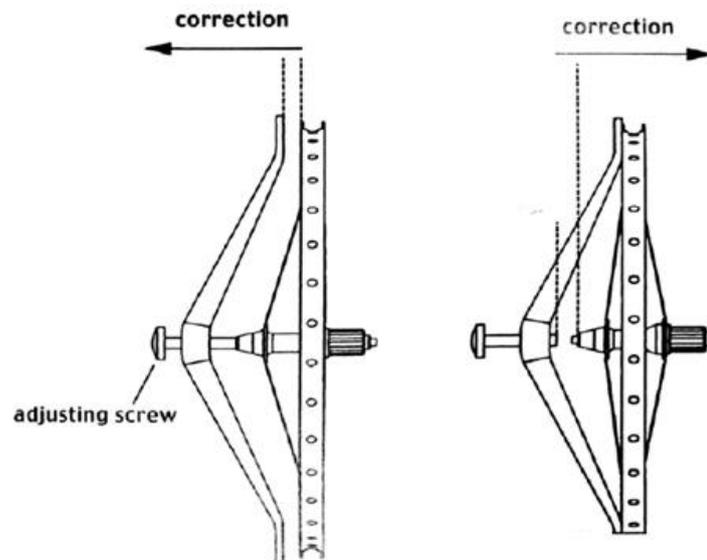


Ilustración 76; Representación del uso del aparaguador.

- Control de las tensiones:**
 Para ello se debe revisar y realizar las siguientes tareas, primero se debe medir la tensión de los radios mediante el tensiómetro calibrado, posteriormente se debe identificar el lado de la rueda con una mayor tensión en sus radios para su posterior medida de tensión, a continuación, se debe eliminar la torsión en los radios acodados y por último se debe revisar el asentamiento de los radios.



Ilustración 77; Tensiómetro calibrado.

El resultado de este postproceso dependerá directamente de la experiencia y de los conocimientos y pericia del mecánico encargado.

2. OBJETIVOS



2.1 OBJETIVO GENERAL.

En el presente trabajo final de grado se va a realizar el proceso de digitalización del diseño y fabricación de ruedas de bicicletas mediante el diseño parametrizado de sus componentes. Durante el transcurso de este proyecto debo atravesar diferentes fases del desarrollo de producto, tales como: Fase de diseño, Fase de ingeniería y Fase de Proceso de fabricación.

Con el objetivo principal de poder digitalizar y modernizar los procesos de ensamblaje de distintos modelos de rueda de bicicleta, mediante la transformación digital de la industria dentro del sector.

Para poder lograr este objetivo se procederá al diseño parametrizado y a la elaboración de toda la documentación técnica (listados de materiales, planos acotados y presupuesto) del modelo de la rueda de bicicleta, de forma que toda la información y la visualización sea totalmente digitalizada.

Por lo que una de las posibles expansiones de este proyecto sería la exportación de este sistema de configuración parametrizado de modelos de ruedas para bicicletas a una página web, en dicha página web se integraría la visualización en 3D del modelo de la rueda y mediante un configurador poder realizar la configuración de la rueda que el cliente decida. Además, mediante esta web se obtendría toda la información técnica obtenida en este trabajo final de grado, así como un presupuesto de los componentes y del coste de ensamblaje y distribución de la configuración personalizada de la rueda de bicicleta.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.

Tras haber definido el objetivo general de este proyecto paso a describir los objetivos propuestos dentro de cada fase establecida del proyecto:

2.2.1 Objetivos de la Fase de Diseño.

El objetivo particular dentro de la fase de diseño es poder modelizar mediante el software de diseño CAD de todos los componentes necesarios para la composición completa de la rueda, además en esta fase se realizará la parametrización de los elementos anteriormente modelizados para que en la siguiente fase poder redactar las relaciones correspondientes para la generación de las distintas configuraciones.

2.2.2 Objetivos de la Fase de Ingeniería.

El objetivo particular de la fase de ingeniería es poder justificar, redactar y explicar de forma detallada el diseño parametrizado de los componentes de la fase de diseño.

Para poder generar todas las configuraciones distintas de ruedas a partir de un archivo CAD se elaborarán tablas de familia, en la cual se definirán las características técnicas que definen los componentes de las ruedas.

Además de poder integrar y justificar el cálculo de la longitud de los radios en función de todas las variables geométricas del resto de componentes, con las relaciones matemáticas y paramétricas correspondientes.

2.2.3 Objetivos de la Fase de Procesos de fabricación.

El objetivo particular de la fase de procesos de fabricación es poder definir las normativas que afectan una vez realizado la labor del ensamblado del conjunto de la rueda. Además de la elaboración de la documentación técnica digital de los modelos (listados de materiales y planos acotados), así como la obtención de un presupuesto del precio final que obtendrían mis configuraciones, mediante un estudio de viabilidad del proyecto.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO



3.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.

Para el desarrollo de este proyecto he contado con diferentes herramientas que se pueden dividir en tres grandes herramientas;

La primera herramienta la cual me ha permitido la obtención de todas las características técnicas de las configuraciones de ruedas expuestas en este trabajo final de grado, esta herramienta es la calculadora de radios online del fabricante suizo *DT Swiss*.



Ilustración 78; Logotipo de la marca "DT Swiss".

La segunda herramienta es la cual me ha permitido realizar el modelado paramétrico de la rueda de bicicleta, esta herramienta es el *Creo Parametric* en la versión 5.0.6.0 para estudiantes, con este software de diseño CAD me ha permitido el modelado de todos los componentes de la rueda genérica, además de poder generar todas las relaciones paramétricas para poder genere diferentes configuraciones de ruedas con la tabla de familia. Además de poder realizar toda la información técnica (planos acotados, vista explosionada).



Ilustración 79; Logotipo del software "Creo Parametric".

La tercera herramienta es la cual me ha permitido realizar la selección de materiales para la llanta de las diferentes configuraciones de este proyecto es el *Granta EduPack*. Para la selección de materiales he seguido el método Ashby, por el cual mediante relaciones y propiedades tanto mecánicas como físicas he podido obtener los materiales más apropiados para este fin.



Ilustración 80; Logotipo del software "Granta EduPack".

3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO.

3.2.1 Desarrollo de las Fases.

Para poder llevar a cabo este proyecto, se ha optado por el desarrollo de este mediante el planteamiento de tres grandes fases las cuales paso a describir.

3.2.2 Fase de Diseño.

La primera fase, la cual es la fase dedicada al diseño parametrizado de los componentes y búsqueda de todas las características técnicas que envuelven el conjunto de todos los componentes que forman la rueda.

Dicha fase se compone de los apartados de Definición de las características técnicas del conjunto y del Despiece del conjunto genérico modelizado.

3.2.3 Fase de Ingeniería.

La segunda fase, la cual es la fase relacionada con la ingeniería por la cual he podido justificar el diseño paramétrico del conjunto, además de poder justificar el cálculo de la longitud de los radios mediante las relaciones matemáticas correspondientes, para posteriormente poder comparar los valores obtenidos de forma analítica con los obtenidos mediante la calculadora online del fabricante con los resultados obtenidos en el diseño paramétrico.

Dicha fase se compone de los apartados de Cálculos y Relaciones paramétricas.

3.2.4 Fase de Proceso de fabricación.

La tercera y última fase del proyecto, la cual está dedicada a los procesos por los cuales se ensambla el conjunto de la rueda. Para ello se ha elaborado toda la información técnica necesaria para el correcto desarrollo del montaje, además de indicar la normativa que se debe cumplir una vez la rueda este completamente ensamblada y ajustada, así como la obtención de un presupuesto del precio final que obtendrían mis configuraciones, mediante un estudio de viabilidad del proyecto.

Dicha fase se compone de los apartados de Normativa aplicable, Elaboración de la documentación técnica y Estudio económico.

3.3 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONJUNTO.

Para poder generar las distintas configuraciones de ruedas mediante las relaciones paramétricas se deben conocer de ante mano las características técnicas necesarias, para poder realizar la tabla de familia.

3.3.1 Definición de las características técnicas de los componentes.

Para el correcto funcionamiento y definición las relaciones paramétricas del conjunto debemos definir y cuantificar las características técnicas necesarias para la modelización de todos los componentes que forma la rueda.

Paso a definir las características técnicas según pertenezcan a cada componente de la rueda;

- Características técnicas de la Llanta:
 - ERD: esta característica indica el diámetro efectivo de la rueda, es el diámetro que utilizaremos para el cálculo de la longitud de los radios, por lo tanto, esta característica técnica variará según la instancia en la que se esté trabajando.
 - Geometría del perfil de la llanta: esta característica se debe elegir entre una geometría de llanta simétrica o asimétrica, además de que ancho debe tener y la altura de la llanta, en el transcurso de este proyecto se va a utilizar el mismo perfil de llanta, por lo tanto, esta característica técnica se mantendrá en todas las instancias. Pasando a utilizar el perfil de la siguiente ilustración en las diferentes configuraciones de ruedas.

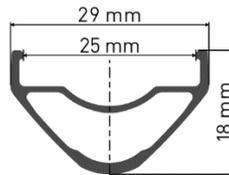


Ilustración 81; Sección acotada de la llanta.

- Características técnicas de las cabecillas:
 - Longitud de la cabecilla: esta característica determina la longitud de la cabecilla se encuentran entre las más comunes las de 12mm, 14mm y 16mm.
 - Rosca de la cabecilla: la rosca debe ser la misma que la utilizada en los radios, las más comunes son 1.8 mm 2.0 mm y 2.34mm, siendo la de 2.0 mm la más frecuente.

En el transcurso de este proyecto se va a utilizar el mismo tipo de cabecilla, por lo tanto, estas características técnicas se mantendrán en todas las instancias.

- Características técnicas de los radios:
 - Rosca del radio: esta característica debe coincidir con la rosca de la cabecilla, durante el transcurso de este proyecto se va a mantener constante el diámetro de la rosca del radio.
 - Número de radios: Característica la cual permite la elección de un número determinado de radios, los más habituales 36, 32 y 28 radios, esta característica técnica de los radios si va a ser modificada dependiendo de la configuración de ruedas con las que esté trabajando.
 - Número de cruces: Esta característica se puede definir a partir del número de veces que los radios se entrecruzan en su camino del buje a la llanta, durante el transcurso de este proyecto esta característica técnica se va a mantener constante.

- Características técnicas del buje:

- Longitud del buje: esta característica dependerá si queremos que el buje sea BOOST o no, es decir si queremos que nuestro buje tenga una longitud mayor o no. Además de elegir el tipo de eje que lleve nuestro buje. Se ha decidido que en este proyecto la longitud del buje sea constante.
- Diámetro de las alas: esta característica nos indicará el diámetro efectivo donde se ubicará los centros para los agujeros de los radios. Como durante el transcurso de este proyecto se van a utilizar diferentes diámetros de ala en los bujes, esta característica técnica si variará dependiendo de la instancia en que se esté trabajando.

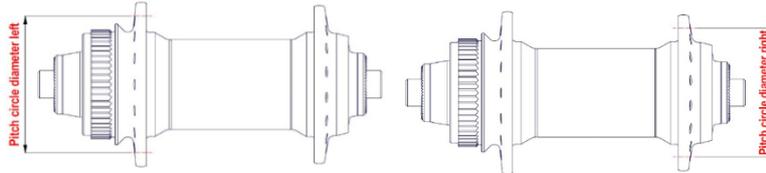


Ilustración 83; Diámetro de la ala del buje izquierdo.

Ilustración 82; Diámetro del ala del buje derecho.

- Distancia respecto al centro de las alas: esta característica nos indicará si las alas están distribuidas de forma simétrica respecto al centro o en cambio están distribuidas de forma asimétrica. Como durante el transcurso de este proyecto se van a utilizar diferentes distancias de las alas respecto al centro en los bujes, esta característica técnica si variará dependiendo de la instancia en que se esté trabajando.

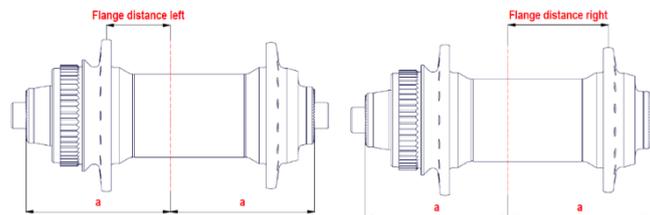


Ilustración 85; Distancia respecto al centro del buje izquierda.

Ilustración 84; Separación respecto al centro del buje derecha.

- Diámetro de los alojamientos para los radios: estos agujeros tienen un diámetro superior al que tendrán los radios para permitir un mejor ensamblaje. Como durante el transcurso de este proyecto se van a utilizar el mismo diámetro para los alojamientos de los radios, por lo tanto, esta característica técnica va a permanecer constante.

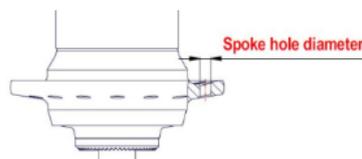


Ilustración 86; Diámetro de los alojamientos para los radios.

3.3.2 Configuraciones de ruedas que se van a realizar.

Para la realización de este proyecto he creado diferentes configuraciones de ruedas para poder apreciar la utilidad y los beneficios del diseño paramétrico.

Para poder trabajar sobre ejemplos reales, he cogido componentes del fabricante suizo de ruedas DT Swiss.

En la siguiente tabla paso a mostrar que componentes formarán parte de cada configuración de ruedas.

<u>Nº de instancia</u>	<u>ID</u>	<u>Llanta</u>	<u>Cabecilla</u>		<u>Radio</u>	<u>Buje</u>		
	Identificación dentro del proyecto	Tamaño estandarizado	Modelo	Modelo	Nº de radios	Nº de cruces	Modelo	Modelo
1	Front_Wheel_29_S32_350	29"	XR 391	DT Pro Lock Standard	32	3	DT Competition	DT Swiss Classic 350 DBIS BOOST
2	Front_Wheel_29_S32_240	29"	XR 391	DT Pro Lock Standard	32	3	DT Competition	DT Swiss Classic 240 DBCL BOOST
3	Front_Wheel_29_S28_350	29"	XR 391	DT Pro Lock Standard	28	3	DT Competition	DT Swiss Classic 350 DBIS BOOST
4	Front_Wheel_29_S28_240	29"	XR 391	DT Pro Lock Standard	28	3	DT Competition	DT Swiss Classic 240 DBCL BOOST
5	Front_Wheel_27_5_S32_350	27,5"	XR 391	DT Pro Lock Standard	32	3	DT Competition	DT Swiss Classic 350 DBIS BOOST
6	Front_Wheel_27_5_S32_240	27,5"	XR 391	DT Pro Lock Standard	32	3	DT Competition	DT Swiss Classic 240 DBCL BOOST
7	Front_Wheel_27_5_S28_350	27,5"	XR 391	DT Pro Lock Standard	28	3	DT Competition	DT Swiss Classic 350 DBIS BOOST
8	Front_Wheel_27_5_S28_240	27,5"	XR 391	DT Pro Lock Standard	28	3	DT Competition	DT Swiss Classic 240 DBCL BOOST

Tabla 1; Tabla de las distintas configuraciones de ruedas creadas para este proyecto.

3.3.3 Identificación de las configuraciones de ruedas.

Para poder determinar e identificar de forma rápida cada configuración de ruedas, he creado una identificación propia dentro del proyecto, como se puede observar en la tabla del apartado anterior.

Para su mejor comprensión paso a describir el significado que tiene cada parte de dicha identificación:

Front_Wheel_29_S32_350

Como podemos observar la identificación se compone por cuatro elementos principales que paso a describir:

- **Front_Wheel:**
Esta primera parte viene determinada por dos palabras del inglés que su traducción al castellano es de rueda delantera, la cual nos indica que esta configuración es de una rueda delantera.
- **29:**
Esta segunda parte viene determinada por el número 29 que hace referencia a que el tamaño de la rueda de esta configuración, por lo tanto, esta configuración el tamaño de la rueda es de 29 pulgadas.
- **S32:**
Esta tercera parte viene determinada por la identificación que hace referencia al número de radios que componen esta configuración de rueda. La letra “S” viene de la palabra “Spoke” que traducido al castellano es radio, y el número 32 hace referencia al número de radios, en esta configuración tendrá 32 radios.
- **350:**
Esta cuarta y última parte viene determinada por la identificación hace referencia al modelo de buje que se utiliza en dicha configuración. En este caso se utiliza el buje DT Swiss Classic 350 DBIS, por lo que se muestra el número 350.

3.3.4 Obtención de las características técnicas de las distintas configuraciones.

Para la obtención de los valores de las diferentes características técnicas necesarias para las distintas configuraciones de ruedas anteriormente descritas, he utilizado la herramienta del fabricante de ruedas suizo DT Swiss. Que es conocida como “Calculadora de radios DT Swiss”.

Con la cual podemos calcular la longitud de los radios mediante una configuración de ruedas totalmente personalizada, además, dicha herramienta muestra los valores de las características técnicas que definen cada componente que formará parte de la configuración de la rueda.

A continuación, paso a exponer todas las configuraciones de ruedas nombradas en el apartado de “Configuración de ruedas que se van a realiza”, además de poder visualizar los valores de sus características técnicas.



SPOKE CALCULATOR

Ilustración 87; Calculadora Online DT Swiss

1. FRON_WHEEL_29_S32_350

FRONT WHEEL	
1. RIM	
TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 29	
DIAMETER / ERD 607 mm	WEIGHT 440 g
2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 350 110 mm DBIS BOOST	
PITCH CIRCLE LEFT 58 mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 52 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.4 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 40 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.6 mm	WEIGHT 182 g
3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 32	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 88; instancia nº 1</i>	



2. FRON_WHEEL_29_S32_240

FRONT WHEEL	
1. RIM	
TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 29	
DIAMETER / ERD 607 mm	WEIGHT 440 g
2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 240 110 mm DBCL BOOST 2020+	
PITCH CIRCLE LEFT 44.4 mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 44.4 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.6 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 41.2 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.55 mm	WEIGHT 120 g
3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 32	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 89; Instancia nº 2</i>	



3. FRON_WHEEL_29_S28_350

4. FRON_WHEEL_29_S28_240

FRONT WHEEL 		FRONT WHEEL 	
1. RIM		1. RIM	
TYPE DT Swiss		TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 29		MODEL XR 391 29	
DIAMETER / ERD 607 mm	WEIGHT 440 g	DIAMETER / ERD 607 mm	WEIGHT 440 g
2. HUB		2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic		TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 350 110 mm DBIS BOOST		MODEL 240 110 mm DBCL BOOST 2020+	
PITCH CIRCLE LEFT 58 mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 52 mm	PITCH CIRCLE LEFT 44.4 mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 44.4 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.4 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 40 mm	FLANGE DISTANCE LEFT 27.6 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 41.2 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.6 mm	WEIGHT 182 g	Ø-SPOKEHOLE 2.55 mm	WEIGHT 120 g
3. SPOKES		3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8		SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8		SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 28		NO. OF SPOKES 28	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3	NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE		4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm		NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm		NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 90; Instancia nº 3</i>		<i>Ilustración 91; Instancia nº 4</i>	

5. FRON WHEEL 27.5 S32 350

FRONT WHEEL	
1. RIM	
TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 27.5	
DIAMETER / ERD 569 mm	WEIGHT 415 g
2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 350 110 mm DBIS BOOST	
PITCH CIRCLE LEFT 58 mm	PITCH CIRCLE RIGHT 52 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.4 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 40 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.6 mm	WEIGHT 182 g
3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 32	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 92; Instancia nº 5</i>	



6. FRON WHEEL 27.5 S32 240

FRONT WHEEL	
1. RIM	
TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 27.5	
DIAMETER / ERD 569 mm	WEIGHT 415 g
2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 240 110 mm DBCL BOOST 2020+	
PITCH CIRCLE LEFT 44.4 mm	PITCH CIRCLE RIGHT 44.4 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.6 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 41.2 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.55 mm	WEIGHT 120 g
3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 32	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 93; Instancia nº 6</i>	



7. FRON_WHEEL_27_5_S28_350

FRONT WHEEL	
1. RIM	
TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 27.5	
DIAMETER / ERD 569 mm	WEIGHT 415 g
2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 350 110 mm DBIS BOOST	
PITCH CIRCLE LEFT 58 mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 52 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.4 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 40 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.6 mm	WEIGHT 182 g
3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 28	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 94; Instancia nº 7</i>	



8. FRON_WHEEL_27_5_S28_240

FRONT WHEEL	
1. RIM	
TYPE DT Swiss	
MODEL XR 391 27.5	
DIAMETER / ERD 569 mm	WEIGHT 415 g
2. HUB	
TYPE DT Swiss Classic	
MODEL 240 110 mm DBCL BOOST 2020+	
PITCH CIRCLE LEFT 44.4 mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 44.4 mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.6 mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 41.2 mm
Ø-SPOKEHOLE 2.55 mm	WEIGHT 120 g
3. SPOKES	
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8	
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8	
NO. OF SPOKES 28	
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3	NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3
4. NIPPLE	
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm	
<i>Ilustración 95; Instancia nº 8</i>	



3.3.5 Identificación de los componentes que van a ser parametrizados.

Para poder realizar las configuraciones de ruedas anteriormente mencionadas, se debe identificar los componentes que deben ser parametrizados para que mediante las relaciones paramétricas se puedan cumplir en cada configuración de ruedas establecidas.

Con esta identificación de los componentes que van a ser parametrizados, posteriormente se definirán los parámetros que identificarán dichas características técnicas.

Para ellos primero paso a nombrar los componentes que van a ser parametrizados, mencionando los componentes desde la parte exterior de la rueda hasta su interior.

Los componentes que se va a parametrizar será los siguientes:

- La llanta:
Este componente va a ser parametrizado ya que en las diferentes configuraciones que se han establecido, se va a cambiar de diámetro y el número de radios que va a contener.
- Los radios:
Este componente va a ser parametrizado ya que en las diferentes configuraciones de ruedas su longitud variará, además que su cantidad también variará dependiendo la configuración que se elija.
- El buje:
Este componente va a ser parametrizado ya que en las diferentes configuraciones de este proyecto el modelo del buje cambia dependiendo de la instancia que se elija, esto afecta al número de radios que contendrá, la distancia de las alas respecto al centro, entre otras características.

3.3.6 Definición de los parámetros del conjunto.

Una vez hemos obtenido los valores de las características técnicas que son necesarias para el correcto ensamblaje y para el cálculo de la longitud de los radios y los componentes que van a ser parametrizados, paso a definir los parámetros que debo crear dentro del archivo CAD.

Para la correcta definición y funcionamiento de las relaciones paramétricas que debo establecer en el archivo CAD, primero debo definir los parámetros del conjunto en función de las configuraciones de la "Tabla 1".

Durante el transcurso de este proyecto me voy a centrar en las siguientes características técnicas que conllevan a la creación de los siguientes parámetros:

- Diámetro efectivo de la llanta:
Para poder generar la tabla de familia he creado el parámetro que determina esta característica técnica, el parámetro se llama "ERD".
- Número de radios:
Para poder generar la tabla de familia he creado el parámetro que determina el número de radios que tendrá cada configuración, dicho parámetro se llama "NumSpokes" que traducido al castellano es "Número de Radios".
- Número de cruces:
Para poder generar la tabla de familia he creado el parámetro que determina el número de cruces que tendrá cada configuración, dicho parámetro se llama "NumCross" que traducido al castellano es "Número de Cruces".

- **Diámetro efectivo del ala del buje:**
Para poder generar la tabla de familia he creado dos parámetros que determina el diámetro efectivo de las alas del buje tanto para el ala derecha como para el ala izquierda del buje, para ello he creado dos parámetros llamados “PITCH_CIRCLE_RIGHT” y “PITCH_CIRCLE_LEFT” que traducidas al castellano es “Diámetro del ala derecha” y “Diámetro del ala izquierda”.
- **Distancia de las alas del buje respecto al centro:**
Para poder generar la tabla de familia he creado dos parámetros que determina la distancia de las alas del buje tanto para el ala derecha como para el ala izquierda del buje, para ello he creado dos parámetros llamados “FLANGE_DISTANCE_RIGHT” y “FLANGE_DISTANCE_LEFT” que traducidas al castellano es “Distancia del ala derecha” y “Distancia del ala izquierda”.

PARÁMETROS EN EL CAD

ERD (mm)
NUMSPOKES
NUMCROSS
FLANGE_DISTANCE_RIGHT (mm)
FLANGE_DISTANCE_LEFT (mm)
PICH_CIRCLE_LEFT (mm)
PICH_CIRCLE_RIGHT (mm)

Tabla 2; Definición de los parámetros del archivo CAD.

Para poder visualizar los parámetros en el archivo CAD de Creo, se abre la pestaña de parámetros en el nivel de conjunto del ensamblaje.

Buscar en: Conjunto

Filtrar por: Por defecto

Nombre	Tipo	Valor	Designar	Acceso	Origen	Descripción	Restringido
DESCRIPTION	Cadena de		<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
PROJECT	Cadena de		<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
MODELED_BY	Cadena de		<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
ERD	Número rea	607.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
NUMSPOKES	Entero	32	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
NUMCROSS	Entero	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
FLANGE_DISTANCE_RIGHT	Número rea	40.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
FLANGE_DISTANCE_LEFT	Número rea	27.400000	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
PICH_CIRCLE_RIGHT	Número rea	52.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>
PICH_CIRCLE_LEFT	Número rea	58.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	Complete	Definido por		<input type="checkbox"/>

Ilustración 96; Parámetros generados en el archivo de Creo.

3.3.7 Diseño de la Tabla de familia.

Para el diseño y la cumplimentación de la tabla de familia que utilizaremos en el software CAD, se debe emplear los parámetros explicados en el apartado anterior y los valores de las características técnicas que definen estos parámetros. Quedando la siguiente tabla de familia:

		FRONT WHEEL						
		Parámetros						
Instancias		ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
1	FRONT_WHEEL_29_S32_350	607	32	3	40	27,4	58	52
2	FRONT_WHEEL_29_S32_240	607	32	3	41,2	27,6	44,4	44,4
3	FRONT_WHEEL_29_S28_350	607	28	3	40	27,4	58	52
4	FRONT_WHEEL_29_S28_240	607	28	3	41,2	27,6	44,4	44,4
5	FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	569	28	3	40	27,4	58	52
6	FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	569	28	3	41,2	27,6	44,4	44,4
7	FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	569	28	3	40	27,4	58	52
8	FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	569	28	3	41,2	27,6	44,4	44,4

Tabla 3; Tabla de familia en formato de hoja de cálculo.

Para poder visualizar la tabla de familia en el archivo CAD de Creo, se abre la pestaña de tabla de familia en el nivel de conjunto del ensamblaje.

Tipo	Nombre de fichero de la instancia	Nombre común	ERD	NUMSPOKES	NUMCROSS	FLANGE_DISTANCE_RIGHT	FLANGE_DISTANCE_LEFT	PICH_CIRCLE_LEFT	PICH_CIRCLE_RIGHT
	FRONT_WHEEL_CALC_CFR	wheel_calc_1.6.asm	607.0	32	3	40.0	27.4	58.0	52.0
	FRONT_WHEEL_29_S32_240	wheel_calc_1.6.asm	607.0	32	3	41.2	27.6	44.4	44.4
	FRONT_WHEEL_29_S28_240	wheel_calc_1.6.asm	607.0	28	3	41.2	27.6	44.4	44.4
	FRONT_WHEEL_29_S32_350	wheel_calc_1.6.asm	607.0	32	3	40.0	27.4	58.0	52.0
	FRONT_WHEEL_29_S28_350	wheel_calc_1.6.asm	607.0	28	3	40.0	27.4	58.0	52.0
	FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	wheel_calc_1.6.asm	569.0	28	3	40.0	27.4	58.0	52.0
	FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	wheel_calc_1.6.asm	569.0	28	3	41.2	27.6	44.4	44.4
	FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	wheel_calc_1.6.asm	569.0	28	3	40.0	27.4	58.0	52.0
	FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	wheel_calc_1.6.asm	569.0	28	3	41.2	27.6	44.4	44.4

Ilustración 97; Tabla de familia generada en Creo.

3.4 DESPIECE DEL CONJUNTO GÉNÉRICO MODELIZADO.

En este apartado se va a describir el proceso de modelización de los componentes que forman la rueda.

Para poder modelizar el conjunto genérico, servirá como punto de partida para posteriormente poder redactar todas las relaciones paramétricas.

Para ello, me he basado en la siguiente configuración, dicha configuración de rueda corresponde a su vez con la instancia nº1 del proyecto que es **FRONT_WHEEL_29_S32_350**:

FRONT WHEEL			
1. RIM			
TYPE DT Swiss			
MODEL XR 391 29			
DIAMETER / ERD 607		mm	WEIGHT 440
			g
2. HUB			
TYPE DT Swiss Classic			
MODEL 350 110 mm DBIS BOOST			
PITCH CIRCLE LEFT 58		mm	PITCH CIRCLE_RIGHT 52
			mm
FLANGE DISTANCE LEFT 27.4		mm	FLANGE DISTANCE RIGHT 40
			mm
Ø-SPOKEHOLE 2.6		mm	WEIGHT 182
			g
3. SPOKES			
SPOKES LEFT DT competition 2.0/1.8			
SPOKES RIGHT DT competition 2.0/1.8			
NO. OF SPOKES 32			
NO. OF INTERSECTIONS LEFT 3		NO. OF INTERSECTIONS RIGHT 3	
4. NIPPLE			
NIPPLE TYPE LEFT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm			
NIPPLE TYPE RIGHT DT Pro Lock Standard Alu 2.0 / 12mm			



Ilustración 98; Modelo genérico del conjunto e instancia nº1.

A partir de esta configuración he extraído todos los valores de las características técnicas necesarias para poder modelizar los siguientes componentes.

A continuación, paso a mostrar el árbol del modelo, para poder visualizar todos los componentes.

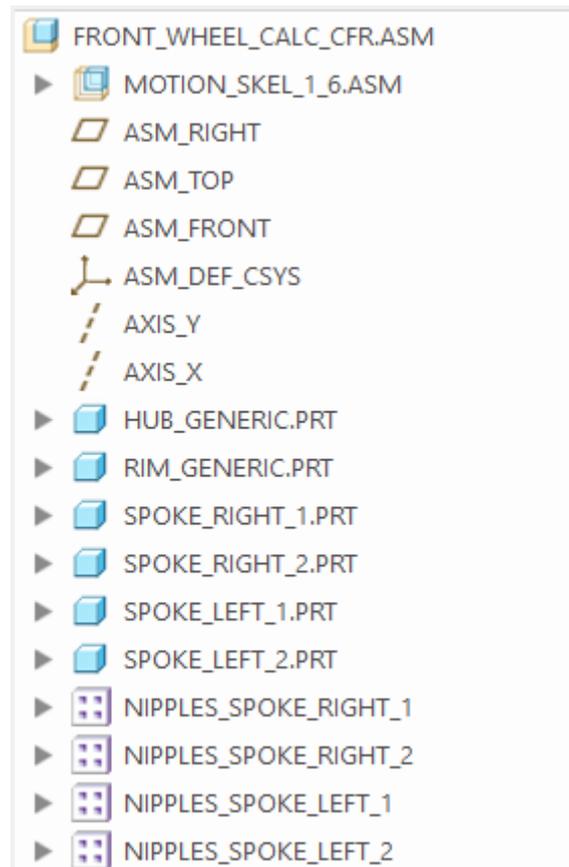


Ilustración 99; Árbol del modelo CAD.

3.4.1 Modelización del esqueleto.

El primer paso a la hora de la modelización de la configuración genérica de la rueda de bicicleta, he decidido modelizar el esqueleto, esta parte es una parte fundamental del diseño CAD ya que nos ayudará a referenciar posteriormente los componentes que forman la rueda.

El esqueleto que forma parte de esta modelización del conjunto genérico está compuesto por:

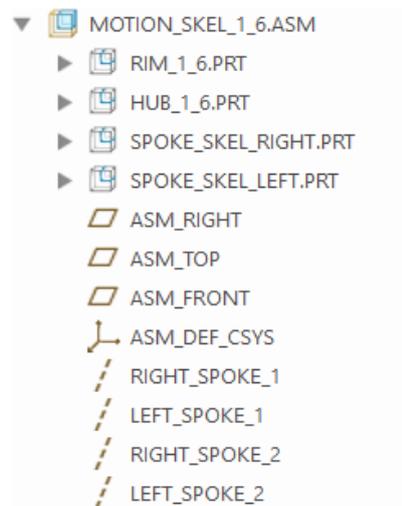


Ilustración 100; Árbol del esqueleto del modelo CAD.

- Esqueleto de la llanta o "rim".

En cuanto a la elaboración del esqueleto de la llanta, que es el encargado de definir el ERD de la rueda y el número de radios que la compondrán. Para ello se ha dibujado una circunferencia en el plano frontal, con el diámetro del ERD que se indica para el conjunto genérico, en este caso es una rueda de 29" por lo que el ERD será de 607mm. Por otra parte, para la referenciación del número de radios he utilizado un patrón circular donde se indica mediante un punto el número de radios que tendrá la configuración genérica, en este caso 32 radios.

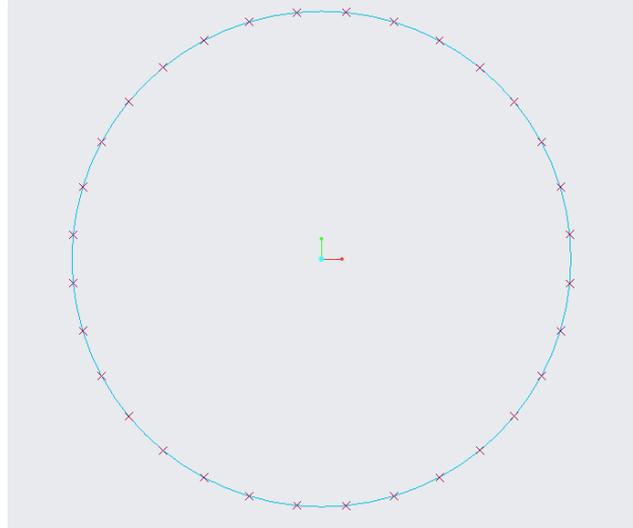


Ilustración 101; Esqueleto de la llanta.

- Esqueleto de los radios.

En cuanto a la elaboración del esqueleto de los radios, he optado por la creación del esqueleto de los cuatros radios guía, por simplificar el modelo del esqueleto y por una mejor comprensión. El esqueleto de los radios consiste en la parte derecha e izquierda de la rueda de dos líneas discontinuas, estas dos en cada lado son los que definen ambos sentidos de radiado (sentido horario y sentido antihorario). Dichas líneas discontinuas están definidas por dos puntos, uno ubicado en el esqueleto de la llanta y otro colocado en el esqueleto del buje en cada ala, que para saber su ubicación exacta se ha seguido el método de radiado de Scharner's.



Ilustración 102; Esqueleto de los radios.

- Esqueleto del buje o “hub”.

En cuanto a la elaboración del esqueleto del buje que se encarga de definir el diámetro efectivo de las alas de este, el ángulo de decalaje entre alas y la distancia respecto al centro de las alas.

Primeramente, para poder definir el diámetro efectivo de las alas he dibujado una circunferencia definiendo el PITCH_CIRCLE de cada ala, para posteriormente sobre esta circunferencia situar los agujeros donde irán alojados los primeros radios. Estos agujeros se representarán mediante una circunferencia y un punto colocados con ángulo de decalaje correspondiente, y finalmente para poder definir la distancia de las alas del buje respecto al centro de este, he creado un plano a la distancia que representa el FLANGE_DISTANCE de amabas alas.

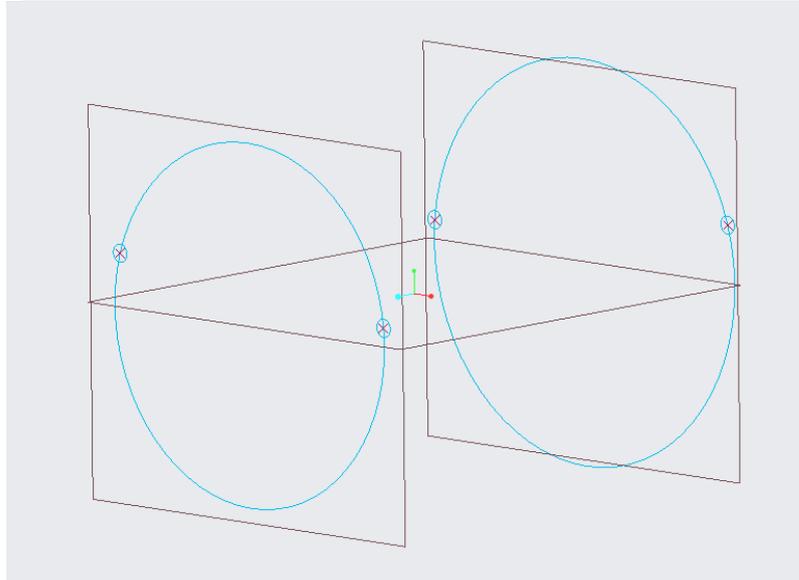


Ilustración 103; Esqueleto del buje.

3.4.2 Modelización de la llanta.

Para el modelado de la llanta se han seguido las características técnicas y los valores correspondientes a la configuración genérica establecida.

Para la creación de este modelo he partido con la elaboración del esbozo con la sección de la llanta, inspirándome en la geometría del modelo de llanta de DT Swiss XR 391 29”, la cual establece una altura de la sección de 18mm y un ancho de 29mm. Tras haber dibujado la sección en un esbozo procedo a realizar la operación de revolución sobre el eje “Y”, creando el modelo genérico siguiente.

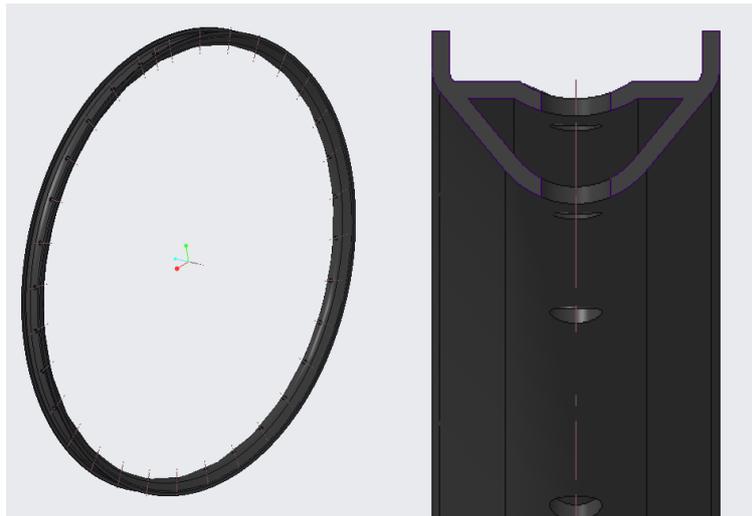


Ilustración 104; Modelización de la llanta genérica.

3.4.3 Modelización de la cabecilla.

Para el modelado de la cabecilla se han seguido las características técnicas y los valores correspondientes a la configuración genérica establecida.

Para la creación de este componente he partido con la elaboración del esbozo de la sección de la cabecilla, inspirándome en la geometría del modelo de cabecilla de DT Pro Lock, además de seguir las características técnicas de la longitud de la cabecilla que en este caso es de 12mm y el diámetro de la rosca que en este caso es de 2mm. Tras haber dibujado la sección en un esbozo procedo a realizar la operación de revolución sobre el eje "Z", creando el modelo genérico siguiente

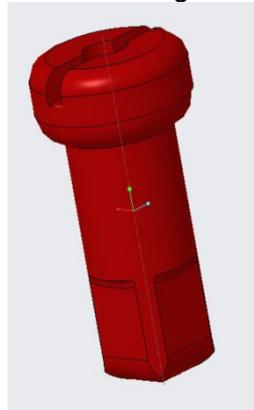


Ilustración 105; Modelización de la cabecilla genérica.

3.4.4 Modelización de los radios.

Para el modelado de los radios se han seguido las características técnicas y los valores correspondientes a la configuración genérica establecida.

Para la creación de este componente he partido con la elaboración del esbozo que define la trayectoria del radio que posteriormente seguirá una sección circular mediante la función de barrido, inspirándome en la geometría del modelo de radios de DT Swiss Competinon.

De manera que para referenciar las características técnicas de los radios se debe hacer uso del esqueleto de los radios, con los cuales tengo definido el plano al que pertenecerá el radio y los puntos que definirán tanto su longitud como su forma geométrica.

Para la creación de los patrones que completarán el radiado en ambas partes de la rueda, he utilizado cuatro patrones, es decir, dos patrones para cada parte de la rueda ya que un patrón equivale a un sentido de radiado en un lado. Por lo tanto, en la cada parte he creado un patrón de radiado para el radiado en sentido horario y otro para el radiado en sentido antihorario.

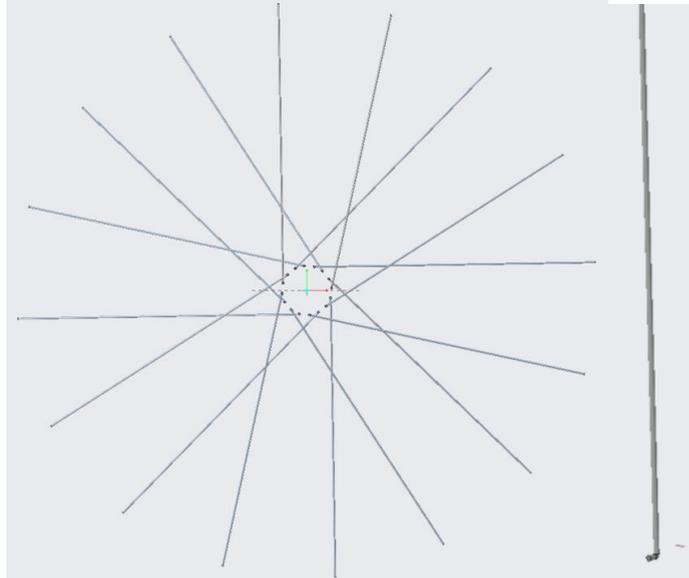


Ilustración 106; Modelización de los radios.

3.4.5 Modelización del buje.

Para el modelado del buje se han seguido las características técnicas y los valores correspondientes a la configuración genérica establecida. Para la creación de este componente he partido con la elaboración del esbozo de la sección del buje, inspirándome en imágenes del componente, además de seguir las características técnicas del diámetro efectivo del ala derecha que es de 52mm y el del ala izquierda que es de 58mm, además de la distancia de las alas respecto al centro del buje el ala derecha de 40mm y el ala izquierda a 27,4mm, también el ángulo de decalaje de los alojamientos de los radios entre las alas. Tras haber dibujado la sección en un esbozo procedo a realizar la operación de revolución sobre el eje "Y", creando el modelo genérico siguiente

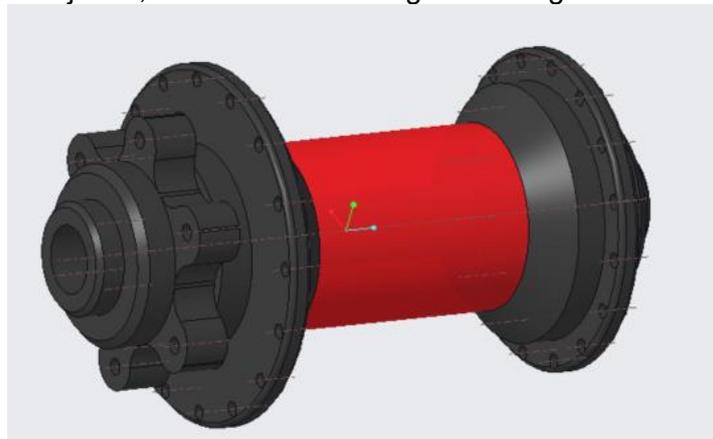


Ilustración 107; Modelización del buje genérico.

3.4.6 Ensamblaje completo.

Durante la modelización todas las piezas que componen el conjunto genérico se han ido relacionado con el modelo del esqueleto del conjunto de forma simultánea, de forma que el ensamble de los componentes ha ido a la vez que la modelización de las mismas.

Quedando el ensamblaje final de la siguiente manera:



Ilustración 108; Modelización del conjunto de la rueda.

3.5 RELACIONES PARAMÉTRICAS DEL CONJUNTO.

En este apartado del proyecto se va a definir las relaciones paramétricas creadas en el software de diseño CAD, dichas relaciones se han sido creadas en el siguiente nivel.

3.5.1 Relaciones paramétricas del esqueleto.

En este apartado se va a proceder a la aclaración y explicación de las relaciones paramétricas utilizadas en el modelo del esqueleto utilizado en el archivo CAD. Las relaciones paramétricas utilizadas son las siguientes:

- /*Definimos ERD:
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro del ERD, es decir, el diámetro efectivo de la llanta se ha utilizado el esqueleto de la llanta donde se había creado la circunferencia que define el diámetro de la llanta mediante una cota que define su radio llamada: d5:0. Por lo que para definir el ERD se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d5:0 = \frac{ERD}{2}$$

- /*Definimos el Numero de Radios:
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro del número de radios, se ha utilizado el esqueleto de la llanta donde se había creado un patrón circular que define el número de radios mediante puntos. Para poder establecer la relación se ha utilizado la cota que define el patrón llamado: p10:0. Por lo que para definir el número de radios se ha obtenido la siguiente expresión.

$$p10:0 = NUMSPOKES$$

- /*Distancia ala derecha (SPOKE_HOLE_RIGHT):
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro de la distancia del ala derecha, se ha utilizado el esqueleto del buje donde se había creado un plano que define la distancia respecto al centro del buje mediante la creación de un plano paralelo al plano frontal del ensamblaje. Para poder establecer la relación se ha utilizado la cota que define dicha distancia llamada: d3:2. Por lo que para definir la distancia del ala derecha del buje respecto al centro se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d3:2 = FLANGE_DISTANCE_RIGHT$$

- /*Distancia ala izquierda (SPOKE HOLE LEFT):
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro de la distancia del ala izquierda, se ha utilizado el esqueleto del buje donde se había creado un plano que define la distancia respecto al centro del buje mediante la creación de un plano paralelo al plano frontal del ensamblaje. Para poder establecer la relación se ha utilizado la cota que define dicha distancia llamada: d4:2.
Por lo que para definir la distancia del ala izquierda del buje respecto al centro se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d4:2 = FLANGE_DISTANCE_LEFT$$

- /*Diámetro efectivo del ala derecha (PICH CIRCLE RIGHT):
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro del Pitch circle right, es decir, el diámetro efectivo del ala del buje se ha utilizado el esqueleto del buje donde se había creado la circunferencia que define el diámetro efectivo del ala en el plano creado anteriormente mediante una cota que define su radio llamado: d5:2.
Por lo que para definir el Pitch circle right se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d5:2 = \frac{PICH_{CIRCLE_{RIGHT}}}{2}$$

- /*Diámetro efectivo del ala izquierda (PICH CIRCLE LEFT):
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro del Pitch circle left, es decir, el diámetro efectivo del ala del buje se ha utilizado el esqueleto del buje donde se había creado la circunferencia que define el diámetro efectivo del ala en el plano creado anteriormente mediante una cota que define su radio llamado: d8:2.
Por lo que para definir el Pitch circle left se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d8:2 = \frac{PICH_{CIRCLE_{LEFT}}}{2}$$

- /*Ángulo de decalaje de los radios del ala derecha:
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro del Ángulo de decalaje de los radios del ala derecha, es decir, el ángulo de desfase del ala del buje se ha utilizado el esqueleto del buje donde se había creado la circunferencia que define el diámetro efectivo del ala y el primer agujero del radio en el plano creado anteriormente, mediante una cota que define su radio llamado: d6:2.
Por lo que para definir el Ángulo de decalaje de los radios del ala derecha se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d6:2 = (NUMCROSS * (360/(NUMSPOKES/2))) + (1/4 * (360/(NUMSPOKES/2)))$$

- /* Ángulo de decalaje de los radios del ala izquierda:
Para poder establecer una relación paramétrica en el esqueleto que defina el parámetro del Ángulo de decalaje de los radios del ala izquierda, es decir, el ángulo de desfase del ala del buje se ha utilizado el esqueleto del buje donde se había creado la circunferencia que define el diámetro efectivo del ala y el primer agujero del radio en el plano creado anteriormente, mediante una cota que define su radio llamado: d9:2.
Por lo que para definir el Ángulo de decalaje de los radios del ala izquierda se ha obtenido la siguiente expresión.

$$d9:2 = (NUMCROSS:1 * (360/(NUMSPOKES/2))) + (4/3 * (360/(NUMSPOKES/2)))$$

3.6 CÁLCULOS DE LA LONGITUD DE LOS RADIOS.

3.6.1 Parámetros de cálculo de la longitud de los radios.

Los parámetros necesarios para poder calcular la longitud de los radios son los siguientes:

- Número de radios de la configuración de rueda.
- ERD, diámetro efectivo de la rueda.
- Pitch Circle Right, diámetro del ala derecha del buje.
- Flange Distance Right, Distancia del ala derecha del buje respecto al centro de este.

3.6.2 Justificación del cálculo de la longitud de los radios.

Para la obtención de la longitud de los radios de forma analítica, se debe seguir los siguientes pasos donde se especifican las relaciones matemáticas que he seguido para poder calcularlo.

Para la correcta ejecución de esta justificación del cálculo de la longitud de los radios, voy a realizar un ejemplo del cálculo, por lo que debo escoger una configuración de rueda, para completar parámetros explicados anteriormente.

La configuración escogida es la siguiente: "Front_Wheel_29_S32_350"

	Identificación dentro del proyecto	Tamaño estandarizado	Modelo	Modelo	Nº de radios	Nº de cruces	Modelo	Modelo
1	Front_Wheel_29_S32_350	29"	XR 391	DT Pro Lock Standard	32	3	DT Competition	DT Swiss Classic 350 DBIS BOOST

Tabla 4; Componentes de la instancia n°1, ejemplo para el cálculo.

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
1 FRONT_WHEEL_29_S32_350	607	32	3	40	27,4	58	52

Tabla 5; Valores de las características técnicas de la instancia n°1.

1º Obtención de las coordenadas en “X, Y, Z” del agujero en la llanta donde colocaremos el primer radio.

Para ello partimos del lado derecho de la rueda, en el cual mediante el método de radiado de *Schraner*, sabremos que el primer agujero en la llanta será el primer agujero a la derecha del orificio de la válvula, que pasa a ser nuestro Punto “L”.

Por lo tanto, podremos decir que para obtener las coordenadas de dicho punto debemos saber qué el ángulo respecto a la vertical de dicho agujero, que viene determinado por el número de radios que contenga nuestra configuración.

Lo podemos observar en la siguiente ilustración se muestra el ángulo respecto al eje central, en este caso viene determinado por:

$$\alpha = \frac{\left(\frac{360^\circ}{N^\circ \text{ de Radios}}\right)}{2}$$

$$\alpha = \frac{\left(\frac{360^\circ}{32}\right)}{2}$$

$$\alpha = 5.625^\circ$$

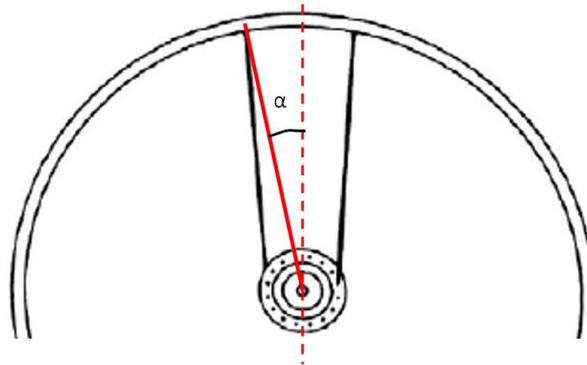


Ilustración 109; Representación del ángulo respecto a la vertical.

También obtengo el ángulo entre los radios, que es lo mismo que el ángulo que hay entre agujeros de la llanta, para poder calcularlo he desarrollado las siguientes expresiones:

$$\text{Ángulo entre agujeros} = \frac{360^\circ}{N^\circ \text{ de radios}}$$

$$\text{Ángulo entre agujeros} = \frac{360^\circ}{32 \text{ radios}}$$

$$\underline{\text{Ángulo entre agujeros} = 11.25^\circ}$$

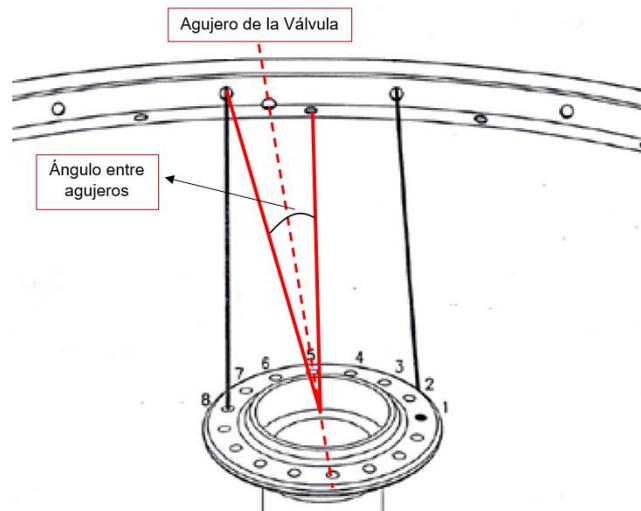


Ilustración 110; Ángulo entre agujeros de la llanta.

Para poder calcular las tres coordenadas en el espacio se deben saber de los datos que disponemos para poder calcularlos, para ello nos ayudaremos de la siguiente ilustración:

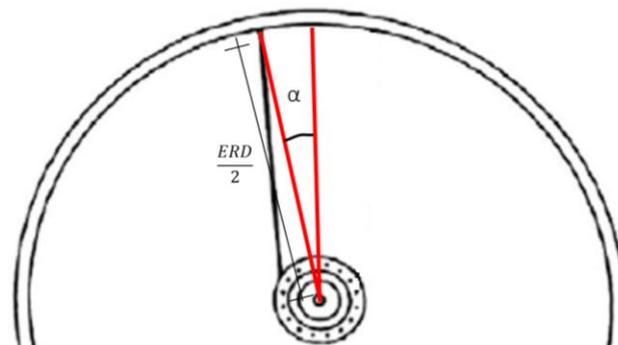


Ilustración 111; Datos calculo primer agujero de la llanta.

Como podemos ver en la ilustración tenemos como dato el ERD de la rueda, el cual deberemos dividir entre dos, y el ángulo " α ". Tomando las siguientes ilustraciones como origen de coordenadas, paso a calcular las coordenadas en cada eje.

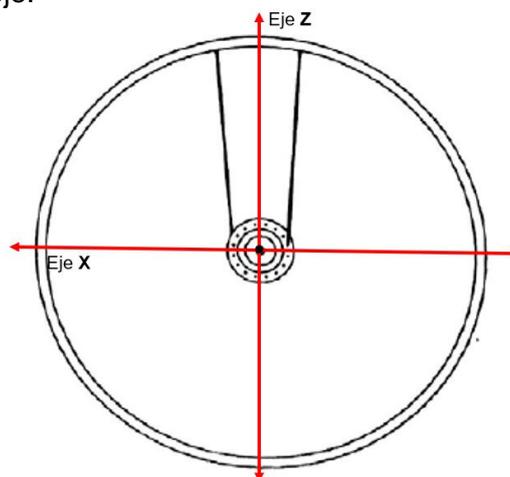


Ilustración 112; Origen de coordenadas Llanta plano XZ.

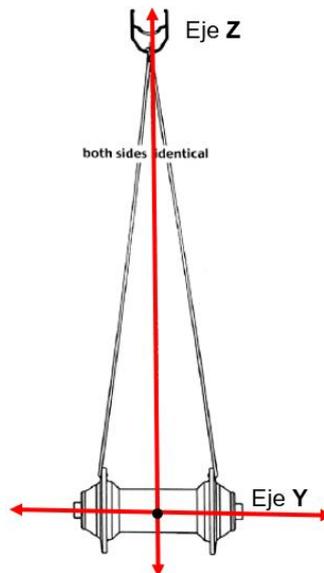


Ilustración 113; Origen de coordenadas de la Llanta plano ZY.

• **COORDENADA “X”**

Su coordenada “X” viene determinada por el ángulo “α” que origina la matriz de los agujeros para los radios en la llanta. En este caso tenemos 32 radios, es decir, que hay 11. 25° entre agujeros.

Para la obtención de dicha coordenada la cual la podremos calcular mediante una relación trigonométrica, ya que teniendo como datos la hipotenusa del triángulo rectángulo y el ángulo “α”, mediante la función del Seno podremos obtener la coordenada en “X”.

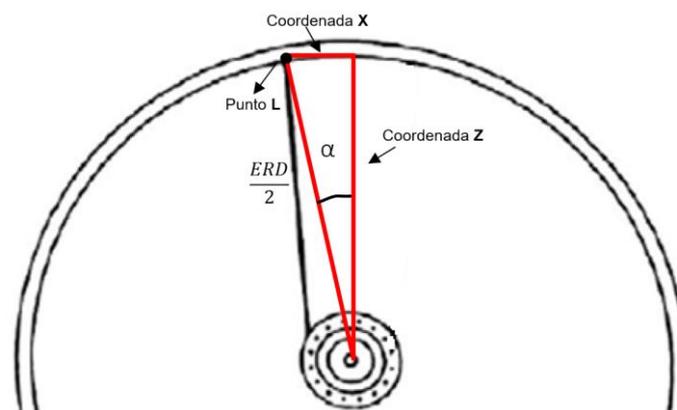


Ilustración 114; Representación del triángulo rectángulo con todos los datos conocidos.

$$\sin(\alpha) = \frac{X}{\left(\frac{ERD}{2}\right)}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{X}{\left(\frac{607}{2}\right)}$$

$$\sin(5.625^\circ) = \frac{X}{303.5}$$

$$\underline{X = 29.75\text{mm}}$$

- **COORDENADA “Y”**

Su coordenada “Y” viene fijada por el plano donde se encuentra dicho agujero, en esta representación hemos colocado el centro de la llanta coincidente con el plano “Y”, sabiendo que la coordenada en “Y” será 0.

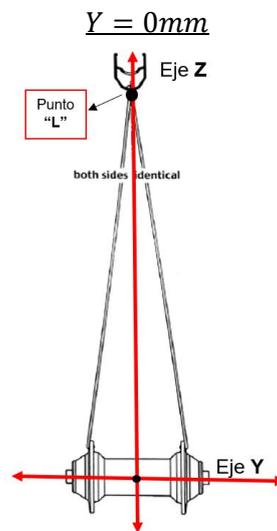


Ilustración 115; Representación del Punto “L” en el plano ZY.

- **COORDENADA “Z”**

Su coordenada en “Z” la podremos calcular mediante una relación trigonométrica, ya que teniendo como datos la hipotenusa del triángulo rectángulo y el ángulo “ α ”, mediante la función del Coseno podremos obtener la coordenada en “Z”.

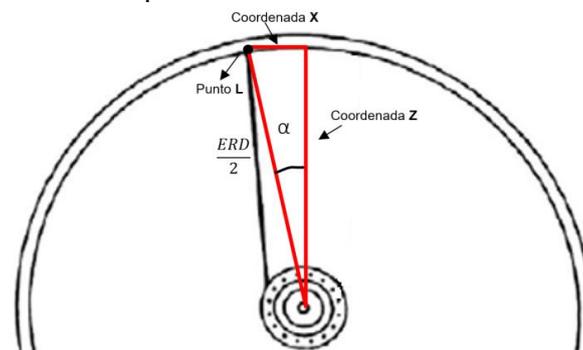


Ilustración 116; Representación del triángulo rectángulo con todos los datos conocidos.

$$\cos(\alpha) = \frac{Z}{\left(\frac{ERD}{2}\right)}$$

$$\cos(5.625^\circ) = \frac{Z}{\left(\frac{607}{2}\right)}$$

$$\cos(5.625^\circ) = \frac{Z}{303.5}$$

$$\underline{Z = 302.04mm}$$

Una vez calculadas las tres coordenadas en el espacio, se quedan resumidos en esta tabla los valores obtenidos en los cálculos anteriores y algunos datos imprescindibles para ello.

LLANTA

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro / ERD	607	mm
Radio / ERD/2	303,5	mm
Agujero del primer radio en la llanta		
Coordenada X	29,75	mm
Coordenada Y	0	mm
Coordenada Z	302,04	mm
Ángulo	5,625	°

Tabla 6; Tabla resumen del Punto "L" de la llanta.

Una vez obtenido sus coordenadas pasaremos a representar este punto como el:
"Punto L"

$$\text{Punto L} = (29.75; 0; 302.04)mm$$

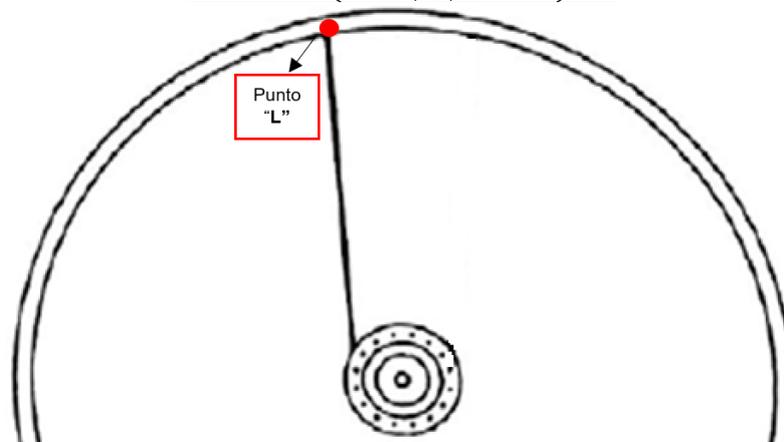


Ilustración 117; Representación del Punto "L" en el plano XZ.

2º Obtención de las coordenadas en "X, Y, Z" del agujero en el ala derecha del buje donde colocaremos el primer radio.

Para ello dependemos del método de radiado utilizado, en este ejemplo utilizo tres cruces, y el primer agujero por el que se empezará a radiar será el agujero con el número 1, según la numeración expuesta en la siguiente ilustración, que pasa a ser nuestro Punto "B".

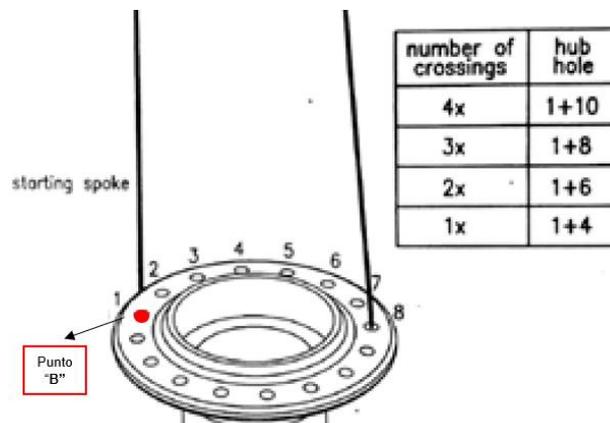


Ilustración 118; Representación del Punto "B" en el buje.

Por lo tanto, podremos decir que para obtener las coordenadas de dicho punto debemos saber qué el ángulo respecto a la horizontal de dicho agujero viene determinado por el número de radios que contenga nuestra configuración en el ala derecha de nuestro buje.

Lo podemos observar en la siguiente ilustración se muestra el ángulo respecto al eje X (la horizontal), en este caso viene determinado por:

$$\beta = \frac{360^\circ}{N^\circ \text{ de Radios}} * \frac{2}{3}$$

$$\beta = \frac{360^\circ}{32} * \frac{2}{3}$$

$$\beta = \frac{360^\circ}{16} * \frac{2}{3}$$

$$\beta = 16.875^\circ$$

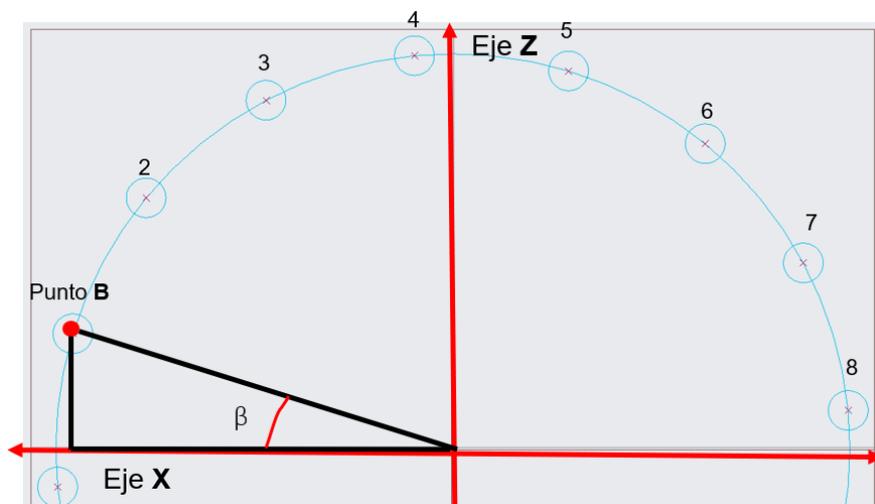


Ilustración 119; Representación del ángulo " β " en el ala derecha del buje.

Para poder calcular las tres coordenadas en el espacio se deben saber de los datos que disponemos para poder calcularlos, para ello nos ayudaremos de la siguiente ilustración:

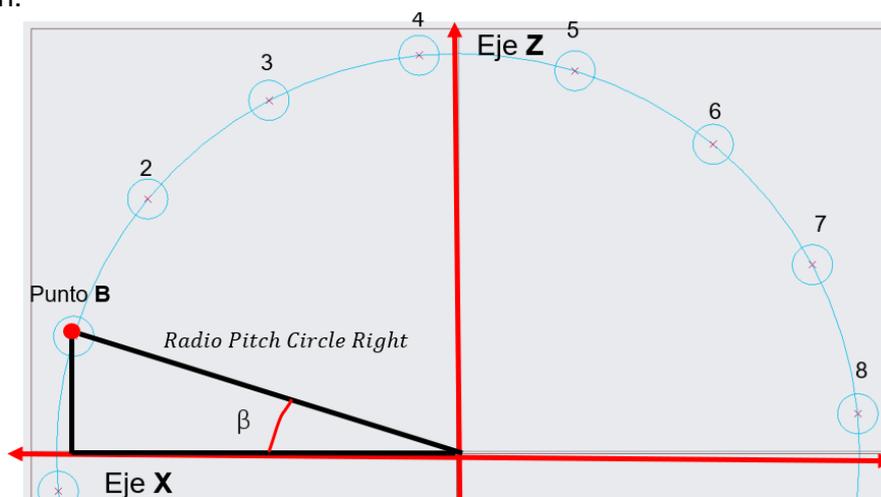


Ilustración 120; Representación de los datos en el ala derecha del buje.

Como podemos ver en la ilustración tenemos como dato el ángulo " β " y el Pitch Circle Right del ala derecha del buje, el cual deberemos dividir entre dos como se muestra a continuación.

$$\text{Radio Pitch Circle Right} = \frac{\text{Diameter Pitch Circle Right}}{2}$$

$$\text{Radio Pitch Circle Right} = \frac{52\text{mm}}{2}$$

$$\text{Radio Pitch} = 26\text{mm}$$

Representaría la hipotenusa del triángulo rectángulo.

Por lo tanto, podremos decir que para obtener las coordenadas de dicho punto (Punto "B") tomaré los mismos orígenes de coordenadas que en el paso anterior;

• COORDENADA "X"

Su coordenada "X" viene determinada por el ángulo con el que se determina la matriz de los agujeros para los radios en el ala del buje, en este caso tenemos 32 radios, es decir, hay 16 agujeros por cada ala del buje.

Para la obtención de dicha coordenada la cual la podremos calcular mediante una relación trigonométrica, ya que teniendo como datos la hipotenusa del triángulo rectángulo y el ángulo " β ", mediante la función del Coseno podremos obtener la coordenada en "X".

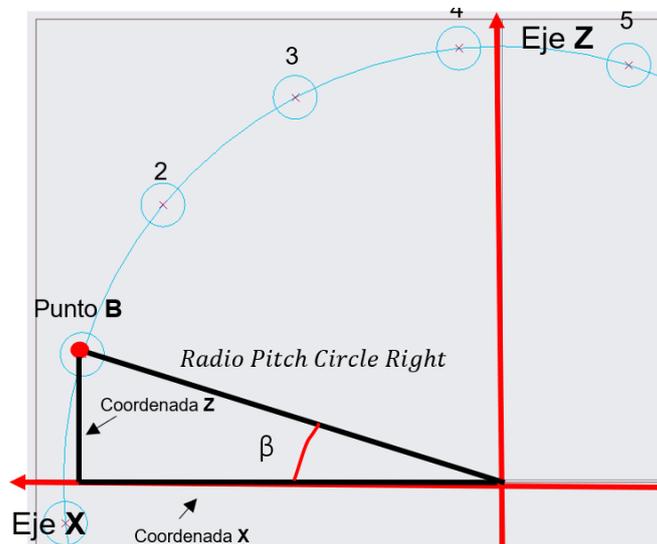


Ilustración 121; Representación del ala derecha del buje en el plano XZ.

$$\text{Cos}(\beta) = \frac{X}{\text{Diameter Pitch Circle Right}}$$

$$\text{Cos}(\beta) = \frac{X}{\frac{52}{2}}$$

$$\text{Cos}(16.875^\circ) = \frac{X}{26}$$

$$\underline{X = 24.880\text{mm}}$$

• COORDENADA "Y"

Su coordenada "Y" viene fijada por el plano donde se encuentra dicho elemento, en esta representación debido a las especificaciones del buje, sabemos que la coordenada en "Y" será 40 mm.

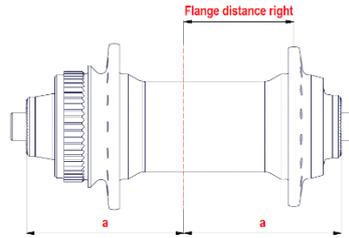


Ilustración 122; Representación del buje en el plano ZY.

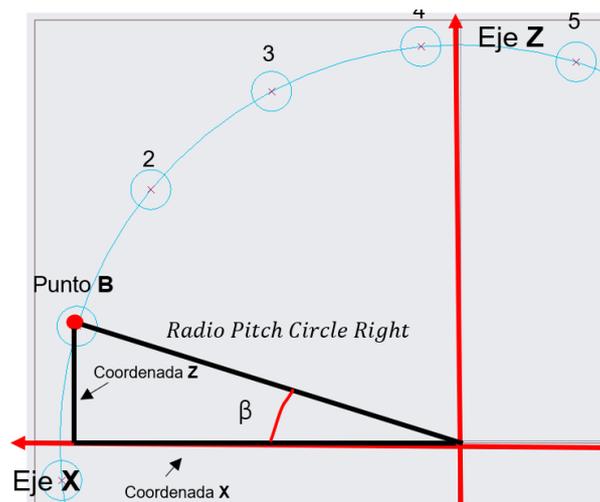
$$Y = \text{Flange Distance Right}$$

$$Y = 40\text{mm}$$

• COORDENADA “Z”

Su coordenada en “Y” la podemos conocer mediante una relación trigonométrica con la cual podremos calcular su valor exacto. Que viene determinada por el número de radios en el ala.

Para la obtención de dicha coordenada la cual la podremos calcular mediante una relación trigonométrica, ya que teniendo como datos la hipotenusa del triángulo rectángulo y el ángulo “ β ”, mediante la función del Seno podremos obtener la coordenada en “Z”.



$$\sin(\beta) = \frac{Z}{\text{Diameter Pitch Circle Right}}$$

$$\sin(\beta) = \frac{\frac{Z}{2}}{26}$$

$$\sin(16.875^\circ) = \frac{Z}{52}$$

$$Z = 7.545\text{mm}$$

Una vez calculadas las tres coordenadas en el espacio, se quedan resumidos en esta tabla los valores obtenidos en los cálculos anteriores y algunos datos imprescindibles para ello.

LADO DERECHO

Parámetro	Valor	Unidad
Pitch Circle Right	52	mm
Radio Pitch Circle Right	26	mm
Flange Distance Right	40	mm
1º Spoke Hole		
Coordenada X	24,88	mm
Coordenada Y	40	mm
Coordenada Z	7,55	mm
Ángulo	16,875	°

Tabla 7; Tabla resumen del Punto "B" del buje.

Una vez obtenido sus coordenadas pasaremos a representar este punto como el:

"Punto B";

$$\underline{\text{Punto B} = (24.88; 40; 7.55)\text{mm}}$$

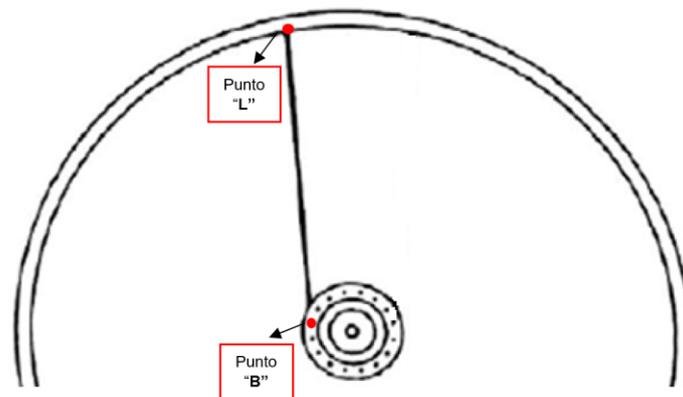


Ilustración 123; Representación Puntos "L" y "B" en el plano XZ.

3º Determinar la inclinación del primer radio respecto al eje vertical (Eje Z).

Con el fin de conocer el ángulo "γ", que determina dicha inclinación, debemos saber las tres coordenadas tanto del inicio del radio en el buje (Punto "B") como las coordenadas del final del radio en la llanta (Punto "L").

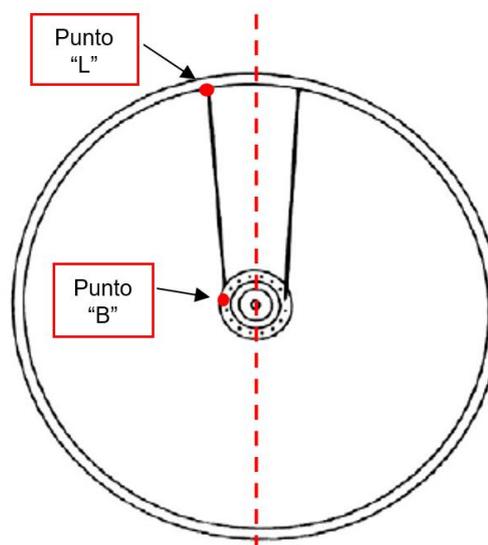


Ilustración 124; Representación Puntos "L" y "B" en el plano XZ.

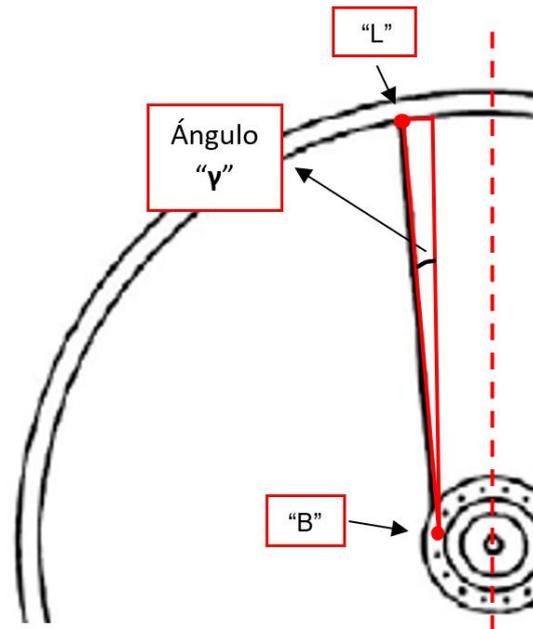


Ilustración 125; Representación del ángulo formado por los Puntos "L" y "B" en el plano XZ

Una vez ya tenemos definido el triángulo rectángulo por el cual mediante las relaciones trigonométricas podremos determinar el ángulo " γ ", debemos recapitular las coordenadas de ambos puntos.

Para poder obtener una mejor visualización de dicho triángulo rectángulo obtenido mediante los Puntos "L" y "B", y el eje "Z", paso a ampliarlo en la siguiente ilustración.

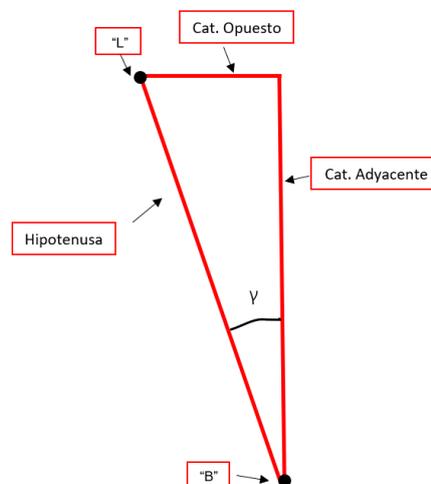


Ilustración 126; Representación ampliada de la ilustración anterior.

Para obtener el valor del cateto adyacente, es decir la parte paralela al eje "Z", debemos saber que el "Punto L" y el "Punto B" tienen coordenada "Z", por lo que para poder determinar el valor del cateto adyacente debemos restar la Coordenada "Z" del "Punto B" a la Coordenada "Z" del "Punto L".

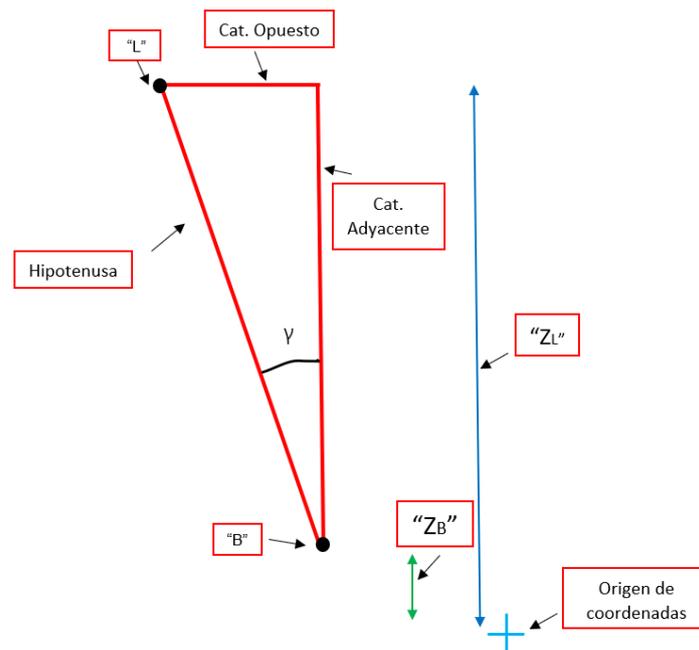


Ilustración 127; Representación de las longitudes de " Z_L " y " Z_B ".

$$\begin{aligned} \text{Cat. Ady} &= Z_L - Z_B \\ \text{Cat. Ady} &= 302.04\text{mm} - 7.55\text{mm} \\ \text{Cat. Ady} &= \underline{294.49\text{mm}} \end{aligned}$$

El siguiente paso es determinar el cateto opuesto, para ello debemos saber las coordenadas en "X" de ambos puntos (Punto "B" y Punto "L"), para posteriormente poder restarlas y obtener el valor del cateto opuesto de nuestro triángulo rectángulo.

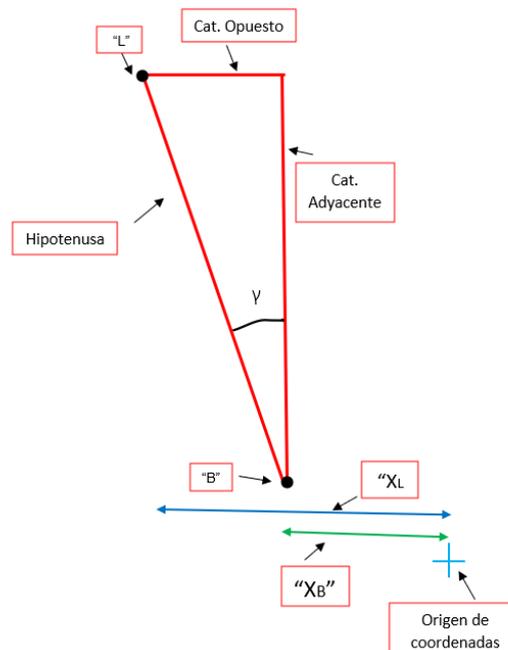


Ilustración 128; Representación de las longitudes de " X_L " y " X_B ".

$$\begin{aligned} \text{Cat. Op.} &= X_L - X_B \\ \text{Cat. Op.} &= 29.75\text{mm} - 24.88\text{mm} \\ \text{Cat. Op.} &= \underline{4.87\text{mm}} \end{aligned}$$

Finalmente pasamos a el cálculo del ángulo α , ya que tenemos los datos suficientes como para poder afrontar dicho cálculo:

$$\gamma = \text{ArcTan} \left(\frac{\text{Cat. Op.}}{\text{Cat. Ady.}} \right)$$

$$\gamma = \text{ArcTan} \left(\frac{4.87\text{mm}}{294.49\text{mm}} \right)$$

$$\alpha = 0.947^\circ$$

4º Cálculo de la longitud del primer radio mediante los datos calculados anteriormente, en la proyección frontal (Plano XZ).

Una vez calculados los datos necesarios para el cálculo de la longitud del radio en el plano "XZ", los plasmamos en la siguiente tabla a modo de resumen con un esquema aclaratorio en la parte inferior.

RADIO_LADO DERECHO_NODISCO

Parámetro	Valor	Unidad
Cat. Opuesto	4,87	mm
Cat. Adyacente	294,49	mm
Ángulo	0,947	º

Tabla 8; Definición de los valores del triángulo rectángulo obtenido.

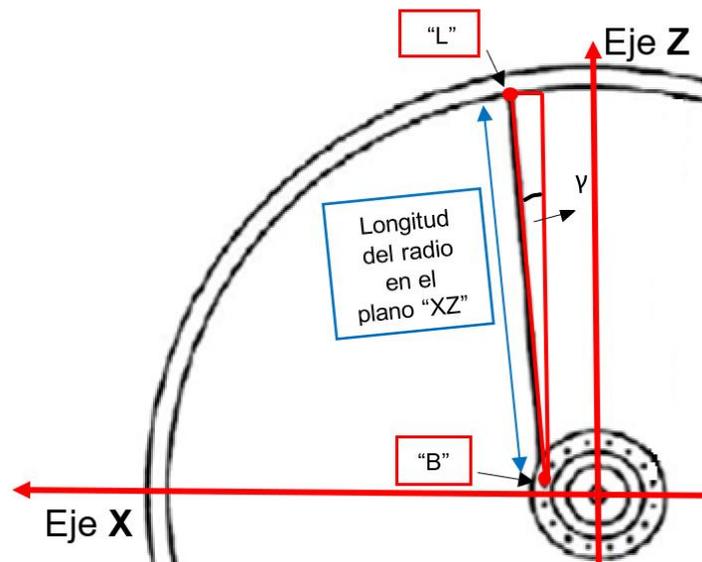


Ilustración 129; Representación de la longitud del radio en el plano "XZ".

Para el cálculo de la longitud del radio en la proyección frontal (Plano "XZ"), ya que tengo todos los datos necesarios, mediante la función del Seno puedo calcular dicha longitud.

$$\text{Sin}(\gamma) = \frac{\text{Cat. Op.}}{\text{Long. Radio}}$$

$$\text{Sin}(0.947^\circ) = \frac{4.87\text{mm}}{\text{Long. Radio}}$$

$$\text{Long. Radio} = \frac{4.87\text{mm}}{\text{Sin}(0.947^\circ)}$$

$$\underline{\text{Long. Radio} = 294.66\text{mm}}$$

5º Cálculo de la longitud del primer radio mediante los datos calculados anteriormente, en la proyección de perfil (Plano “ZY”).

Una vez calculados los datos necesarios para el cálculo de la longitud del radio en el plano “ZY”, los plasmamos en la siguiente tabla a modo de resumen con un esquema aclaratorio en la parte inferior.

RADIO_LADO DERECHO

Parámetro	Valor	Unidad
Cat. Opuesto	40	mm
Cat. Adyacente	294,66	mm
Ángulo	--	º

Tabla 9; Definición del triángulo rectángulo obtenido.

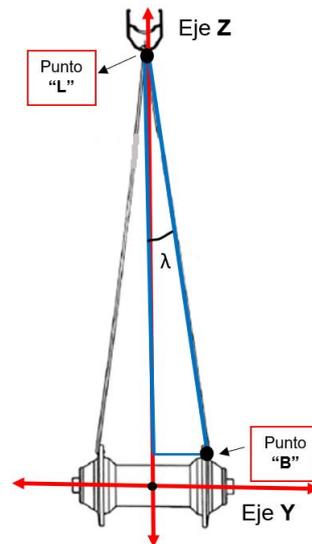


Ilustración 130; Representación del radio en el plano “ZY”.

Finalmente pasamos a el cálculo del ángulo α , ya que tenemos los datos suficientes como para poder afrontar dicho cálculo:

$$\lambda = \text{ArcTan} \left(\frac{\text{Cat.Op.}}{\text{Cat.Ady.}} \right)$$

$$\lambda = \text{ArcTan} \left(\frac{40 \text{ mm}}{294,49 \text{ mm}} \right)$$

$$\lambda = 7,730^\circ$$

Para la obtención de la longitud del radio final la podremos calcular mediante una relación trigonométrica, ya que teniendo como datos el cateto opuesto del triángulo rectángulo y el ángulo “ λ ”, mediante la función del Seno podremos obtener la longitud final.

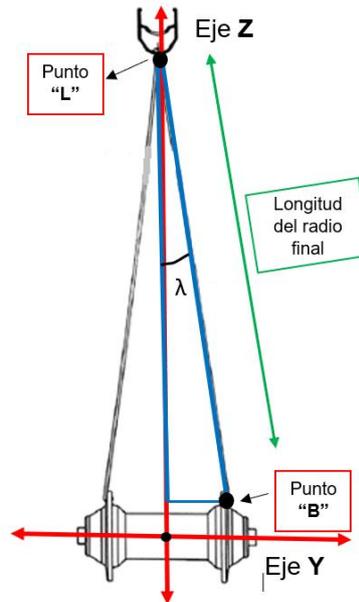


Ilustración 131; Representación de la longitud del radio final en el plano "ZY".

$$\begin{aligned} \sin(\lambda) &= \frac{\text{Cat. Op.}}{\text{Long. Radio}} \\ \sin(7.730^\circ) &= \frac{40\text{mm}}{\text{Long. Radio}} \\ \text{Long. Radio} &= 297.386\text{mm} \end{aligned}$$

Después de haber hecho todos los cálculos correspondientes, he obtenido la longitud final del primer radio.

LONGITUD DEL RADIO DERECHO

Parámetro	Valor	Unidad
Long. Final del Radio	297,386	mm

Tabla 10; Resultado de la longitud del radio calculado.

3.6.3 Longitudes de los radios según la calculadora online de DT Swiss de las distintas configuraciones.

Una vez expuesto las relaciones matemáticas que justifican el cálculo de la longitud de los radios en el conjunto de la rueda de bicicleta, se han obtenido las longitudes de los radios mediante la calculadora online del fabricante de ruedas DT Swiss, para posteriormente hacer una comparativa para poder comprobar la eficacia de la herramienta de cálculo de la longitud de los radios mediante el diseño paramétrico.

A continuación, se van a exponer las longitudes de los radios según las configuraciones del trabajo final de grado según la calculadora del fabricante.

**Longitud radios según
DT Swiss (mm)**

Instancias		Radios de la derecha	Radios de la izquierda
1	FRONT_WHEEL_29_S32_350	296	294
2	FRONT_WHEEL_29_S32_240	297	296
3	FRONT_WHEEL_29_S28_350	300	298
4	FRONT_WHEEL_29_S28_240	301	299
5	FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	277	275
6	FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	279	277
7	FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	281	280
8	FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	282	280

Tabla 11; Tabla de las longitudes de los radios según la calculadora de DT Swiss.

3.6.4 Cálculo de la longitud de los radios mediante el diseño paramétrico.

A continuación, se van a exponer las longitudes de los radios según las configuraciones del trabajo final de grado según la calculadora del fabricante.

**Longitud radios según
relaciones paramétricas
del archivo CAD (mm)**

Instancias		Radios de la derecha	Radios de la izquierda
1	FRONT_WHEEL_29_S32_350	297,235	294,903
2	FRONT_WHEEL_29_S32_240	298,573	297,002
3	FRONT_WHEEL_29_S28_350	301,457	299,645
4	FRONT_WHEEL_29_S28_240	302,165	300,614
5	FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	278,487	276,075
6	FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	279,815	278,138
7	FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	282,708	280,821
8	FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	283,407	281,752

Tabla 12; Tabla de las longitudes de los radios según el diseño paramétrico.

3.6.5 Comparativa de resultados.

En este apartado se va a realizar la comparativa de todos los resultados obtenidos en relación con el cálculo de la longitud de los radios que se ha realizado en el transcurso de este trabajo final de grado.

- Comparativa de los resultados obtenidos con el cálculo justificado a mano y los resultados obtenidos de los radios de la derecha.

	<i>Instancias</i>	<i>Longitud radios según DT Swiss (mm)</i>	<i>Longitud radios según cálculos realizados a mano (mm)</i>	<i>Diferencia de las longitudes (mm)</i>	<i>Porcentaje de error</i>
		<u>Radios de la derecha</u>	<u>Radios de la derecha</u>		
1	FRONT_WHEEL_29_S32_350	296	297,386	1,386	0,468%

Tabla 13; Comparativa de las longitudes de los radios de la parte derecha de la instancia nº1.

- Comparativa de los resultados obtenidos con el calculador online del fabricante y los resultados obtenidos mediante el diseño parametrizado de los radios de la derecha.

	<i>Instancias</i>	<i>Longitud radios según DT Swiss (mm)</i>	<i>Longitud radios según relaciones paramétricas del archivo CAD (mm)</i>	<i>Diferencia de las longitudes (mm)</i>	<i>Porcentaje de error</i>
		<u>Radios de la derecha</u>	<u>Radios de la derecha</u>		
1	FRONT_WHEEL_29_S32_350	296	297,235	1,235	0,417%
2	FRONT_WHEEL_29_S32_240	297	298,573	1,573	0,530%
3	FRONT_WHEEL_29_S28_350	300	301,457	1,457	0,486%
4	FRONT_WHEEL_29_S28_240	301	302,165	1,165	0,387%
5	FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	277	278,487	1,487	0,537%
6	FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	279	279,815	0,815	0,292%
7	FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	281	282,708	1,708	0,608%
8	FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	282	283,407	1,407	0,499%

Tabla 14; Comparativa de las longitudes de los radios de la parte derecha.

- Comparativa de los resultados obtenidos con el calculador online del fabricante y los resultados obtenidos mediante el diseño parametrizado de los radios de la izquierda.

Instancias	Longitud radios según DT Swiss (mm)	Longitud radios según relaciones paramétricas del archivo CAD (mm)	Diferencia de las longitudes (mm)	Porcentaje de error	
	Radios de la izquierda	Radios de la izquierda			
1	FRONT_WHEEL_29_S32_350	294	294,903	0,903	0,307%
2	FRONT_WHEEL_29_S32_240	296	297,002	1,002	0,339%
3	FRONT_WHEEL_29_S28_350	298	299,645	1,645	0,552%
4	FRONT_WHEEL_29_S28_240	299	300,614	1,614	0,540%
5	FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	275	276,075	1,075	0,391%
6	FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	277	278,138	1,138	0,411%
7	FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	280	280,821	0,821	0,293%
8	FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	280	281,752	1,752	0,626%

Tabla 15; Comparativa de las longitudes de los radios de la parte izquierda.

- Conclusiones de la comparativa.

Una vez expuestos los resultados obtenidos y calculado las diferencias de longitud entre los diferentes métodos de cálculo, se ha procedido al cálculo del promedio del porcentaje de error entre las longitudes obtenidas entre el método de la calculadora online y cálculo mediante el diseño parametrizado.

Obteniendo los siguientes resultados;

Promedios del porcentaje de error.

Promedio del porcentaje de error en los radios de la derecha:	0,469%
Promedio del porcentaje de error en los radios de la izquierda:	0,432%
<u>Promedio del error total:</u>	<u>0,451%</u>

Tabla 16; Promedios del porcentaje de error.

Como se ha podido observar en la tabla anterior se ha obtenido un 0.451% de promedio de error de todas las instancias, dando por válido los diseños parametrizados de las instancias mostradas en este proyecto.

3.7 DISEÑO FINAL DE LAS INSTANCIAS.

A lo largo de este apartado se va a mostrar los diseños finales de las diferentes configuraciones de ruedas obtenidas mediante el archivo CAD.

- Instancia nº1: Front Wheel 29 S32 350

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE_ RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
1 FRONT_WHEEL_29_S32_350	607	32	3	40	27,4	58	52

Tabla 17; Características técnicas de la instancia nº1.



Ilustración 132; Vista isométrica y frontal de la instancia nº1.

- Instancia nº2: Front Wheel 29 S32 240

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE_ RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
2 FRONT_WHEEL_29_S32_240	607	32	3	41,2	27,6	44,4	44,4

Tabla 18; Características técnicas de la instancia nº2.



Ilustración 133; Vista isométrica y frontal de la instancia nº2.

- Instancia nº3: Front Wheel 29 S28 350

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
3 FRONT_WHEEL_29_S28_350	607	28	3	40	27,4	58	52

Tabla 19; Características técnicas de la instancia nº3.



Ilustración 134; Vista isométrica y frontal de la instancia nº3.

- Instancia nº4: Front Wheel 29 S28 240

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
4 FRONT_WHEEL_29_S28_240	607	28	3	41,2	27,6	44,4	44,4

Tabla 20; Características técnicas de la instancia nº4.



Ilustración 135; Vista isométrica y frontal de la instancia nº4.

- Instancia nº5: Front Wheel 27 5 S32 350

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
5 FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	569	28	3	40	27,4	58	52

Tabla 21; Características técnicas de la instancia nº5.



Ilustración 136; Vista isométrica y frontal de la instancia nº5.

- Instancia nº6: Front Wheel 27 5 S32 240

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
6 FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	569	28	3	41,2	27,6	44,4	44,4

Tabla 22; Características técnicas de la instancia nº6.



Ilustración 137; Vista isométrica y frontal de la instancia nº6.

- Instancia nº7: Front Wheel 27 5 S28 350

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
7 FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	569	28	3	40	27,4	58	52

Tabla 23; Características técnicas de la instancia nº7.



Ilustración 138; Vista isométrica y frontal de la instancia nº7.

- Instancia nº8 Front Wheel 27 5 S28 240

FRONT WHEEL

Instancias	Parámetros						
	ERD (mm)	NUM_ SPOKE	NUM_ CROSS	FLANGE_ DISTANCE _RIGHT (mm)	FLANGE_ DISTANCE _LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ LEFT (mm)	PITCH_ CIRCLE_ RIGHT (mm)
8 FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	569	28	3	41,2	27,6	44,4	44,4

Tabla 24; Características técnicas de la instancia nº8.



Ilustración 139; Vista isométrica y frontal de la instancia n°8.

3.8 NORMATIVA APLICABLE.

Durante el transcurso de este proyecto la normativa que se le van a aplicar a las diferentes configuraciones de ruedas para bicicleta son las normas “**ISO 4210-7:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 7: Método de ensayo para ruedas y llantas.**” y la norma “**ASTM F2043-13: 2018** Condiciones y uso de componentes de bicicleta.”

3.8.1 Normativa “ISO 4210-7:2014.”

El objetivo de las normas ISO es especificar los requerimientos que puedan garantizar la calidad de un producto.

3.8.1.1 Objetivos y requerimientos de la norma.

Esta norma internacional ha sido concebida para garantizar que las bicicletas producidas siguiendo esta normativa sean tan seguras como sea posible. Los ensayos que se aplican en esta norma para garantizar la seguridad han sido escogidos para maximizar la resistencia y la durabilidad de todos los componentes de la rueda y en el conjunto de la bicicleta, exigiendo una alta calidad a todos los niveles teniendo en cuenta los aspectos de seguridad desde la etapa de diseño.

3.8.1.2 Normativa para consulta.

Las siguientes normativas indicadas a continuación, son documentos de consulta obligatoria para la correcta aplicación de la norma: “**ISO 4210-7:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 7: Método de ensayo para ruedas y llantas.**”

- “**ISO 4210-1 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 1: Términos y definiciones.**”
- “**ISO 4210-2:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras.**”
- “**ISO 4210-3:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 3: Método de ensayo comunes.**”

3.8.1.3 Métodos de ensayo.

- **Precisión de rotación.**

“Las tolerancias de alabeo representan la variación máxima de la posición de la llanta cuando se mide perpendicularmente al eje en un punto a lo largo de la llanta (figura 1), (es decir, la lectura total en el indicador) de una rueda enteramente montado y ajustada, durante un giro completo está alrededor de su eje, sin movimiento axial. Se debe medir ambos lados tomando el valor máximo obtenido.”

“Para bicicletas de paseo, de montaña y adultos jóvenes, la medición del alabeo axial (Lateral) y del alabeo radial (Concentricidad), la rueda debe estar provista de un neumático inflado a la presión máxima, pero para las llantas en las que la concentricidad no puede medirse cuando está instalado el neumático, se permite efectuar las mediciones sin el neumático.”

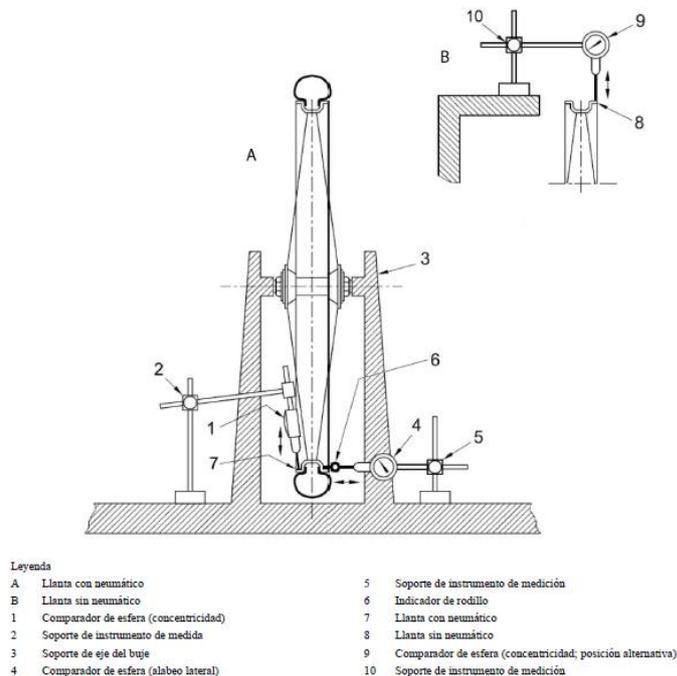


Figura 1 – Conjunto de ruedas/llanta – Precisión de rotación para bicicletas de paseo, jóvenes adultos y montaña

Ilustración 140; Conjunto rueda/llanta – Precisión de rotación para bicicletas de paseo, jóvenes adultos y de montaña.

- **Conjunto de rueda/llanta – Ensayo estático de resistencia.**

“Se fija y soporta la rueda de forma apropiada como se muestra en la figura 3. Se aplica una precarga de 5 N sobre la llanta en un radio perpendicularmente al plano de la llanta como se muestra en la figura 3. Se registra la posición cero de la llanta en el punto de aplicación como se ha mostrado. Entonces se aplica una fuerza estática de F dada en la tabla mostrada con una duración de 1 minuto. Se reduce la carga a 5N y se permite un tiempo de 1 minuto para asentarse. Después de este tiempo de asentamiento y aún con la carga de 5 N aplicada, se repite la medición de la posición de la llanta.”

“La rueda debe estar equipada con un neumático de la medida apropiada e inflada a la presión máxima del inflado.”

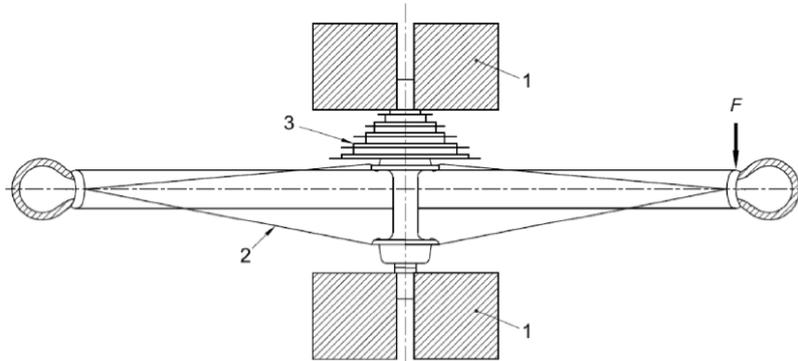
“En el caso de una rueda trasera, se aplica la fuerza desde el lado del piñón de la rueda como se muestra en la figura 3.”

“Se repite la medición una vez entre dos radios.”

“Véase el anexo A para el ensayo de fatiga.”

Tabla 1 – Fuerzas sobre la llanta

Fuerzas en newtons				
Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza F	250	250	370	250



- Leyenda
- 1 Dispositivo de sujeción
 - 2 Conjunto rueda/neumático
 - 3 Piñones de transmisión

Figura 3 – Conjunto rueda/neumático – Ensayo estático de resistencia

Ilustración 141; Conjunto rueda/neumático – Ensayo estático de resistencia.

- **Ruedas – Sistema asegurados de retención de la rueda delantera/trasera.**

“Se aplica una fuerza de 2300 N distribuida de manera simétrica a ambos lados del eje durante un periodo de 1 minuto en el sentido del desmontaje de la rueda delantera y trasera independientemente.”

- **Ensayo de efecto invertido para ruedas de material compuesto.**

“Antes del ensayo se debe comprobar sobre una rueda completamente montada, equipada con un neumático de la medida apropiada e inflada de acuerdo con el menor valor de la presión de inflado máxima recomendada en la llanta o en el neumático; se debe controlar el alabeo de acuerdo con el apartado 4.10.1 de la Norma ISO 4210-2:2014 y las anchuras máximas de la llanta se tienen que anotar en el informe.”

“Se podría usar un banco específico como se muestra en la figura 5 para medir la anchura máxima alrededor de la llanta con el neumático a presión (Medición continua).”

“Se deja la rueda sobre el suelo de una cámara de ensayo precalentada a 80°C, inclinada sobre su eje y los puntos de sujeción de la rueda, el lado de los piñones, como se muestra en la figura 4, durante 4 horas. Tras las 4 horas, se debería sacar la rueda de la cámara de ensayo y dejar que se enfríe a temperatura ambiente durante 4 horas para volver a medir la anchura de la llanta y su conformidad con los apartados 4.11.6.1 y 4.11.6.2 de la Norma ISO 4210-2:2014”

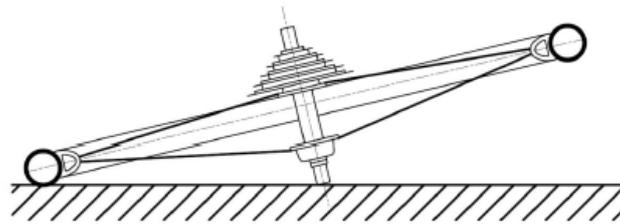


Figura 4 – Rueda apoyada sobre el neumático y el eje

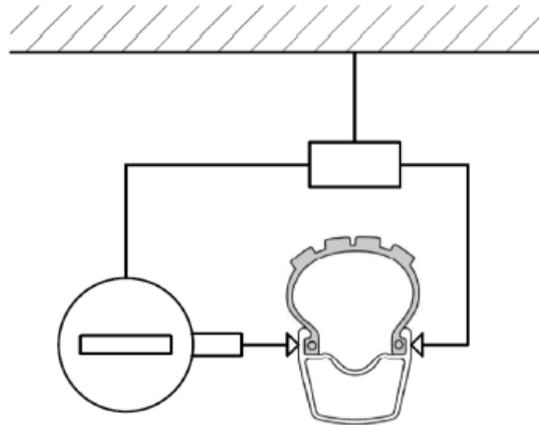


Figura 5 – Medición de la anchura máxima de la llanta

Ilustración 142; Ensayos de efecto invertido para ruedas de material compuesto.

- **Anexo A - Conjunto rueda/neumático – Ensayo de fatiga.**

“Se monta la rueda, el neumático y la cámara (si la hay) y se infla el neumático al 90% de la presión máxima de inflado.”

“Se instala el conjunto rueda/neumático con libertad para girar en su eje y para moverse en dirección vertical. Se carga el conjunto de rueda mediante pesos muertos contra un rodillo equipado con listones metálicos transversales, espaciados equitativamente, de forma que la fuerza radial aplicada al conjunto rueda/neumática sea de 640 N. Los ejes de la rueda y el rodillo deben estar alineados verticalmente.”

“En la figura A.1 se muestra un ejemplo de disposición de ensayo, donde el eje de la rueda está fijado entre los extremos libres de un par de brazos pivotantes que se extienden horizontalmente con el neumático en contacto con el rodillo entre los listones.”

“El diámetro del rodillo debe estar en el rango de 500 mm a 1000 mm y los listones deben tener una anchura de 50 mm \pm 25 mm, un espesor de 10 mm \pm 0.25 mm y bordes achaflanados a 45° en la mitad superior de su espesor. El espacio circunferencial entre las líneas centrales de dos listones consecutivos no debe ser menor de 400 mm.”

“Se hace girar el rodillo para alcanzar una velocidad lineal de superficie de 25Km/h (\pm 10%) durante un periodo de tiempo que provoque 750000 impactos entre el neumático y los listones.”

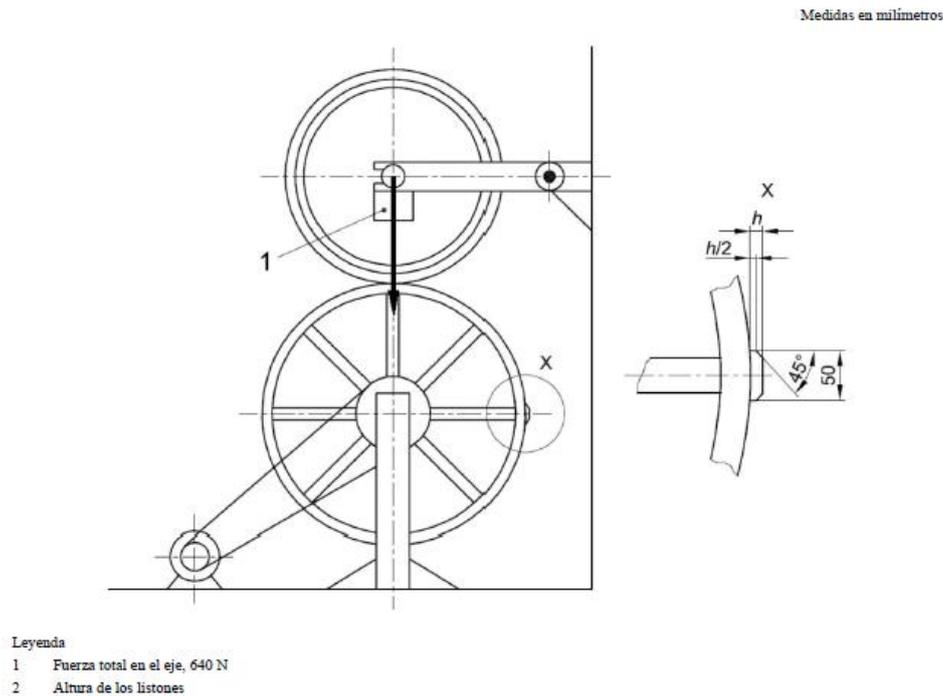


Figura A.1 – Conjunto rueda/neumático – Ensayo de fatiga

Ilustración 143; Conjunto rueda/neuámítico - Ensayo a fatiga.

3.8.1 Normativa “ASTM 4023-13: 2018.”

El objetivo de las normativas ASTM es indicar el uso para el cual está diseñado dicho componente.

3.8.1.1 Objetivos y requerimientos de la norma.

Dentro de la norma ASTM 4023-13;2018, indica el ámbito de aplicación de los productos del fabricante, la cual divide en cinco los niveles de conducción para los cuales está concebido el componente. Estableciendo que se deben usar los componentes según los niveles previstos.

3.8.1.2 Clasificación por niveles.

Dentro de la norma ASTM F4023-13:2018, hay establecidos 5 niveles o también llamados categorías por las cuales se determina el nivel de exigencia que son capaces de soportar las ruedas que obtengas dicho nivel.

- Categoría 1:

La primera categoría especifica el uso de componentes en superficies predominantemente pavimentadas. Se pueden producir pequeñas pérdidas de contacto con el pavimento en periodos muy cortos de tiempo.



Ilustración 144; Categoría 1 ASTM 4023-13:2018.

- **Categoría 2:**

La segunda categoría especifica el uso de componentes en superficies mayormente pavimentadas y parcialmente no pavimentadas con una ligera pendiente, así como en las superficies de la categoría 1. Se pueden producir pérdidas de contacto con el pavimento al pasar por encima de escalones de hasta 15 cm de altura.



Ilustración 145; Categoría 2 ASTM 4023-13:2018.

- **Categoría 3:**

La tercera categoría especifica el uso de componente en superficies pavimentadas y rugosas, sin pavimentos, por parte de conductores con una técnica de conducción avanzada, así como las superficies de las categorías 1 y 2. Se puede permitir pérdidas de contacto con el pavimento con saltos o escalones de aproximadamente 60 cm de altura. Debido a la ligereza de los componentes se pueden causar daños en el material y pueden resultar en lesiones para el conductor.



Ilustración 146; Categoría 3 ASTM 4023-13:2018.

- **Categoría 4:**

La cuarta categoría especifica el uso de componente en terrenos muy accidentados y bloqueados con saltos y/o escalones de hasta aproximadamente 120 cm de altura a una velocidad de más de 40 km/h, por parte de conductores con una técnica de conducción avanzada, así como las superficies de las categorías 1, 2 y 3.

Los componentes de esta categoría deben ser comprobados para ver detectar los posibles daños después de cada viaje debido a las altas cargas que soportar.



Ilustración 147; Categoría 4 ASTM 4023-13:2018.

- **Categoría 5:**
La quinta categoría especifica el uso de los componentes en terrenos extremadamente inclinados y abruptos con saltos y escalones muy grandes y velocidades de más de 40Km/h, así como las superficies especificadas en las categorías 1, 2, 3 y 4. En esta categoría también se puede usar en la modalidad de descenso.
Los componentes de esta categoría deben ser comprobados para ver detectar los posibles daños después de cada viaje debido a las altas cargas que soportar.



Ilustración 148; Categoría 5 ASTM 4023-13:2018.

- **Peso del ciclista:**
El fabricante de los componentes añade una categoría la cual indica el peso máximo del ciclista que utilizará los componentes.
Dicha categoría se expone en el siguiente apartado donde se especifican las modalidades de ciclismo.



Ilustración 149; Categoría peso máximo ASTM 4023-13:2018.

3.8.1.3 Clasificación por modalidades de ciclismo.

Dentro de la norma ASTM F4023-13, podemos ver como en este caso el fabricante suizo DT Swiss, ha clasificado el tipo de ruedas en cuatro grandes grupos que son; Ruedas para ciclismo de montaña, Ruedas híbridas para ciclismo de montaña, Ruedas para ciclismo de carretera y ciclocross y por último Ruedas híbridas para ciclismo de carretera.

Estos cuatro grandes grupos a su vez se dividen por modalidades más concretas, ya que en ellas viene implícito el uso que se les va a dar a las ruedas.

En la siguiente ilustración se muestra la tabla que el fabricante DT Swiss utiliza para determinar en cada modalidad del ciclismo que nivel de exigencia optan las ruedas que se estén utilizando.

MTB WHEELS						
X / XR / XRC						110
M / XM / XMC						120
BR						130
E / EX / EXC						130
FR						140
HYBRID MTB WHEELS						
HXC						120
H / HX						150
ROAD / CX WHEELS						
ARC rb / PRC rb						100
ARC db / PRC db / TRC						110
PR / P	<32 mm *3					120
PR / P / T	32 mm *3					130
ER / E	<32 mm *3					120
ER / E	32 mm *3					130
ERC / CRC Tubular						120
CRC / GRC						130
CR / GR / G / C						130
HYBRID ROAD WHEELS						
HE / HEC						130
HG / HGC						140

db = disc brake / rb = rim brake

Ilustración 150; Tabla de modalidades de ciclismo con las categorías ASTM

3.9 SELECCIÓN DE MATERIALES.

Durante el transcurso de este trabajo final de grado se ha estado hablando de los diferentes componentes que forman parte del conjunto de una rueda de bicicleta, tras haber observado el mercado actual y los principales fabricantes de ruedas, se ha optado por realizar la selección de materiales posibles para el componente de la llanta, ya que es el componente que permite mayor libertad de diseño, es decir, permite hacer un diseño propio para poder optimizar sus características como el peso, la rigidez, su geometría y el precio.

Como ya es sabido la rueda está formada por más componentes, como son las cabecillas, los radios y el buje, estos componentes serán adquiridos directamente a los principales fabricantes ya que sus características en el mercado actual están estandarizadas y con una tecnología propia desarrollada por los fabricantes.

3.9.1 Selección de materiales para la llanta.

Para la selección de los materiales posibles que pueden ser utilizados en la llanta primero voy a describir el proceso seguido para ello.

3.9.1.1 Proceso para la selección de materiales.

En primer lugar, se ha realizado una primera selección de materiales en el nivel 2 del software GRANTA Educpack, esto es debido a que con el nivel 2 de selección de materiales he podido hacer una selección con un menor número de materiales, ya que este software agrupa los materiales.

En segundo lugar, una vez obtenido la primera selección de materiales con el nivel 2 del GRANTA Educpack, he realizado una segunda selección de materiales por esta vez

con el nivel 3 de este programa, ya que me permite determinar con mayor exactitud qué tipo de material en concreto cumple con los criterios indicados.

Finalmente, una vez obtenido todos los posibles materiales que cumplen con los criterios establecidos hacer una selección final del mismo.

A continuación, paso a desarrollar los pasos anteriormente descritos.

3.9.1.2 Selección de materiales en el Nivel 2 de GRANTA Edupack.

Primeramente, paso a determinar los criterios seguidos para la selección de materiales para la llanta en el nivel 2;

- Etapa 1 – Optimización del peso y de la rigidez específica del componente:
Para la optimización de estas dos características en esta primera etapa, como son el peso y la rigidez específica se ha realizado una gráfica que componen en el eje "X", la propiedad física de la densidad en (Kg/m³) y en el eje "Y" la propiedad mecánica del límite elástico en (MPa).

Para poder determinar que el material seleccionado cumpla con estas dos propiedades se ha considerado para que tenga un peso lo más reducido posible seleccionar un material con un valor de densidad lo más pequeño posible además de contar con el mayor límite elástico posible. En cambio, para poder seleccionar el material con una mayor rigidez específica se ha utilizado la gráfica que se ha mencionado anteriormente, ya que la definición de la rigidez específica es la siguiente:

$$\text{Rigidez específica} = \frac{\text{Módulo Elástico}}{\text{Densidad}}$$

Una vez expuesta la expresión por la cual se puede determinar la rigidez específica, se ha realizado un sencillo análisis dimensional de dicha expresión;

$$\text{Rigidez Específica} = \frac{\text{MPa}}{\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Rigidez Específica} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Rigidez Específica} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{m}^2}$$

$$\text{Rigidez Específica} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

Para poder obtener unos valores orientativos para poder localizar la zona donde se encuentran los materiales que cumplen con estos criterios se han realizado dos cálculos con los cuales se ha podido determinar los límites inferiores de dicha zona.

El primer cálculo que se ha realizado es la obtención de la tensión radial que sufrirá la llanta, teniendo en cuenta la sección de esta y el peso máximo establecido para su uso según la normativa "ASTM F4023-13:2018".

Para la obtención del peso máximo de uso, según la normativa ASTM se ha recurrido a la tabla del fabricante de ruedas DT Swiss, en el cual se ha establecido que el uso por el cual están diseñadas estas ruedas es para la práctica del MTB, en concreto de la modalidad de XMC que es la modalidad de maratón con un nivel máximo de 4.

MTB WHEELS

X / XR / XRC						110
M / XM / XMC						120
BR						130
E / EX / EXC						130
FR						140

Ilustración 151; Tabla de modalidades de MTB según norma ASTM.

Además, posteriormente con tensión equivalente de Van Mises, mediante el peso radial del ciclista en newtons y la sección de la llanta. Obteniendo los siguientes resultados de tensión en la llanta;

Parámetro	Valor	Unidad
<i>Peso máximo "AST F4023-13"</i>	120	Kg
<i>Peso radial del ciclista máximo</i>	1176	N
<i>Sección perfil</i>	145	mm ²
Tensión radial en la llanta	4,68	MPa

Tabla 25; Tabla de datos y resultados de la Tensión equivalente radial en la llanta.

A continuación para poder definir un valor de límite inferior en la propiedad de la densidad se ha realizado una búsqueda en diferentes fabricantes estableciendo que el peso para llantas con geometrías similares se encuentra en 440 gramos, por lo tanto, con la herramienta de análisis del software de CAD Creo se ha calculado el volumen en mm³ de la llanta para poder realizar el cálculo de la densidad aparente por la cual se ha establecido el valor del límite inferior de la densidad en la etapa uno de la selección de materiales.

En la siguiente tabla se muestran los datos anteriormente mencionados con el valor obtenido de la densidad aparente:

Parámetro	Valor	Unidad
<i>Masa Llanta</i>	440	g
<i>Masa Llanta</i>	0,44	Kg
<i>Volumen Llanta</i>	306735	mm ³
<i>Volumen Llanta</i>	0,00030674	m ³
Densidad aparente	1434,46	Kg/m³

Tabla 26; Tabla de datos y resultados de la Densidad aparente en la llanta.

Finalmente, para poder maximizar ambas propiedades se ha utilizado los siguientes valores:

		Valor	Unidad
Límite Elástico	Límite Superior	5300	Mpa
	Límite Inferior	4,7	Mpa
Densidad	Límite Superior	8,03E+04	Kg/m ³

█ Límite Inferior **1400 Kg/m⁴**

Tabla 27; Tabla de límites de las propiedades de la Etapa 1.

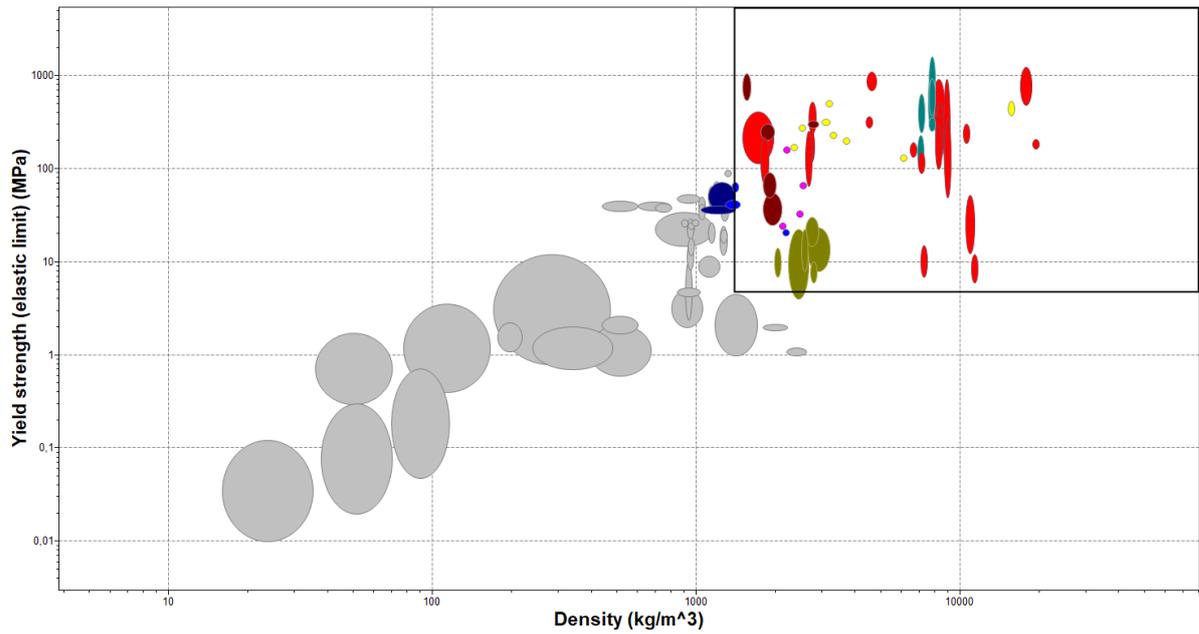


Ilustración 152; Etapa 1 del Nivel 2- Selección de materiales.

Después de esta primera etapa, obtengo 56 materiales de los 100 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- **Etapa 2 - Maximizar la tensión de rotura por fatiga:**
Para poder maximizar la tensión de rotura por fatiga, he utilizado la gráfica cuyo componente en el eje "Y", es la propiedad mecánica de Tensión por fatiga a los 10^7 ciclos, es decir, la tensión de rotura por fatiga a ciclos altos.

Como se ha mostrado en el apartado anterior de normativa, según la norma "ISO 4210-7" hay un ensayo a fatiga, dicho ensayo exige un total de 750000 ciclos con una fuerza radial de 640 N, debido a que la norma trabaja a ciclos bajos se ha optado por justificar dicha tensión de rotura por fatiga de la siguiente forma, calculando la tensión puntual en el alojamiento del radio en la llanta para establecer el límite superior, y para el cálculo del límite inferior mediante la suma de las tensiones generadas por el peso máximo de uso y la tensión generada por cortadura con valor de la normativa ISO que es de 640N en ensayos de fatiga.

Para poder determinar el límite inferior de tensión a la fatiga, se ha decidido establecer como límite inferior de tensión de rotura por fatiga la suma de la tensión permanente de la llanta (generada por el peso del ciclista) y la tensión de cortadura que fluctua según la rueda gire, por lo que en la siguiente tabla se va poder apreciar los datos y los resultados obtenidos.

Parámetro	Valor	Unidad
<i>Fuerza Cortadura según ISO 4210-7</i>	640	N
<i>Sección perfil Llanta</i>	145	mm ²
<i>Tensión de fluctuación en la llanta</i>	2,55	Mpa
<i>Fuerza Máxima Radial</i>	1176	N
<i>Tensión permanente llanta</i>	4,7	MPa
Tensión Total	7,23	MPa

Tabla 28; Tabla límite inferior de las propiedades de la Etapa 2.

Para poder determinar el límite superior de tensión a la fatiga, se ha decidido establecer como límite superior de tensión de fatiga a los 10^7 ciclos, la tensión puntual en el alojamiento del radio en la llanta. Se ha decidido calcular la tensión en el alojamiento del radio en la llanta ya que en dichos puntos son los más sensibles a crear las agrietaciones y producirse la rotura en dichas zonas. Por lo que para calcular la tensión en ese punto se ha tomado como la sección que estará en contacto con la cabecilla que ancla el radio a la llanta, la sección definida por el diámetro de los agujeros de los radios en la llanta y el espesor de la misma, y para poder calcular la tensión se cogió la tensión de los radios que de 1200N obteniendo la siguiente tabla con los datos y resultados.

Parámetro	Valor	Unidad
<i>Diámetro Agujero llanta</i>	5,5	mm ²
<i>Espesor de la llanta</i>	2	mm ²
<i>Sección</i>	11	mm ²
<i>Pre-Tensión radios</i>	1200	Mpa
Límite fatiga	109,01	MPa

Tabla 29; Tabla límite superior de las propiedades de la Etapa 2.

Obteniendo los siguientes valores como el límite superior e inferior de tensión de fatiga a los 10^7 ciclos;

	Valor	Unidad
Límite Superior	110	Mpa
Límite Inferior	7,23	Mpa

Tabla 30; Tabla límite de las propiedades de la Etapa 2.

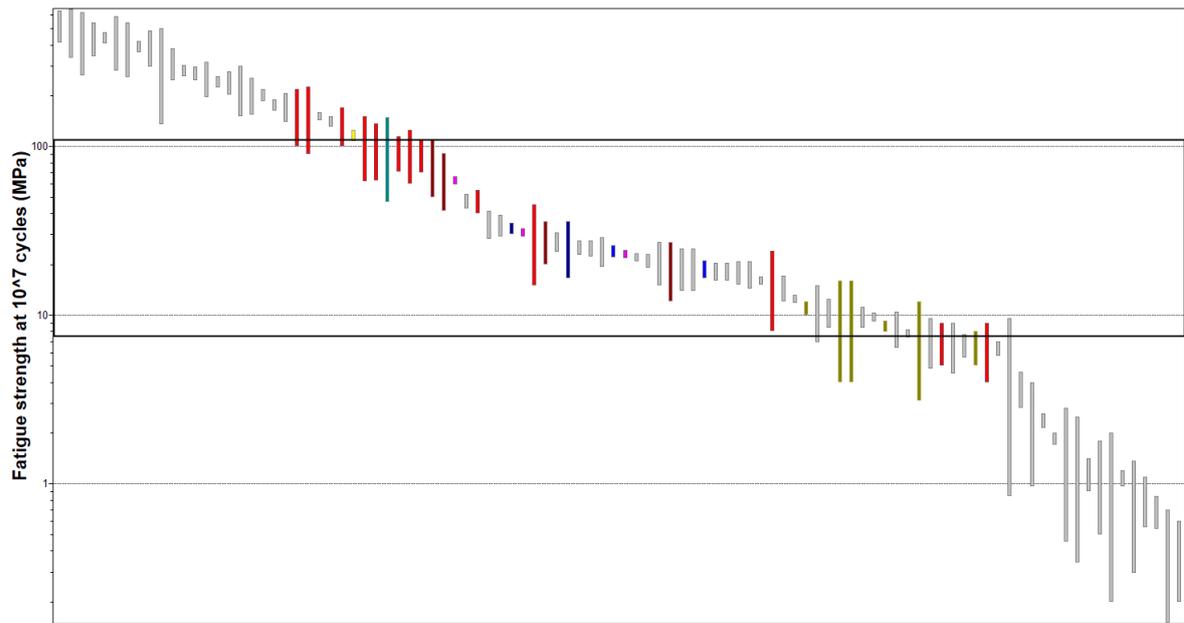


Ilustración 153; Etapa 2 del Nivel 2 – Selección de materiales.

Después de esta segunda etapa, obtengo 32 materiales de los 100 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- Etapa 3 - Minimizar el precio del material:**
 Para poder minimizar el precio, he utilizado la gráfica cuya componente en el eje "Y" es la propiedad genérica de precio por unidad de masa. Esta propiedad me permite saber el precio de una unidad de masa de los materiales, por lo que en el caso de la llanta se necesita valores más bajos posibles de esta propiedad. Para poder conseguir esta selección de materiales he realizado un rango comprendido entre los 0,5 €/kg y los 5 €/kg, obteniendo los siguientes resultados.



Ilustración 154; Etapa 3 del Nivel 2 – Selección de materiales.

Después de esta primera etapa, obtengo 25 materiales de los 100 disponibles en la base de datos del Granta edupack.

- **Etapa 4 - Procesos de fabricación del componente, Conformado:**
Para el desarrollo de esta etapa de la selección de materiales he tenido en cuenta el proceso de fabricación utilizado para la fabricación del componente, en el caso de la llanta para la correcta elaboración de la su geometría. Para la correcta selección de material se ha realizado una elección del proceso de fabricación que en el nivel 2 es conformado.

Se ha seleccionado solo los materiales con los que se puede trabajar de forma buena y excelente frente al conformado. La identificación del grado de adaptabilidad a este proceso de fabricación hay una escala de puntuación donde 5 es el valor máximo donde los materiales son excelentes para ese proceso y 0 es el valor mínimo, teniendo una mala adaptabilidad a este proceso de fabricación.

Seleccionando los materiales mediante un rango de puntuación entre 5 puntos y 3 puntos, obteniendo los siguientes resultados.

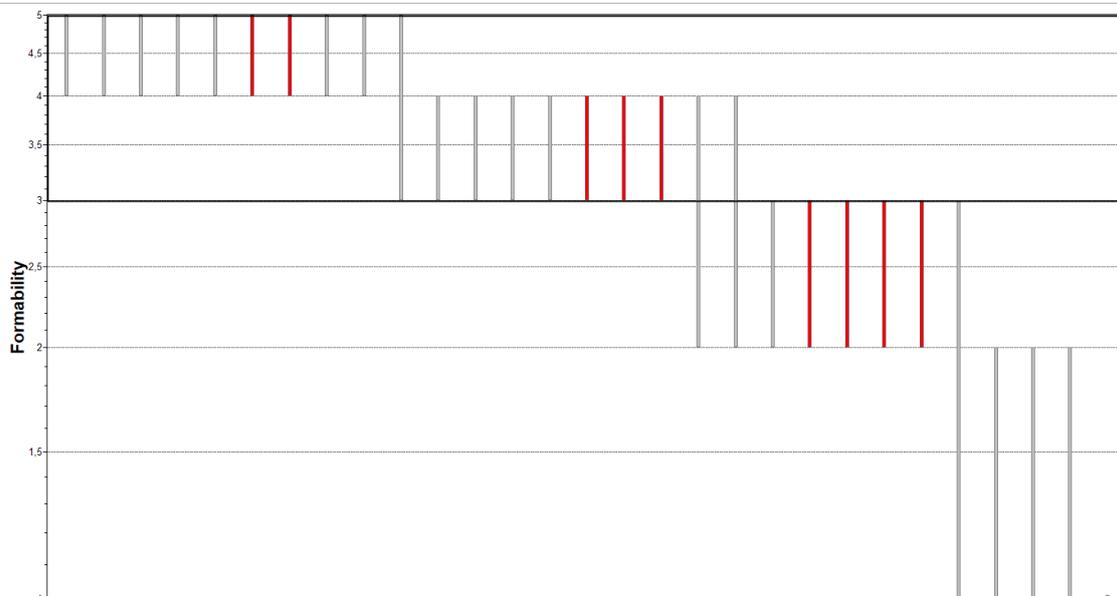


Ilustración 155; Etapa 4 del Nivel 2 – Selección de materiales.

Después de esta cuarta etapa, obtengo 9 materiales de los 100 disponibles en la base de datos del Granta edupack.

- **Etapa 5 – Procesos de fabricación del componente, Soldabilidad:**
Para el desarrollo de esta etapa de la selección de materiales he tenido en cuenta el proceso de fabricación utilizado para las uniones del componente, en el caso de la llanta para la correcta elaboración de la su geometría. Para la correcta selección de material se ha realizado una elección del proceso de fabricación que en el nivel 2 es soldabilidad.

Se ha seleccionado solo los materiales con los que se puede trabajar de forma excelente frente a la soldadura. La identificación del grado de adaptabilidad a este proceso de fabricación hay una escala de puntuación donde 5 es el valor máximo, donde los materiales son excelentes para ese proceso y 0 es el valor mínimo, teniendo una mala adaptabilidad a este proceso de fabricación.

Seleccionando los materiales mediante un rango de puntuación entre 5 puntos y 4 puntos, obteniendo los siguientes resultados.

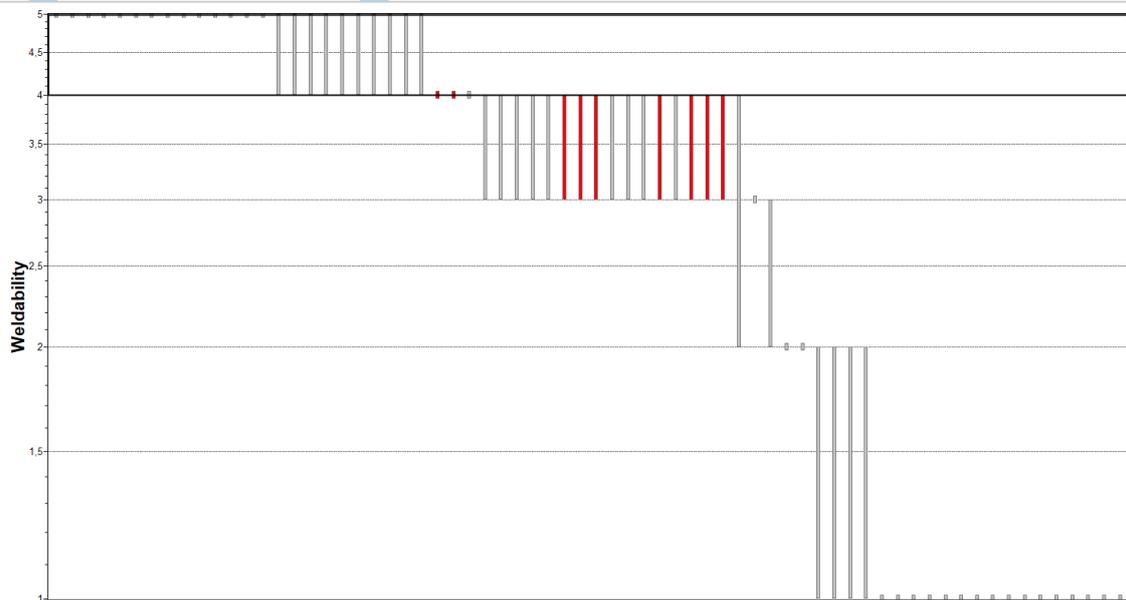


Ilustración 156; Etapa 5 del Nivel 2 – Selección de materiales.

Después de esta quinta etapa, obtengo 9 materiales de los 100 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- Materiales que cumplen con los criterios en el nivel 2.
Una vez realizadas las 5 etapas de selección de materiales en el nivel 2 del software de selección de materiales se han obtenido los siguientes materiales.

3. Resultados: pasan 9 de 100

Mostrar:

Clasificar por:

Nombre
Age-hardening wrought Al-alloys
Cast Al-alloys
Cast magnesium alloys
Commercially pure lead
Commercially pure zinc
Lead alloys
Non age-hardening wrought Al-alloys
Wrought magnesium alloys
Zinc die-casting alloys

Ilustración 157; Materiales posibles en el Nivel 2.

Después de esta quinta etapa, obtengo 9 materiales de los 100 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

De lo cuales Se pueden destacar las aleaciones de aluminio y las aleaciones de magnesio, las cuales en el sector del motociclismo se encuentran llantas fabricadas con estos materiales.

También se debe tener en cuenta que mediante la tercera etapa se han eliminado los materiales compuestos, debido a la restricción en el precio por unidad de masa.

3.9.1.3 Selección de material final en el Nivel 2.

Por lo tanto, la selección final del material en el nivel 2 del GRANT Edupack, se ha basado en las cinco etapas anteriormente descritas además después de poder observar en el sector industrial de ciclismo el material más apropiado de los 9 materiales finales posibles es el grupo formado por las **Aleaciones de aluminio endurecidas por envejecimiento**.

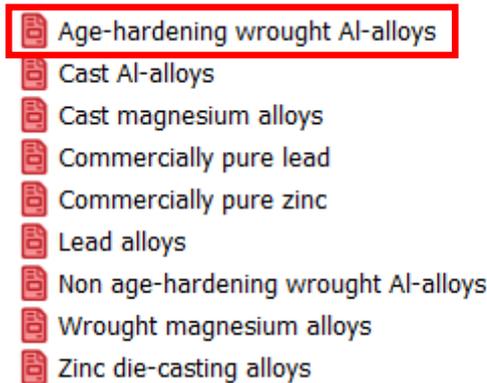


Ilustración 158; Selección material, nivel 2.

Este grupo de aleaciones de aluminio endurecidas por envejecimiento está formado por las series de aluminio siguientes:

- Serie 2000 (Al+2 a 6% CU + Fe Mn, Zn y algunas veces Zr)
- Serie 6000 (Al+1.2% de Mg +0.25% Zn +Si, Fe y Mn)
- Serie 7000 (Al+4 a 9% Zn, +1 a 3% Mg + Si, Fe, Cu y ocasionalmente Zr o Ag)

3.9.1.4 Selección de materiales en el Nivel 3 de GRANTA Edupack.

Una vez obtenido los resultados de los diferentes materiales posibles con la selección de materiales con el nivel 2 de la herramienta de GRANTA Educupack, el siguiente paso es determinar de forma más específica el material final con el que se elaborará la llanta.

Para ello se ha añadido una etapa más a las cinco anteriores que paso a describir.

- Etapa 1-Selección de las Aleaciones de aluminio endurecidas por envejecimiento.

En esta nueva primera etapa de la selección, se ha limitado el grupo de materiales con los que se realizará la selección final de materiales, dicha limitación se ha realizado mediante la herramienta de selección de familias de materiales mediante la función de árbol.

Como se ha visto en la selección de materiales en el nivel 2, la selección del grupo de materiales ha sido la de las Aleaciones de aluminio endurecidas por envejecimiento, por lo tanto, en la limitación de los materiales se ha

seleccionado el grupo de las Aleaciones de aluminio endurecidas por envejecimiento en concreto las series 7000, 6000 y 2000.

Una vez aplicado este límite se ha pasado de 4169 materiales posibles a 171 materiales posibles.

Wrought aluminum alloy, 6000 series (Mg and Si-alloyed), Wrought aluminum alloy, 2000 series (Cu-alloyed), Wrought aluminum alloy, 70...

Enlace de registro	Registros incluidos
MaterialUniverse: \ Metals and alloys \ Non-ferrous \ Aluminum \ Wrought \ 6000 series (Mg and Si-alloyed)	56 <input type="button" value="Mostrar"/>
MaterialUniverse: \ Metals and alloys \ Non-ferrous \ Aluminum \ Wrought \ 2000 series (Cu-alloyed)	55 <input type="button" value="Mostrar"/>
MaterialUniverse: \ Metals and alloys \ Non-ferrous \ Aluminum \ Wrought \ 7000 series (Zn-alloyed)	60 <input type="button" value="Mostrar"/>

Ilustración 159; Etapa 1 del Nivel 3 – Selección de materiales.

- **Etapa 2 – Optimización del peso y de la rigidez específica del componente:**
Para la optimización de estas dos características en esta segunda etapa, como son el peso y la rigidez específica se ha realizado una gráfica que componen en el eje “X”, la propiedad física de la densidad en (Kg/m³) y en el eje “Y” la propiedad mecánica del límite elástico en (MPa).

Para poder determinar que el material seleccionado cumpla con estas dos propiedades se ha considerado para que tenga un peso lo más reducido posible seleccionar un material con un valor de densidad lo más pequeño posible además de contar con el mayor límite elástico posible. En cambio, para poder seleccionar el material con una mayor rigidez específica se ha utilizado la gráfica que se ha mencionado anteriormente.

Finalmente, con los cálculos mostrados en la etapa 1 de la selección de materiales en el nivel 2, para poder maximizar ambas propiedades se ha utilizado los siguientes valores:

		Valor	Unidad
Límite Elástico	Límite Superior	5300	Mpa
	Límite Inferior	4,7	Mpa
Densidad	Límite Superior	8,03E+04	Kg/m ³
	Límite Inferior	1400	Kg/m⁴

Tabla 31; Tabla de límites de las propiedades de la Etapa 2.

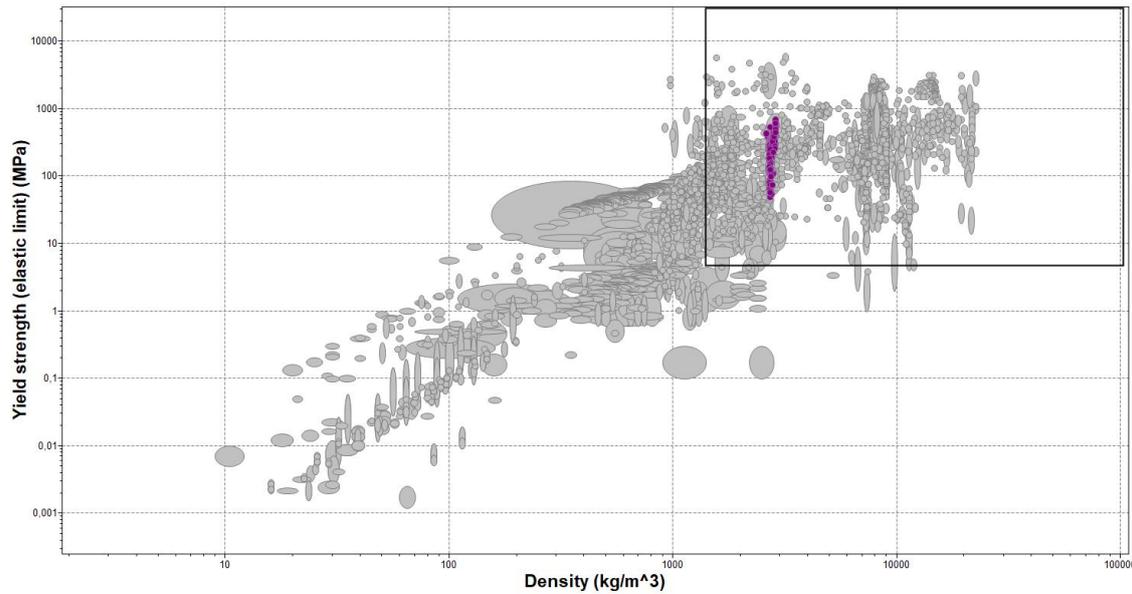


Ilustración 160; Etapa 2 del nivel 3 - Selección de materiales.

Después de esta primera etapa, obtengo 171 materiales de los 4169 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- **Etapa 3 - Maximizar la tensión de rotura por fatiga:**
Para poder maximizar la tensión de rotura por fatiga, he utilizado la gráfica cuyo componente en el eje “Y”, es la propiedad mecánica de Tensión por fatiga a los 10^7 ciclos, es decir, la tensión de rotura por fatiga a ciclos altos.

Como se ha mostrado en el apartado anterior de normativa, según la norma “ISO 4210-7” hay un ensayo a fatiga, dicho ensayo exige un total de 750000 ciclos con una fuerza radial de 640 N, debido a que la norma trabaja a ciclos bajos se ha optado por justificar dicha tensión de rotura por fatiga de la siguiente forma, calculando la tensión puntual en el alojamiento del radio en la llanta para establecer el límite superior, y para el cálculo del límite inferior mediante la suma de las tensiones generadas por el peso máximo de uso y la tensión generada por cortadura con valor de la normativa ISO que es de 640N en ensayos de fatiga.

Con los cálculos mostrados en la etapa 2 de la selección de materiales en el nivel 2, se han obteniendo los siguientes valores como el límite superior e inferior de tensión de fatiga a los 10^7 ciclos;

	Valor	Unidad
Límite Superior	110	Mpa
Límite Inferior	7,23	Mpa

Tabla 32; Límites para la etapa 3 en el nivel 3.

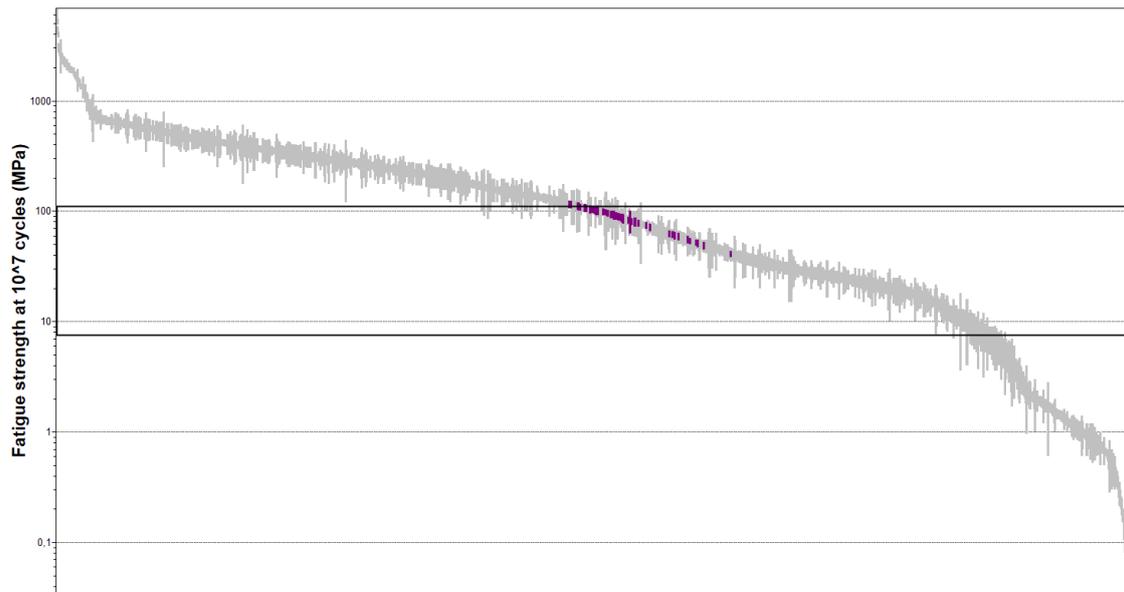


Ilustración 161; Etapa 3 del Nivel 3 – Selección de materiales.

Después de esta segunda etapa, obtengo 56 materiales de los 4169 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- Etapa 4 - Minimizar el precio del material:**
 Para poder minimizar el precio, he utilizado la gráfica cuya componente en el eje “Y” es la propiedad genérica de precio por unidad de masa. Esta propiedad me permite saber el precio de una unidad de masa de los materiales, por lo que en el caso de la llanta se necesita valores más bajos posibles de esta propiedad. Para poder conseguir esta selección de materiales he realizado un rango comprendido entre los 0,009 €/kg y los 5 €/kg, obteniendo los siguientes resultados.

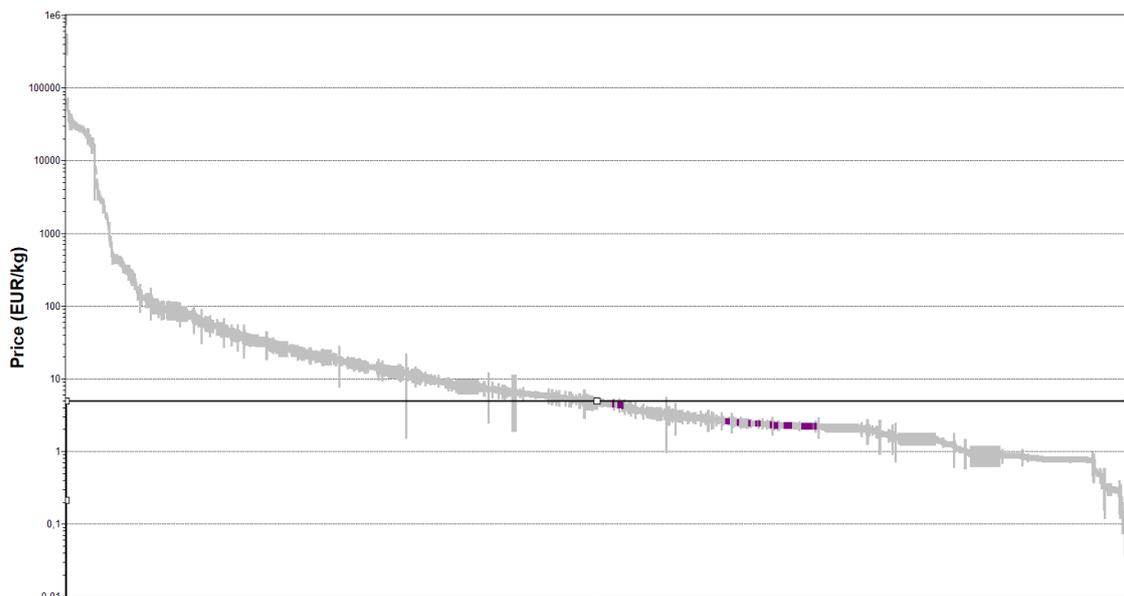


Ilustración 162; Etapa 4 del Nivel 3 – Selección de materiales.

Después de esta primera etapa, obtengo 55 materiales de los 4169 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- **Etapa 5 - Procesos de fabricación del componente, Conformado en frío:**
Para el desarrollo de esta etapa de la selección de materiales he tenido en cuenta el proceso de fabricación utilizado para la fabricación del componente, en el caso de la llanta para la correcta elaboración de la su geometría. Para la correcta selección de material se ha realizado una elección del proceso de fabricación que en el nivel 3 es conformado en frío.

Se ha seleccionado solo los materiales con los que se puede trabajar de forma excelente frente al conformado en frío.
Obteniendo los siguientes resultados;

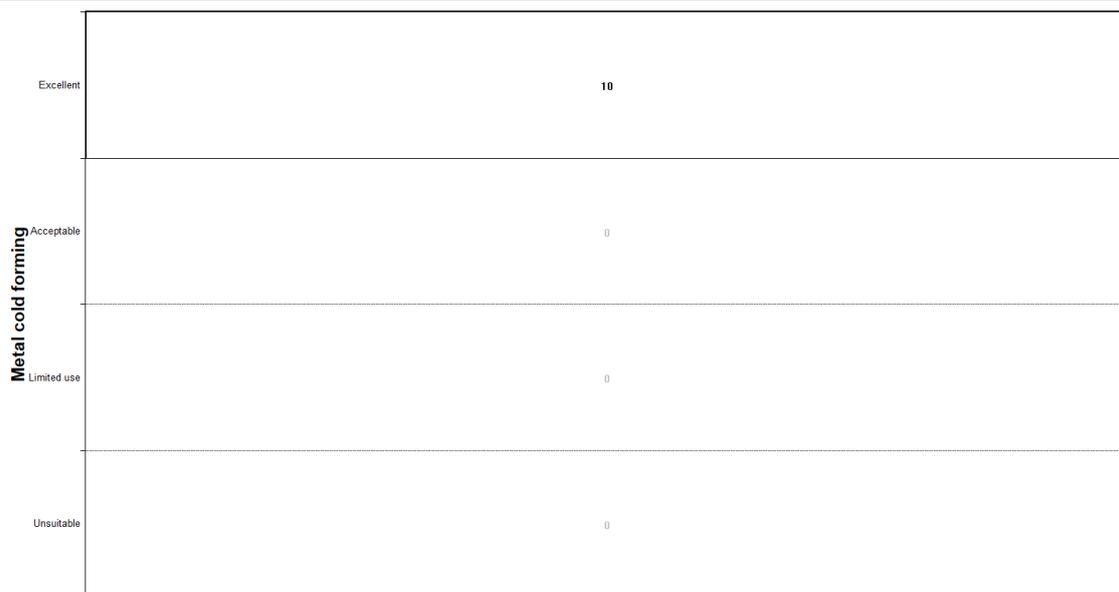


Ilustración 163; Etapa 5 del Nivel 3 – Selección de materiales.

Después de esta cuarta etapa, obtengo 10 materiales de los 4169 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- **Etapa 6 – Procesos de fabricación del componente, Soldabilidad:**
Para el desarrollo de esta etapa de la selección de materiales he tenido en cuenta el proceso de fabricación utilizado para las uniones del componente, en el caso de la llanta para la correcta elaboración de la su geometría. Para la correcta selección de material se ha realizado una elección del proceso de fabricación que en el nivel 2 es soldabilidad.

Se ha seleccionado solo los materiales con los que se puede trabajar de forma buena frente a la soldadura.
Obteniendo los siguientes resultados;

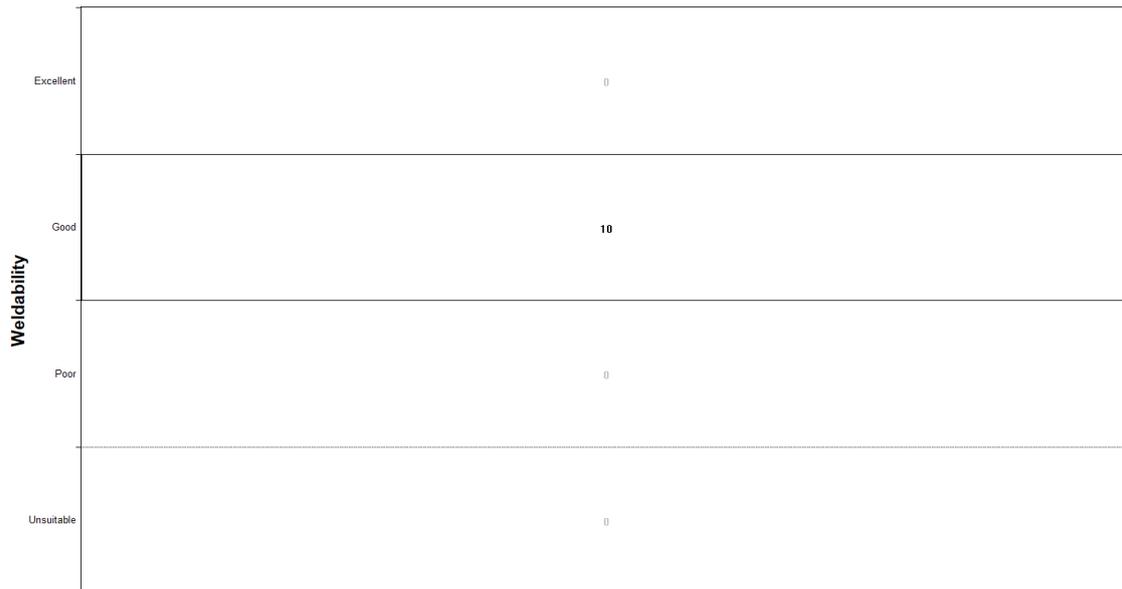


Ilustración 164; Etapa 6 del Nivel 3 – Selección de materiales.

Después de esta quinta etapa, obtengo 10 materiales de los 4169 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

- Materiales que cumplen con los criterios en el nivel 3.
Una vez realizadas las seis etapas de la selección final de materiales en el nivel 3 del software de selección de materiales se han obtenido los siguientes materiales.

3. Resultados: pasan 10 de 4169

Mostrar:

Clasificar por:

Nombre
Aluminum, 6060, T4
Aluminum, 6060, T6
Aluminum, 6061, T4
Aluminum, 6061, T42
Aluminum, 6061, T451
Aluminum, 6061, T4510/T4511
Aluminum, 6061, T62
Aluminum, 6061, T651
Aluminum, 6061, T6510/T6511
Aluminum, 6061, T652

Ilustración 165; Materiales posibles en el nivel 3.

Después de esta sexta etapa, obtengo 10 materiales de los 4169 disponibles en la base de datos del GRANTA Edupack.

De lo cuales se pueden destacar la serie 6000 de aluminio, las cuales en el sector del ciclismo se encuentran frecuentemente con estos materiales.

También se debe tener en cuenta que mediante la tercera etapa se han eliminado los materiales compuestos, debido a la restricción en el precio por unidad de masa.

3.9.1.5 Selección final del material en el Nivel 3.

Por lo tanto, la selección final del material en el nivel 3 del GRANTA Edupack, se ha basado en las seis etapas anteriormente descritas además después de poder observar en el sector industrial del ciclismo el material más apropiado de los 10 materiales finales posibles es el **Aluminio 6061**.

Una vez seleccionado el material final, paso a exponer las características generales y las propiedades mecánicas del Aluminio 6061 extraídas directamente del nivel 3 del software FRANTA Edupack ;

Aluminum, 6061, T4

General information

Designation

Aluminum, 6061, T4, wrought

Condition

T4 (Solution heat-treated and naturally aged to a substantially stable condition)

UNS number

A96061

EN name

EN AW-6061 (EN AW-Al

Mg1SiCu)

EN number

3.3211

Typical uses

Trucks, towers, canoes, railroads cars, furniture, pipelines, and other structural applications where strength, weldability, and corrosion resistance are needed

Included in Materials Data for Simulation

Verdadero

Composition overview

Compositional summary

Al96-99 / Mg0.8-1.2 / Si0.4-0.8 / Cu0.15-0.4 / Cr0.04-0.35 (impurities: Fe<0.7, Zn<0.25, Mn<0.15, Ti<0.15, Other<0.15)

Material family

Metal (non-ferrous)

Base material

Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	* 95,8	-	98,6	%
Cr (chromium)	0,04	-	0,35	%
Cu (copper)	0,15	-	0,4	%
Fe (iron)	0	-	0,7	%
Mg (magnesium)	0,8	-	1,2	%
Mn (manganese)	0	-	0,15	%
Si (silicon)	0,4	-	0,8	%
Ti (titanium)	0	-	0,15	%
Zn (zinc)	0	-	0,25	%
Other	0	-	0,15	%

Price

Price * 2,01 - 2,5 EUR/kg

Price per unit volume * 5,42e3 - 6,83e3 EUR/m³

Physical properties

Density 2,69e3 - 2,73e3 kg/m³

Mechanical properties

Young's modulus 66,6 - 70 GPa
 Young's modulus with temperature 68,4 - 71,9 GPa
 Parámetros: Temperature = 23°C
 Specific stiffness * 24,5 - 25,8 MN.m/kg
 Yield strength (elastic limit) 110 - 145 MPa
 Yield strength with temperature 147 - 147 MPa
 Parámetros: Temperature = 23°C
 Tensile strength 206 - 240 MPa
 Specific strength * 40,5 - 53,5 kN.m/kg
 Elongation 16 - 23 % strain
 Tangent modulus 814 MPa
 Compressive modulus 67,9 - 71,3 GPa
 Compressive strength * 110 - 145 MPa
 Flexural modulus * 66,6 - 70 GPa
 Flexural strength (modulus of rupture) * 110 - 145 MPa
 Shear modulus 25,6 - 26,9 GPa
 Shear strength 138 - 163 MPa
 Bulk modulus * 66,6 - 70 GPa
 Poisson's ratio 0,325 - 0,335
 Shape factor 37
 Hardness - Vickers 74 - 87 HV
 Hardness - Brinell 62 - 68 HB
 Elastic stored energy (springs) * 90 - 152 kJ/m³
 Fatigue strength at 10⁷ cycles * 91,1 - 106 MPa
 Fatigue strength model (stress amplitude) * 83,1 - 116 MPa
 Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles

Impact & fracture properties

Fracture toughness * 30 - 36 MPa.m^{0.5}
 Toughness (G) * 13,3 - 18,9 kJ/m²

Thermal properties

Melting point 580 - 650 °C
 Maximum service temperature 130 - 150 °C
 Minimum service temperature -273 °C
 Thermal conductivity 161 - 174 W/m.°C
 Specific heat capacity 934 - 972 J/kg.°C
 Specific heat capacity with temperature 1,02e3 - 1,02e3 J/kg.°C
 Parámetros: Temperature = 23°C

3.10 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.

Uno de los objetivos de este proyecto es realizar la elaboración de la documentación técnica necesaria para el ensamblaje de todas las configuraciones de ruedas, fomentando la digitalización de este proceso para poder favorecer a la transformación digital de las empresas del sector.

- Plano del conjunto de la rueda; **“PLANO_CONJUNTO_RUEDA”**
- Plano individual de la llanta; **“PLANO_LLANTA_GENÉRICO”**
- Plano individual de la cabecilla; **“PLANO_CABECILLA_GENÉRICO”**.
- Plano individual del radio; **“PLANO_RADIO_GENÉRICO”**.
- Plano individual del buje; **“PLANO_BUJE_GENÉRICO”**.
- Plano del conjunto de la rueda;
- Plano del conjunto adjuntado la tabla de familia; **“PLANO_CONJUNTO_GENÉRICO”**.
- Plano del conjunto de cada instancia adjuntado la lista de materiales;
 - Instancia nº1; **“1_FRONT_WHEEL_29_S32_350”**.
 - Instancia nº2; **“2_FRONT_WHEEL_29_S32_240”**.
 - Instancia nº3; **“3_FRONT_WHEEL_29_S28_350”**.
 - Instancia nº4; **“4_FRONT_WHEEL_29_S28_240”**.
 - Instancia nº5; **“5_FRONT_WHEEL_27_5_S32_350”**.
 - Instancia nº6; **“6_FRONT_WHEEL_27_5_S32_240”**.
 - Instancia nº7; **“7_FRONT_WHEEL_27_5_S28_350”**.
 - Instancia nº8; **“8_FRONT_WHEEL_27_5_S28_240”**.

Para la realización de dichos documentos se ha utilizado el formato de hoja A3, con la acotación pertinente para una de las vistas.

Además, se ha seguido la normativa **“ISO 2678 – mk”** Tolerancias generales, para la acotación de las tolerancias.

3.11 ESTUDIO ECONÓMICO

Este estudio económico se va a centrar en dos partes principales, la primera en la cual voy a mostrar un valor estimativo del precio de venta al público de las diferentes configuraciones con las que he trabajado en el proyecto, y una segunda parte en la cual analizare los costes del producto, así como los costes de ensamblaje de este.

3.11.1 Precio de venta al público del conjunto de la rueda en el mercado actual.

Este primer apartado del estudio económico consiste en poder hacernos una idea del precio de venta al público que hay en el mercado actual para las diferentes configuraciones con las que he trabajado en el transcurso de este proyecto.

Para ello he realizado un pequeño escandallo con el precio de venta al público de cada elemento que compone cada una de las ocho configuraciones con las que he trabajado en este proyecto, excluyendo el coste de ensamblaje y manipulación de los componentes.

Hemos de tener en cuenta que estos precios son orientativos, ya que para poder determinar el P.V.P de cada componente de las configuraciones he realizado una búsqueda por tiendas de componentes de bicicletas online. Además, para poder focalizarme en las configuraciones he hecho la búsqueda de los componentes del fabricante suizo DT Swiss.

Una vez explicado el método que he seguido para la obtención del precio de venta al público estimativo de cada configuración paso a mostrarlos.

- Instancia nº1: Front Wheel 29 S32 350

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	84,90 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	0,41 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	0,85 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	72,90 €	72,90 €
TOTAL:	-	-	198,00 €

Tabla 33; Tabla de P.V.P de la instancia nº1.

- Instancia nº2: Front Wheel 29 S32 240

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	84,90 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	0,41 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	0,85 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	147,45 €	147,45 €
TOTAL:	-	-	272,55 €

Tabla 34; Tabla de P.V.P de la instancia nº2.

- Instancia nº3: Front Wheel 29 S28 350

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	84,90 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	0,41 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	0,85 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	72,90 €	72,90 €
TOTAL:	-	-	192,97 €

Tabla 35; Tabla de P.V.P de la instancia nº3.

- Instancia nº4: Front Wheel 29 S28 240

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	84,90 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	0,41 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	0,85 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	147,45 €	147,45 €
TOTAL:	-	-	267,52 €

Tabla 36; Tabla de P.V.P de la instancia nº4.

- Instancia nº5: Front Wheel 27 5 S32 350

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	75,23 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	0,41 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	0,85 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	72,90 €	72,90 €
TOTAL:	-	-	188,33 €

Tabla 37; Tabla de P.V.P de la instancia nº5

- Instancia nº6: Front Wheel 27 5 S32 240

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	75,23 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	0,41 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	0,85 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	147,45 €	147,45 €
TOTAL:	-	-	262,88 €

Tabla 38; Tabla de P.V.P de la instancia nº6.

- Instancia nº7: Front Wheel 27 5 S28 350

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	75,23 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	0,41 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	0,85 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	72,90 €	72,90 €
TOTAL:	-	-	183,30 €

Tabla 39; Tabla de P.V.P de la instancia nº7.

- Instancia nº8 Front Wheel 27 5 S28 240

Componente	Und.	P.V.P/ Und.	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	75,23 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	0,41 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	0,85 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	147,45 €	147,45 €
TOTAL:	-	-	257,85 €

Tabla 40; Tabla de P.V.P de la instancia nº8.

3.11.2 Estudio de viabilidad del proyecto.

En el estudio económico del proyecto se ha decidió estudiar la viabilidad de este, mediante el cálculo de todos los gastos que involucran la manipulación y el ensamblaje de las ruedas, con el objetivo de poder calcular el precio final de venta de las configuraciones de ruedas obtendría con la venta directa del conjunto de la rueda al público.

3.11.2.1 Cálculo del coste del producto.

A continuación, se debe obtener el coste del producto, en este caso se debe obtener el coste de todos los componentes que forman parte de la cada una de las ocho configuraciones diferentes de ruedas que se van a ensamblar en este proyecto. Para obtener el coste del producto hay diferentes formas de poder calcular dicho coste, pero el método que yo he seguido en el transcurso de la viabilidad del proyecto ha sido la obtención de dicho coste mediante la expresión que define el margen de beneficio.

La expresión que define el margen de beneficio de un producto viene definida por la siguiente expresión:

$$\text{Precio de venta} = \frac{\text{Coste del Producto}}{1 - \left(\frac{\text{Margen de Beneficio}}{100}\right)}$$

Una vez he obtenido el P.V.P (Precio de Venta al Público) según el mercado actual como ya he mostrado en el apartado anterior, paso a definir el margen de beneficio que se utiliza generalmente.

El margen comercial es la diferencia entre el precio de venta del producto y los costes de adquisición de los componentes sumado al coste por el ensamblaje y manipulación del producto, este margen generalmente se mueve entre un 70% y 80% en la actualidad, para el desarrollo de este producto he la media entre ambos valores tomado el valor del margen comercial de, un 75%.

Una vez obtenidos los dos datos que componen la expresión del margen de beneficio solo quedaría obtener la expresión despejando la incógnita del coste del producto, quedando la siguiente ecuación.

$$\text{Coste del Producto} = \text{Precio de venta} \times \left(1 - \left(\frac{\text{Margen de Beneficio}}{100}\right)\right)$$

Ya que he obtenido la expresión del coste del producto, paso a determinar el coste de cada uno de los componentes que forman las ocho configuraciones de ruedas de este proyecto, mediante la aplicación de la expresión anterior.

- Instancia nº1: Front Wheel 29 S32 350

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 29"	84,90 €	21,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	13,00 €	3,25 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	27,20 €	6,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	72,90 €	18,23 €
TOTAL:	198,00 €	49,50 €

Tabla 41; Tabla de coste del producto de la instancia nº1.

- Instancia nº2: Front Wheel 29 S32 240

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 29"	84,90 €	21,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	13,00 €	3,25 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	27,20 €	6,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	147,45 €	36,86 €
TOTAL:	272,55 €	68,14 €

Tabla 42; Tabla de coste del producto de la instancia nº2.

- Instancia nº3: Front Wheel 29 S28 350

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 29"	84,90 €	21,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	11,37 €	2,84 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	23,80 €	5,95 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	72,90 €	18,23 €
TOTAL:	192,97 €	48,24 €

Tabla 43; Tabla de coste del producto de la instancia nº3.

- Instancia nº4: Front Wheel 29 S28 240

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 29"	84,90 €	21,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	11,37 €	2,84 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	23,80 €	5,95 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	147,45 €	36,86 €
TOTAL:	267,52 €	66,88 €

Tabla 44; Tabla de coste del producto de la instancia nº4.

- Instancia nº5: Front Wheel 27 5 S32 350

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	75,23 €	18,81 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	13,00 €	3,25 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	27,20 €	6,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	72,90 €	18,23 €
TOTAL:	188,33 €	47,08 €

Tabla 45; Tabla de coste del producto de la instancia nº5.

- Instancia nº6: Front Wheel 27 5 S32 240

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	75,23 €	18,81 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	13,00 €	3,25 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	27,20 €	6,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	147,45 €	36,86 €
TOTAL:	262,88 €	65,72 €

Tabla 46; Tabla de coste del producto de la instancia nº6.

- Instancia nº7: Front Wheel 27 5 S28 350

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	75,23 €	18,81 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	11,37 €	2,84 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	23,80 €	5,95 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	72,90 €	18,23 €
TOTAL:	183,30 €	45,83 €

Tabla 47; Tabla de coste del producto de la instancia nº7.

- Instancia nº8 Front Wheel 27 5 S28 240

Componente	P.V.P	COSTE DEL PRODUCTO
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	75,23 €	18,81 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	11,37 €	2,84 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	23,80 €	5,95 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	147,45 €	36,86 €
TOTAL:	257,85 €	64,46 €

Tabla 48; Tabla de coste del producto de la instancia nº8.

3.11.2.2 Cálculo de los costes de mano de obra.

Para poder estudiar la viabilidad del proyecto debo contar con los costes que supondrá la mano de obra utilizada para realizar las tareas de ensamblaje y manipulación de los componentes para poder realizar las ocho configuraciones de ruedas.

Por lo que primero voy a definir las características que deben tener los empleados para poder desarrollar las tareas de ensamblaje, para el desarrollo de las tareas de ensamblado y manipulación no son necesarios estudios universitarios ni de post grado. Por lo tanto, para la simplificación de los cálculos se ha tomado como referencia el sueldo mínimo interprofesional del año 2021, que según el "Real Decreto 231/2020, de 4 de febrero, por el cual se establece el salario mínimo interprofesional." publicado en el BOE del 5 de febrero de 2020, establece que el salario mínimo interprofesional en España pasa a ser de 950 € al mes durante 14 pagas.

Una vez obtenidos estos datos, me dispongo a calcular el salario neto anual del empleado, quedando:

Salario Mínimo Interprofesional	950,00 €	/mes
Número de Pagas Anuales	14	Pagas
Salario Neto Anual	13.300,00 €	/año

Tabla 49; Tabla resumen de los salarios.

El siguiente paso es determinar el salario bruto anual de cada empleado, que es el coste que deberá asumir la empresa por cada trabajador, para ello he determinado que el 40% de salario neto anual del trabajador serán el importe de la seguridad social e impuestos, quedando el salario bruto anual:

Salario Neto Anual	13.300,00 €	/año
% Aplicado de Seguridad Social e Impuestos	40	%
Costes de Seguridad Social	5.320,00 €	/año
Salario Bruto Anual	18.620,00 €	/año

Tabla 50; Tabla resumen de los costes en recursos humanos.

El siguiente paso es determinar el número de empleados que van a formar parte de la empresa, en el transcurso de este estudio de viabilidad he decidido que habrá un empleado por cada una de las configuraciones, por lo cual he establecido que el número de empleados será de ocho.

Número de Conf. De Ruedas	8	Ruedas
Número de empleados	8	Empleados

Tabla 51; Tabla con el número de empleados y de configuraciones.

3.11.2.3 Cálculo de los costes en equipamiento.

También se debe tener en cuenta que para el correcto desarrollo de la actividad en la empresa se debe adquirir el equipamiento y las herramientas indispensables para el montaje de las ruedas.

Dicho equipamiento básico se compone de las siguientes herramientas:

EQUIPAMIENTO	Und.
Centrador DT Swiss	8
Aparaguador Park Tool	8
Tensiómetro DT Swiss	8
Llaves para radios DT Swiss	8

Tabla 52; Tabla con las unidades de equipamiento necesario.

Una vez nombrados las herramientas y la cantidad necesaria para el correcto desarrollo de la actividad de la empresa, paso a determinar el precio de cada una de ellas tras una búsqueda por diferentes tiendas online del sector, para posteriormente obtener el coste total del equipamiento utilizado.

EQUIPAMIENTO	Und.	Valor / Und.	Valor
Centrador DT Swiss	8	1.247,90 €	9.983,20 €
Aparaguador Park Tool	8	62,90 €	503,20 €
Tensiómetro DT Swiss	8	399,00 €	3.192,00 €
Llaves para radios DT Swiss	8	19,10 €	152,80 €
Total:			13.831,20 €

Tabla 53; Tabla con los costes de equipamiento necesario.

Se debe tener en cuenta que la amortización del equipamiento se establece en un año.

3.11.2.4 Cálculo de los costes indirectos básicos.

El cálculo de los costes indirectos básicos me he centrado en los gastos de alquiler, suministros de energía (luz y agua), seguros y gastos de embalaje y almacenaje de los productos.

El primer coste indirecto como he mencionado es el alquiler de la nave industrial donde se desarrollará nuestra actividad. Para la obtención de un precio de alquiler representativo en la provincia de Alicante, en concreto en la comarca de l'Alcoià, he realizado una búsqueda de diferentes ofertas de alquileres de naves industriales en la comarca para posteriormente obtener un promedio del precio del metro cuadrado de una nave industrial en dicha comarca.

Para ello he seleccionado las siguientes cuatro naves industriales ubicadas en la comarca de l'Alcoià:

Nave industrial nº1 en Ibi

Precio del alquiler	950	€
Superficie de la nave Industrial	500	m ²
Precio del m ²	1,9	€/m ²

Tabla 54; Tabla con oferta de alquiler nº1.

Nave industrial nº2 en Ibi

Precio del alquiler	650	€
Superficie de la nave Industrial	250	m ²
Precio del m ²	2,6	€/m ²

Tabla 55; Tabla con oferta de alquiler nº2.

Nave industrial nº3 en Ibi

Precio del alquiler	1400	€
Superficie de la nave Industrial	850	m ²
Precio del m ²	1,65	€/m ²

Tabla 56; Tabla con oferta de alquiler nº3.

Nave industrial nº4 en Castalla

Precio del alquiler	1500	€
Superficie de la nave Industrial	700	m ²
Precio del m ²	2,14	€/m ²

Tabla 57; Tabla con oferta de alquiler nº4.

Obteniendo el valor promedio del precio por metro cuadrado en una nave industrial siguiente;

$$\text{Promedio €/m}^2 \text{ Alcoià } \mathbf{2,07 \text{ €/m}^2}$$

Según las necesidades de almacenaje y la necesidad para poder instalar los puestos de ensamblaje de las ruedas de una forma correcta he establecido que la superficie que sería necesaria sería de 500 m², por lo que puedo obtener el coste mensual y anual que supondría.

Costes Indirectos	Valor	Tiempo
<i>Alquiler Nave 500m²</i>	1.050,00 €	/Mes
Alquiler Nave 500m²	12.600,00 €	/Año

Tabla 58; Costes mensuales y anuales de alquiler.

El segundo coste indirecto que debo estimar es el cote vinculado a los suministros de energía, así como la luz y el agua principalmente, en este punto he establecido que el coste de ambos suministros se eleva a:

Costes Indirectos	Valor	Tiempo
<i>Energía (Luz/Agua) Mensual</i>	400,00 €	/Mes
Energía (Luz/Agua) Anual	4.800,00 €	/Año

Tabla 59; Costes de energía mensuales y anuales.

El siguiente coste va relacionado con la contratación de seguros para la empresa, este coste se ha cifrado como un 10% de la suma de los costes anuales de alquiler y de suministros quedando en;

Costes Indirectos	Valor	Tiempo
<i>Alquiler Nave 500m²</i>	1.050,00 €	/Mes
Alquiler Nave 500m²	12.600,00 €	/Año
<i>Energía (Luz/Agua) Mensual</i>	400,00 €	/Mes
Energía (Luz/Agua) Anual	4.800,00 €	/Año
Seguros	1.740,00 €	/Año

Tabla 60; Tabla resumen costes indirectos más el coste en seguros.

Finalmente, queda por determinar el coste por almacenaje, embalaje y distribución del producto, en este caso he determinado teniendo en cuenta las dimensiones y el peso de las ruedas pudiendo establecer que el precio de embalaje y almacenaje de los productos está en los 6,5 € la unidad, por lo tanto, debo hacer el cálculo para todas las unidades producidas al año, quedando de la siguiente manera.

Costes almacenaje y distribución	6,50 €	/Und.
Unidades Ensambladas Anuales	13760	Und./ Año
Costes almacenaje y distribución	89.440,00 €	/Año

Tabla 61; Costes de ensamblaje y distribución.

Quedando como resumen de los costes indirectos básicos la siguiente tabla;

Costes Indirectos	Valor	Tiempo
<i>Alquiler Nave 500m²</i>	12.600,00 €	/Año
<i>Energía (Luz/Agua) Anual</i>	4.800,00 €	/Año
<i>Seguros</i>	1.740,00 €	/Año
<i>Costes almacenaje y distribución</i>	6,50 €	/Und.
<i>Unidades Ensambladas Anuales</i>	13760	Und./ Año
<i>Costes almacenaje y distribución</i>	89.440,00 €	/Año
Total:	108.580,00 €	/Año

Tabla 62; Tabla resumen costes indirectos anuales.

3.11.2.5 Determinación de las unidades anuales a montar.

El cálculo de las unidades anuales que la empresa es capaz de producir viene determinado por la duración de la jornada anual que se determina mediante el número de horas efectivas reales de trabajo, el tiempo que se emplee para el ensamblaje y manipulación del producto (Conjunto de la rueda) y el número de empleados que trabajen en dicha empresa.

Primeramente, paso a exponer el número de horas efectivas reales de trabajo anuales, que se han establecido para el año 2021 según la “Resolución de 27 de enero de 2020, de la Dirección General de Trabajo.” Publicada en el Boletín Oficial del Estado. En el BOE de 4 de febrero de 2020, se ha establecido el número de horas efectivas reales de trabajo para 2021 sean 1720 horas.

Pudiendo determinar el coste a la hora de un empleado, para ello he utilizado el salario anual bruto y las horas efectivas de trabajo de un año, quedando de la siguiente manera.

Salario Bruto anual	18.620,00 €	/año
Horas laborales 2021	1720	h
Coste Bruto del Empleado / hora	10,83 €	€/h

Tabla 63; Tabla con Salario bruto, Horas laborales 2021 y Coste bruto por hora.

Como ya he comentado el número de unidades anuales que se podrán ensamblar dependerá del número de empleados, en los apartados anteriores he establecido que el número de empleados de esta empresa, en este caso serán ocho los empleados que formarán parte de la empresa por lo que el número de horas efectivas de trabajo se multiplicarán por el número de empleados obteniendo:

Horas laborales 2021	1720	h
Número de empleados	8	Empleados
Horas Laborales Totales 2021	13760	h

Tabla 64; Tabla con número total de horas laborales entre todos los empleados.

Finalmente, queda determinar el tiempo requerido para el ensamblaje y manipulación de cada rueda, dicho tiempo lo he establecido en un promedio de una hora por cada rueda ensamblada, por lo tanto, se puede establecer de forma estimativa que el número de ruedas que se puede ensamblar durante el año utilizando el 100% de las horas efectivas de trabajo es:

Horas Laborales Totales 2021	13760	h
Tiempo de ensamblaje de la rueda	1	h/ Und.
Total de ruedas al año	13760	Und. / Año

Tabla 65; Total de unidades de ruedas ensambladas al año.

3.11.2.6 Cálculo de costes de ensamblaje.

Este apartado es la unificación de los cálculos de los costes anteriores, donde voy a exponer y detallar los costes que afectan a la manipulación y ensamblaje de las diferentes configuraciones de ruedas de forma que pueda obtener el coste de ensamblaje que debo computar a cada una de las configuraciones.

Para ello primero paso a mostrar la tabla que resume los costes que afectan al ensamblaje de las ruedas.

Costes	Valor	Tiempo
Costes Recursos Humanos	148.960,00 €	/Año
Costes Equipamiento	13.831,20 €	/Año
Costes Indirectos básicos	108.580,00 €	/Año
Total:	271.371,20 €	/Año

Tabla 66; Costes totales el primer año.

Una vez obtenido el total de los costes que son necesarios para el ensamblaje de las diferentes configuraciones de ruedas, debo obtener el coste de ensamblaje total por unidad montada, para ello voy a dividir el coste total de ensamblaje por el número de unidades ensambladas al año.

Costes Totales:	271.371,20 €	/Año
Unidades Totales Anuales	13760	Und.
Coste por Unidad Ensamblada	19,72 €	/Und.

Tabla 67; Costes por unidad ensamblada.

Por lo tanto, una vez obtenido el coste por unidad ensamblada debo imputar este coste a cada una de las ocho configuraciones de ruedas con las que se está trabajando en este proyecto.

3.11.2.7 Escandallo con el P.V.P del conjunto.

En este último apartado del estudio de viabilidad del proyecto, voy a realizar el escandallo detallado de los costes que intervienen en cada una de las ocho configuraciones de ruedas diferentes, desde el coste del producto hasta el coste de ensamblaje, para final mente obtener el precio de venta al público de cada una de nuestras configuraciones, mediante la siguiente expresión.

$$\text{Precio de venta} = \frac{\text{Coste del Producto}}{1 - \left(\frac{\text{Margen de Beneficio}}{100}\right)}$$

En la expresión anterior, dispongo de todos los datos necesarios para el cálculo del precio de venta de las diferentes configuraciones, para ello utilizaré le coste del producto anteriormente calculado y un margen comercial del 75%.

Quedando los siguientes precios de venta al público de las siguientes ocho configuraciones de ruedas:

- Instancia nº1: Front Wheel 29 S32 350

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	21,23 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	3,25 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	6,80 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	18,23 €	72,90 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	69,22 €	<u>276,89 €</u>

Tabla 68; Tabla con PVP final de la instancia nº1.

- Instancia nº2: Front Wheel 29 S32 240

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	21,23 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	3,25 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	6,80 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	36,86 €	147,45 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	87,86 €	<u>351,44 €</u>

Tabla 69; Tabla con PVP final de la instancia nº2.

- Instancia nº3: Front Wheel 29 S28 350

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	21,23 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	2,84 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	5,95 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	18,23 €	72,90 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	67,97 €	<u>271,86 €</u>

Tabla 70; Tabla con PVP final de la instancia nº3.

- Instancia nº4: Front Wheel 29 S28 240

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 29"	1	21,23 €	84,90 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	2,84 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	5,95 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	36,86 €	147,45 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	86,60 €	<u>346,41 €</u>

Tabla 71; Tabla con PVP final de la instancia nº4.

- Instancia nº5: Front Wheel 27 5 S32 350

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	18,81 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	3,25 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	6,80 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	18,23 €	72,90 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	66,80 €	<u>267,22 €</u>

Tabla 72; Tabla con PVP final de la instancia nº5.

- Instancia nº6: Front Wheel 27 5 S32 240

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	18,81 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 32 Und.	32	3,25 €	13,00 €
Radios DT Swiss Competition 32 Und.	32	6,80 €	27,20 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	36,86 €	147,45 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	85,44 €	<u>341,77 €</u>

Tabla 73; Tabla con PVP final de la instancia nº6.

- Instancia nº7: Front Wheel 27 5 S28 350

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	18,81 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	2,84 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	5,95 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 350	1	18,23 €	72,90 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	65,55 €	<u>262,19 €</u>

Tabla 74; Tabla con PVP final de la instancia nº7.

- Instancia nº8 Front Wheel 27 5 S28 240

Componente	Und.	Coste	P.V.P
Llanta DT Swiss XR391 27,5"	1	18,81 €	75,23 €
Cabecilla DT Swiss Pro Lock 28 Und.	28	2,84 €	11,37 €
Radios DT Swiss Competition 28 Und.	28	5,95 €	23,80 €
Buje delantero DT Swiss Classic 240	1	36,86 €	147,45 €
Coste de Ensamblaje	1	19,72 €	78,89 €
TOTAL:	-	84,19 €	<u>336,74 €</u>

Tabla 75; Tabla con PVP final de la instancia nº8.

4. CONCLUSIONES



Tras el transcurso de este proyecto de final de grado titulado “Diseño y parametrización de modelos de ruedas de bicicletas para la transformación digital de la industria del sector.”, se han desarrollado todas las fases mencionadas en los apartados anteriores.

Durante el desarrollo de las diferentes fases del proyecto se han conseguido alcanzar los objetivos siguientes:

En la fase de diseño se han podido modelizar todos los elementos que forma parte del conjunto de la rueda de una bicicleta, tras haber realizado todo el estudio de las características de la rueda, quedando plasmado en los primeros apartados de la memoria del TFG.

En la fase de ingeniería se han podido realizar las relaciones paramétricas que definen las longitudes de los radios del conjunto de la rueda, además de definir la geometría pertinente a cada una de las de configuraciones generadas para este proyecto. También, en esta fase de ingeniería se ha podido justificar mediante relaciones trigonométricas como se calcula la longitud de los radios de las bicicletas de forma manual, una vez obtenida esta justificación de cálculo se ha llevado a cabo la comparación de los resultados de las longitudes obtenidas mediante una herramienta de cálculo online del fabricante de ruedas DT Swiss y los resultados obtenidos con las instancias generadas mediante el diseño paramétrico. Esta comparativa ha concluido siendo muy favorable para la novedosa herramienta creada en este TFG ya que se ha conseguido obtener unos resultados con un error menor al 1%, pudiendo dar por válido estos cálculos.

Por último, la fase de proceso de fabricación donde se ha podido realizar una selección justificada de materiales para la llanta ya que es el elemento que permite una mayor libertad de diseño dentro de los estándares del mercado, además de la elaboración de un presupuesto para cada una de las configuraciones creadas en este proyecto, detallando el PVP final del conjunto, así como de cada elemento y del coste del montaje.

Como elementos indispensables en esta fase se han elaborado la documentación técnica necesaria para el montaje de las distintas configuraciones de ruedas mostradas en este trabajo, esta documentación está formada por planos individuales de los componentes, así como planos de conjunto con la tabla de familia, además de los planos de conjunto de todas las configuraciones generadas con su listado de materiales.

Finalmente, tras haber desarrollado todas las fases del TFG se han cumplido los objetivos marcados pudiendo demostrar el potencial de este proyecto, ya que se ha mostrado mediante una pequeña muestra la creación de una herramienta totalmente digitalizada para la transformación de la industria, que integre la personalización de los modelos de ruedas de bicicletas con la visualización de la misma en tres dimensiones, integrado el cálculo de la longitud de los radios y la generación de la documentación técnica necesaria.

Una vez concluido el trabajo final de grado, decir que para mí ha sido un proyecto que me ha ayudado a aprender nuevas formas de trabajo, así como el uso de nuevos softwares de diseño CAD. Agradecer toda la paciencia, las explicaciones y ayuda prestada por mi tutor, Francisco Manuel López Esteve.

5. APÉNDICES



5.1 BIBLIOGRAFÍA.

- Contexto histórico de la bicicleta.
<https://www.enbici.biz/la-evolucion-la-bicicleta/>
- Componentes y definiciones de los elementos de la rueda.
https://www.google.com/amp/s/www.ciclismoafondo.es/reportajes-ciclismo/informe-la-historia-de-las-ruedas_37995_102_amp.html
- Evolución de la rueda en el MTB.
<https://www.mtbpro.es/afondo/revoluciones-del-mtb-iv-los-tamanos-de-rueda>
- Definición del ERD.
https://es.carbonalbike.com/effective-rim-diameter-erd-and-spoke-length_n23
- Tipos de radiados.
<https://biciclub.com/los-cruces-de-rayos-mas-comunes-y-para-que-sirven/>
- Método de radiado clásico.
<https://www.emeb.es/como-radiar-una-rueda/>
- **“WHEEL BUILDING” El arte de construir ruedas.** De Bitech, Bitech Service Center
- Página web del fabricante de componentes DT SWISS.
<https://www.dtswiss.com/es>
- Calculadora online de radios DT SWISS.
<https://spokes-calculator.dtswiss.com/en/calculator>
- Cálculo del margen de beneficio:
<https://www.comercionista.com/gestion/calcular-margen-de-beneficio/>
- Salario mínimo interprofesional BOE:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-1652>
- Horas efectivas laborales de 2021 según BOE:
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-162
- Alquiler nave industrial nº1:
<https://www.fotocasa.es/es/alquiler/local-comercial/ibi/ibi/160712959/d>
- Alquiler nave industrial nº2:
<https://www.fotocasa.es/es/alquiler/local-comercial/ibi/ibi/160713000/d>
- Alquiler nave industrial nº3:
<https://www.fotocasa.es/es/alquiler/local-comercial/ibi/ibi/160713194/d>
- Alquiler nave industrial nº4:
<https://www.fotocasa.es/es/alquiler/local-comercial/castalla/castalla/160700168/d>

- Centrador DT Swiss:
<https://www.bikeshop.es/centrador-de-ruedas-dt-swiss-profesional/211393.html?gshop=ES>
- Aparaguador Park Tool:
<https://www.bikeshop.es/comparador-de-alineacion-de-las-ruedas-park-tool-wag-4/103884.html?gshop=ES>
- Tensiómetro DT Swiss:
<https://www.rosebikes.es/dt-swiss-tensio-2-spoke-tensiometer-22750>
- Llaves para radios DT Swiss:
https://rotoruabike.com/herramientas-para-ruedas-y-cubiertas/42044-llave-para-radios-dt-swissclasica-4-cantos-ttsxxxxr05664s-4055149336349.html?gclid=Cj0KCQjwub-HBhCyARIsAPctr7zKoLuLQF36VpFn5pJh7WGp0m0ue1d3CvBNmi0-8fkecvDTVBWamT4aAjlIEALw_wcB
- Tolerancias generales según ISO 2678:
https://issuu.com/zaqueu_cs/docs/general_tolerances_-din_-iso_-2768

5.2 LISTADO DE NORMATIVA.

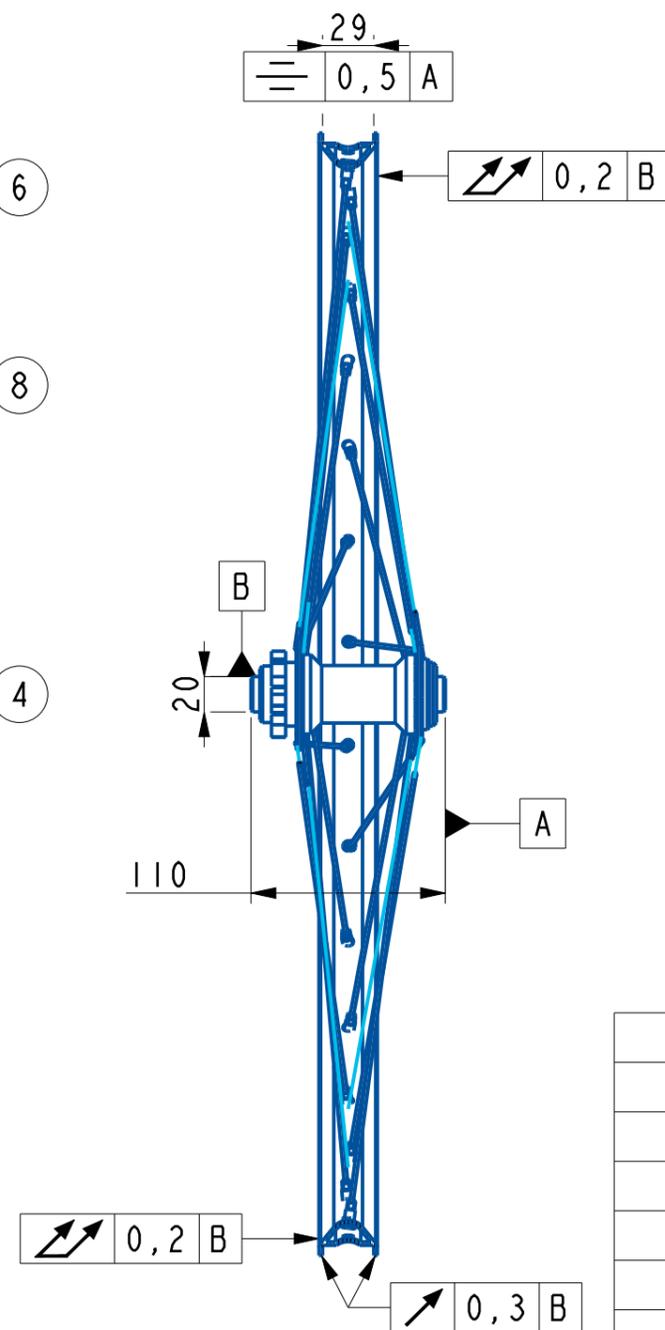
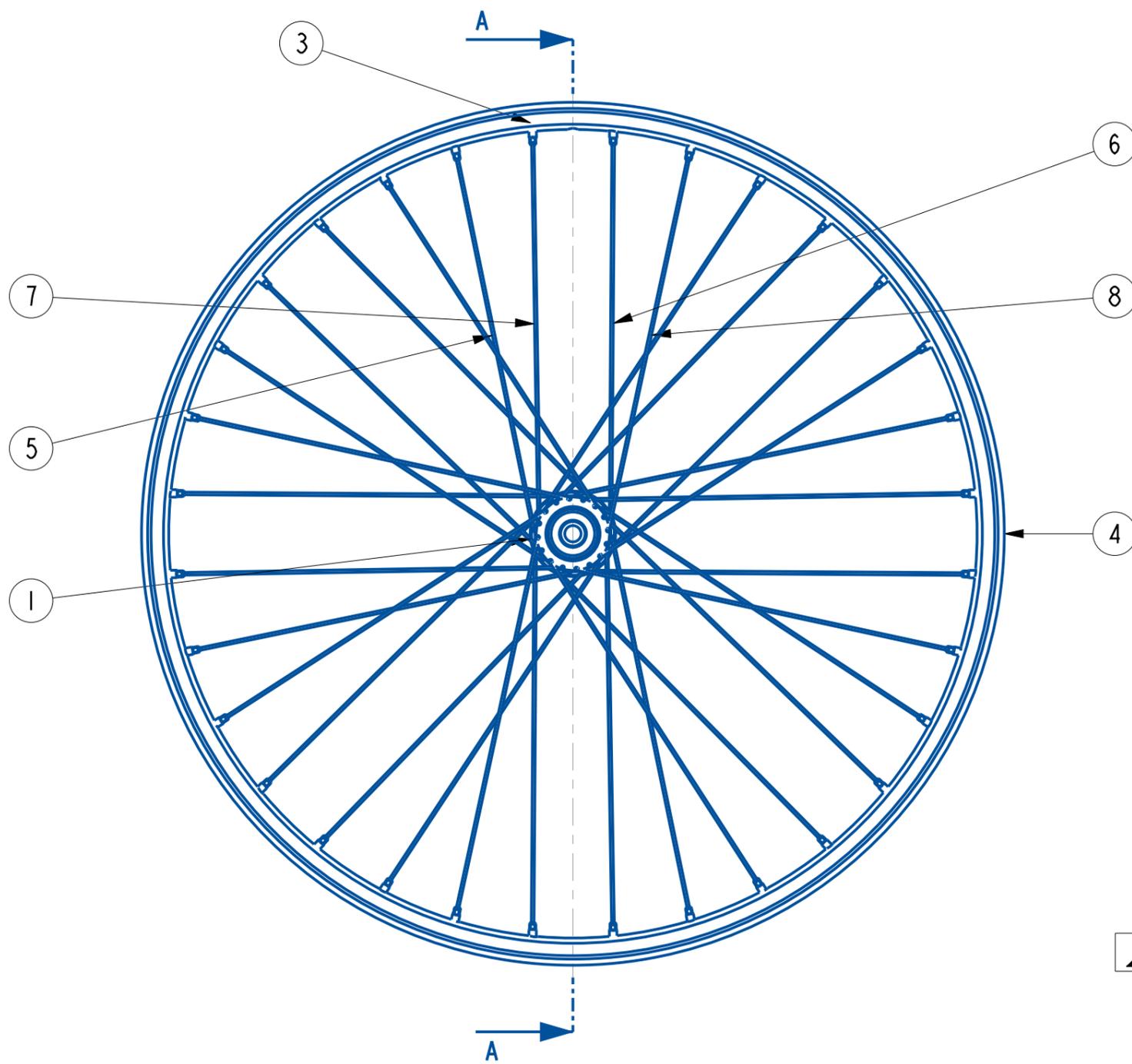
La normativa aplicada en este trabajo final de grado ha sido la siguiente:

- **“ISO 4210-1 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 1: Términos y definiciones.”**
- **“ISO 4210-2:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y de carreras.”**
- **“ISO 4210-3:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 3: Método de ensayo comunes.”**
- **“ASTM 4023-13: 2018.”** *Usado previsto para ruedas de DT Swiss.*
- **“ISO 2678 – mk”** *Tolerancias generales.*

5.3 PLANOS.

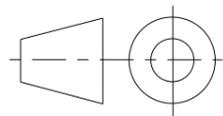
Para ello he realizado los siguientes documentos técnicos:

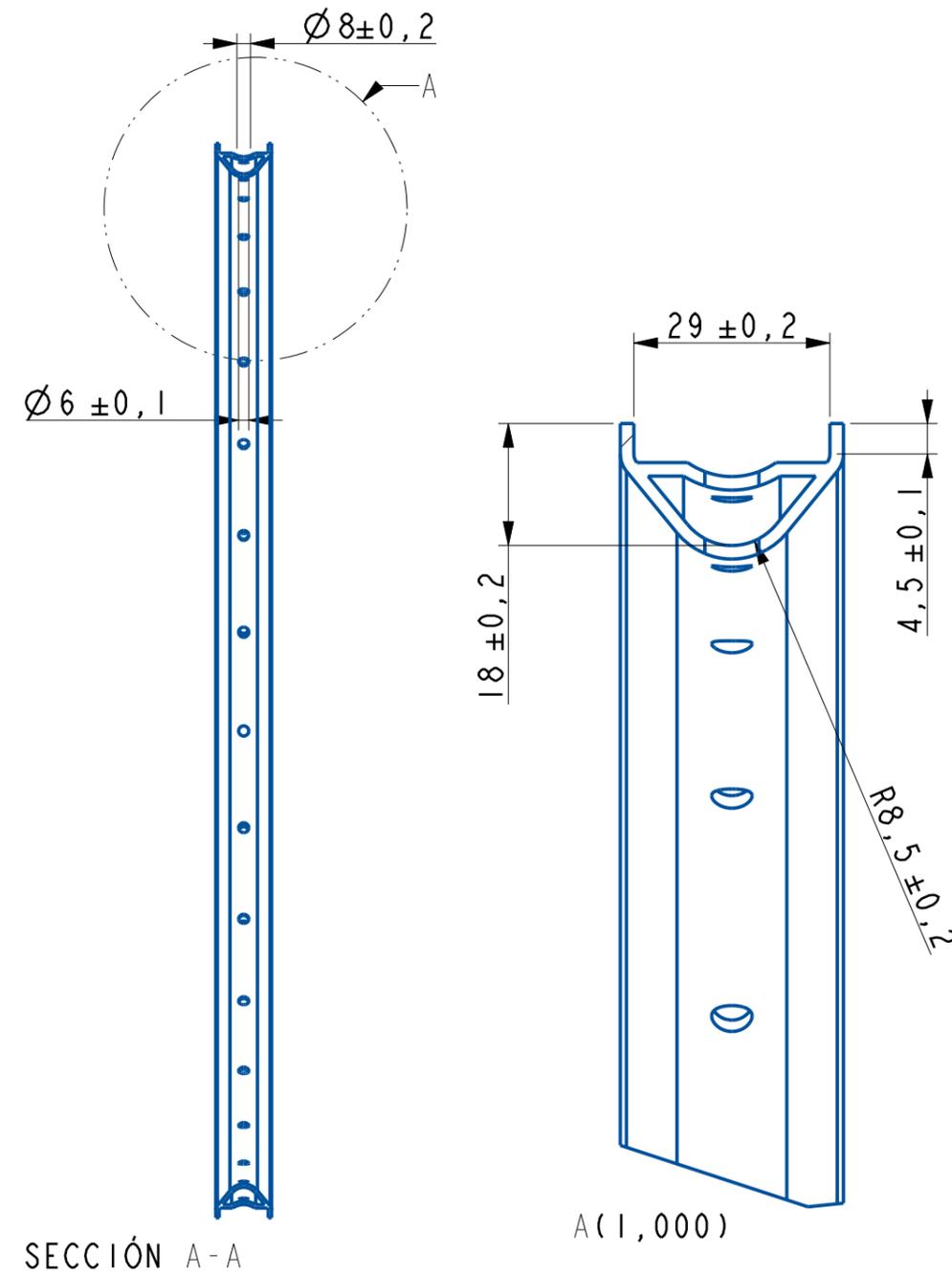
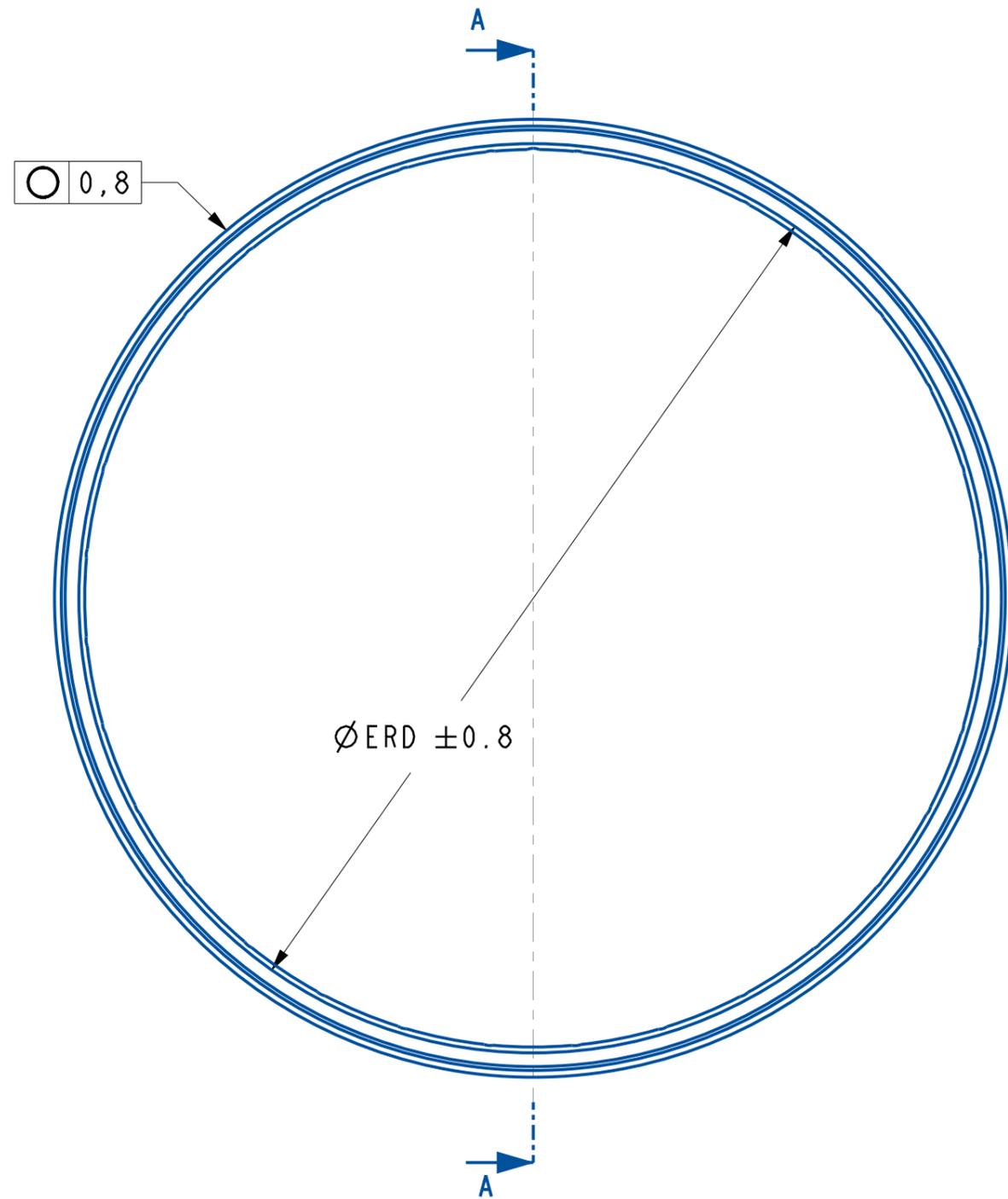
- Plano del conjunto de la rueda; **"PLANO_CONJUNTO_RUEDA"**
- Plano individual de la llanta; **"PLANO_LLANTA_GENÉRICO"**
- Plano individual de la cabecilla; **"PLANO_CABECILLA_GENÉRICO"**.
- Plano individual del radio; **"PLANO_RADIO_GENÉRICO"**.
- Plano individual del buje; **"PLANO_BUJE_GENÉRICO"**.
- Plano del conjunto de la rueda;
- Plano del conjunto adjuntado la tabla de familia;
"PLANO_CONJUNTO_GENÉRICO".
- Plano del conjunto de cada instancia adjuntado la lista de materiales;
 - Instancia nº1; **"1_FRONT_WHEEL_29_S32_350"**.
 - Instancia nº2; **"2_FRONT_WHEEL_29_S32_240"**.
 - Instancia nº3; **"3_FRONT_WHEEL_29_S28_350"**.
 - Instancia nº4; **"4_FRONT_WHEEL_29_S28_240"**.
 - Instancia nº5; **"5_FRONT_WHEEL_27_5_S32_350"**.
 - Instancia nº6; **"6_FRONT_WHEEL_27_5_S32_240"**.
 - Instancia nº7; **"7_FRONT_WHEEL_27_5_S28_350"**.
 - Instancia nº8; **"8_FRONT_WHEEL_27_5_S28_240"**.



SECCIÓN A-A

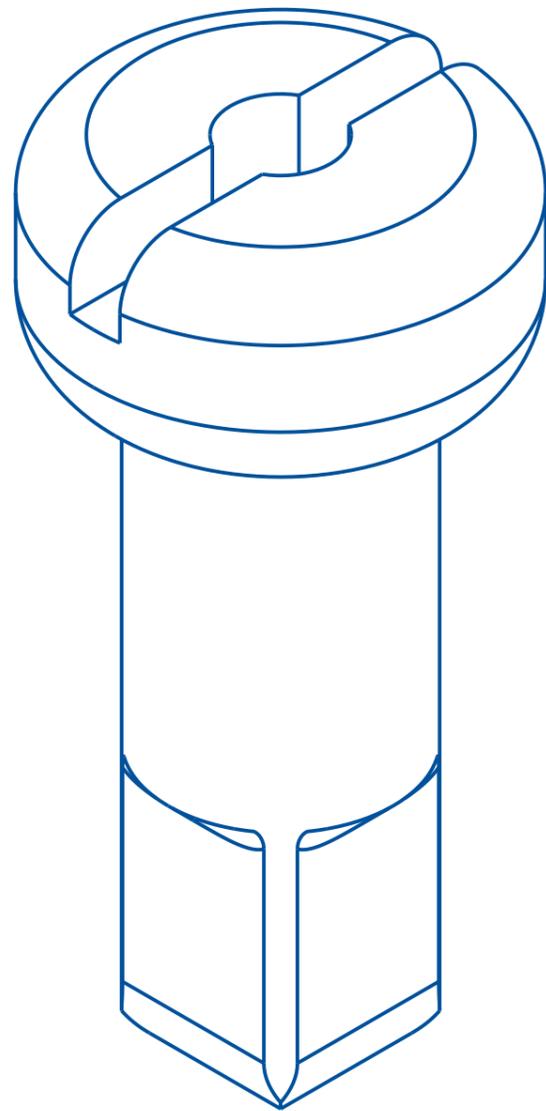
NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC	1
2	MOTION_SKEL_I_6	1
3	NIPPLE_GENERIC	32
4	RIM_GENERIC	1
5	SPOKE_LEFT_1	8
6	SPOKE_LEFT_2	8
7	SPOKE_RIGHT_1	8
8	SPOKE_RIGHT_2	8

MATERIAL:		FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:		NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <u>PLANO_CONJUNTO_RUEDA</u>
		GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
		CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
		TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG
		ESCALA: 1:4 HOJA: 1 de 14 A3

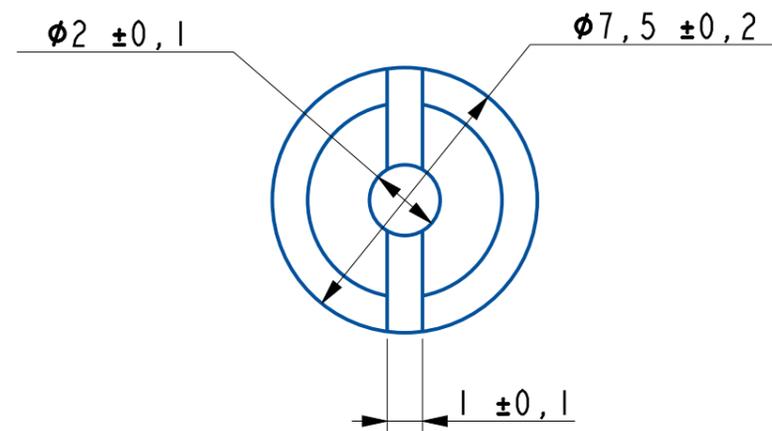
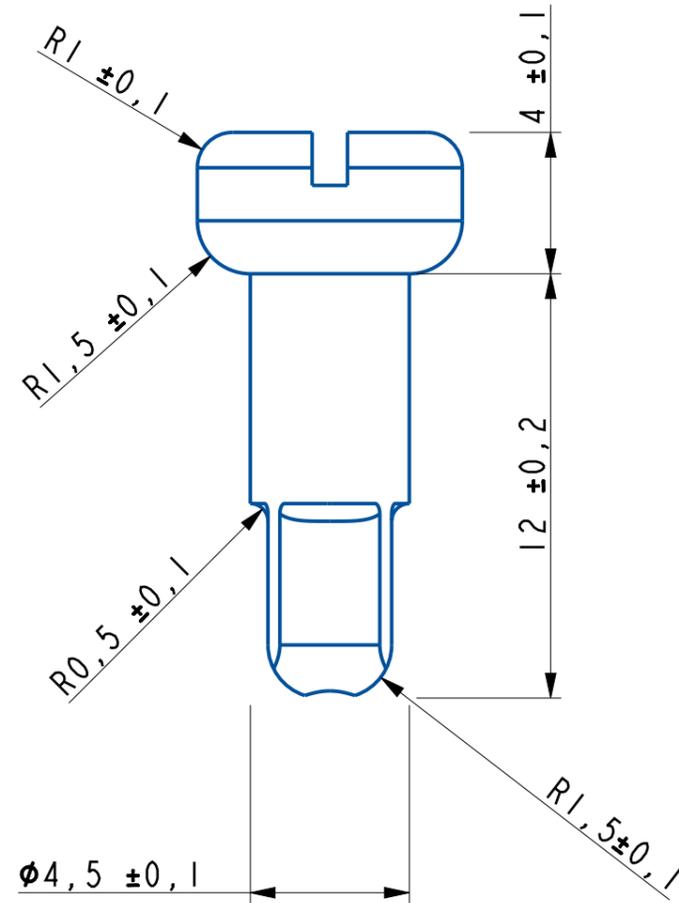


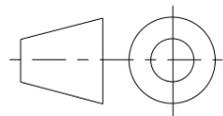
INSTACIAS	ERD	NUM_SPOKES
FRONT_WHEEL_29_S32_350	607	32
FRONT_WHEEL_29_S32_240	607	32
FRONT_WHEEL_29_S28_350	607	28
FRONT_WHEEL_29_S28_240	607	28
FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	569	32
FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	569	32
FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	569	28
FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	569	28

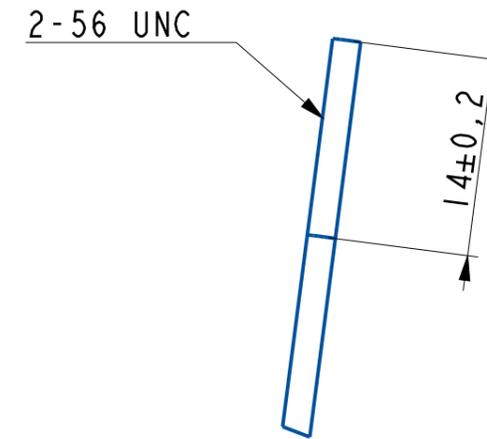
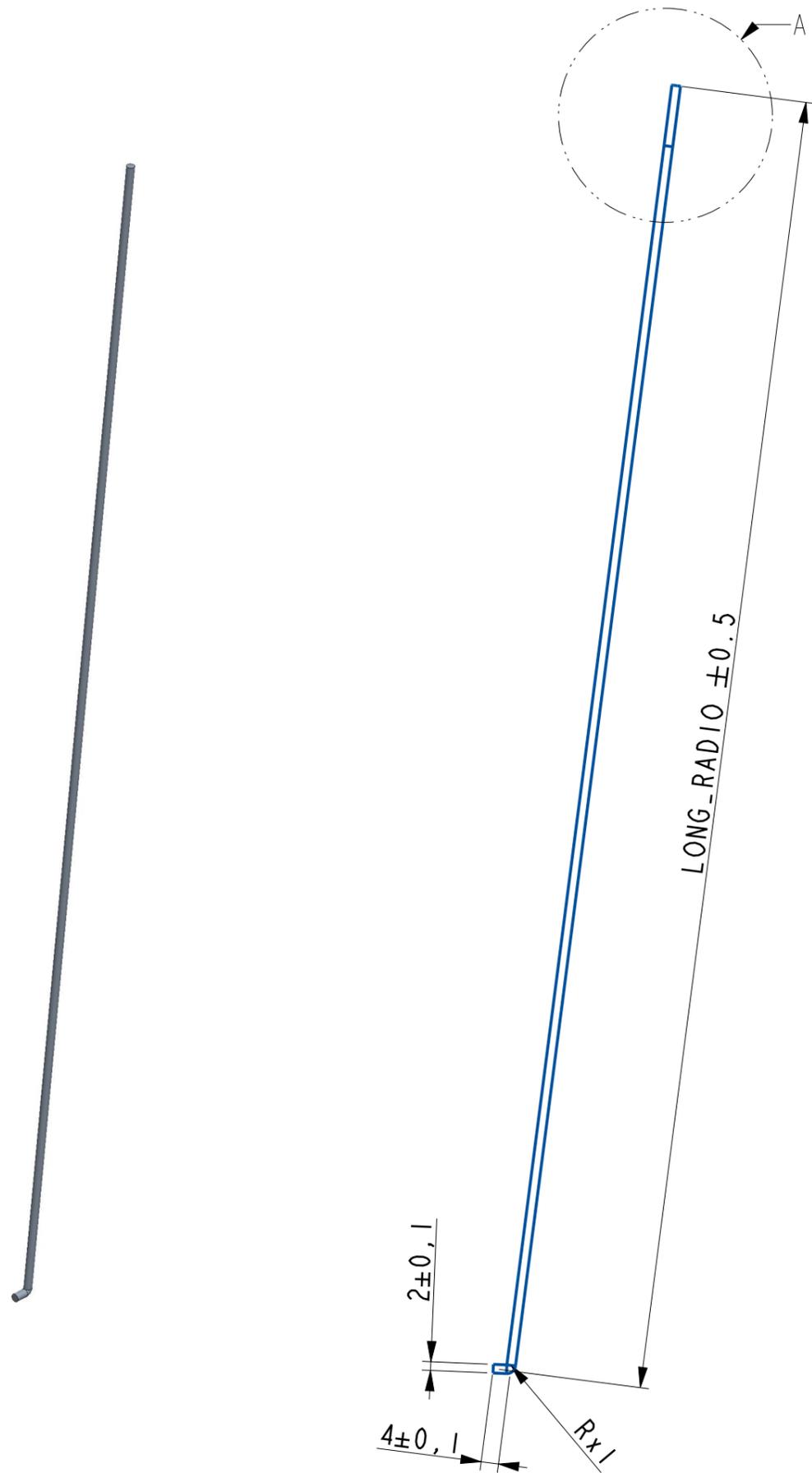
MATERIAL: ALUMINIO 6061	FECHA: JULIO - 2021	
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS: ISO 2768 - MK	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: PLANO.LLANTA.GENÉRICO	
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA	
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	
	TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	
ESCALA: 1:4	HOJA: 2 de 14	A3



ESCALA 10,000



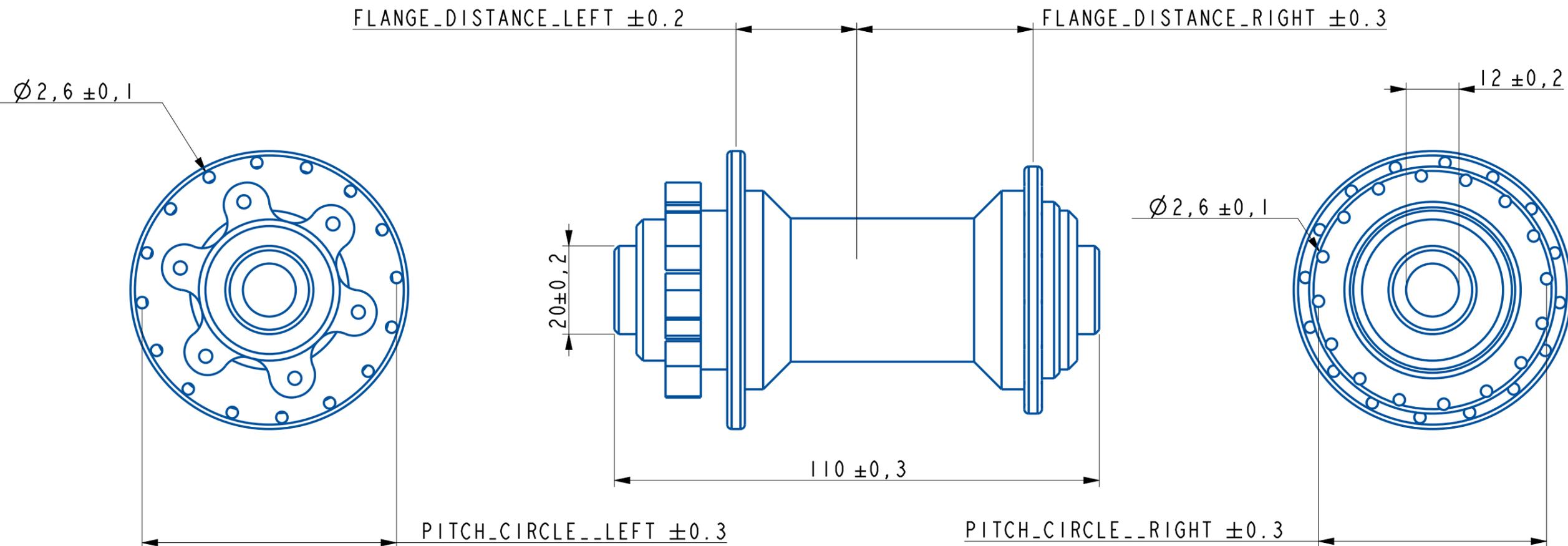
MATERIAL:	ALUMINIO	FECHA:	JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE:	CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK		TÍTULO:	<u>PLANO.CABECILLA.GENÉRICO</u>
		GRADO:	INGENIERÍA MECÁNICA
		CENTRO:	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
		TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	
	ESCALA: 5:1	HOJA: 3 de 14	A3



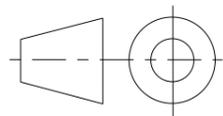
A(2,000)

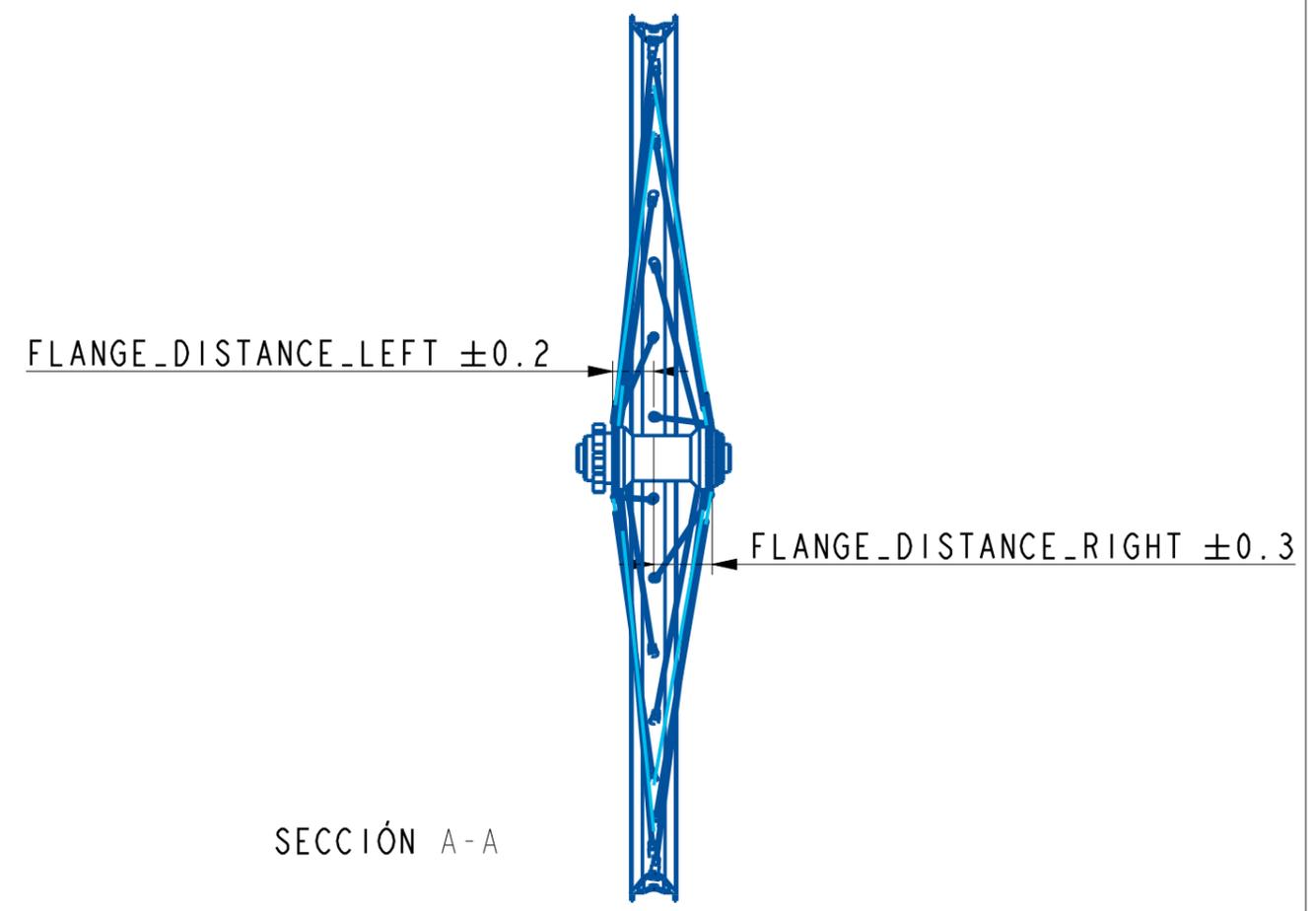
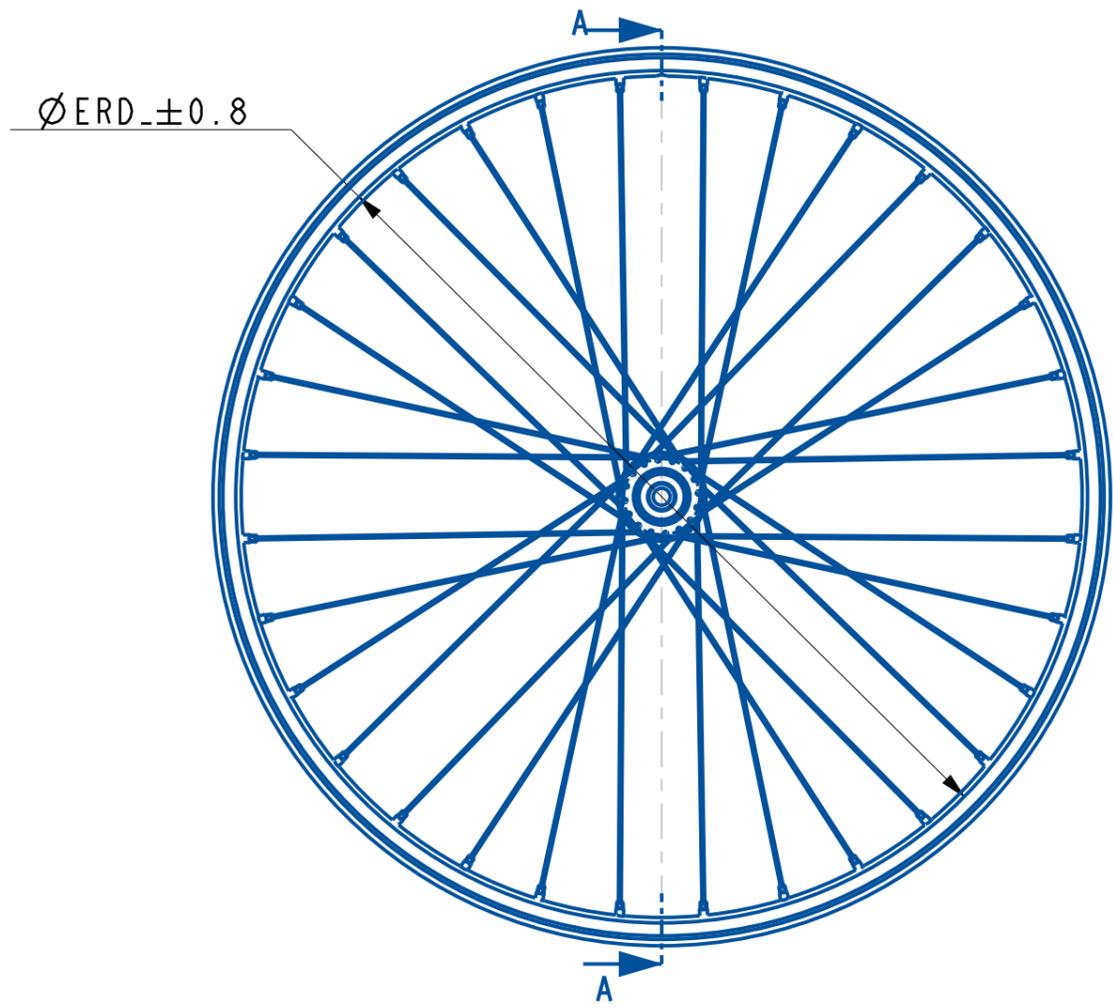
INSTACIA NOMBRE	LONG. RADIOS	
	IZQUIERDO	DERECHO
1_FRONT_WHEEL_29_S32_350	294.903	297.235
2_FRONT_WHEEL_29_S32_240	297.002	298.573
3_FRONT_WHEEL_29_S28_350	299.645	301.457
4_FRONT_WHEEL_29_S28_240	300.614	302.165
5_FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	276.075	278.487
6_FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	278.138	279.815
7_FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	280.821	282.708
8_FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	281.752	283.407

MATERIAL: ACERO	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS: ISO 2768 - MK	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <u>PLANO_RADIO_GENÉRICO</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	
ESCALA: 3:4	HOJA: 4 de 14
A3	



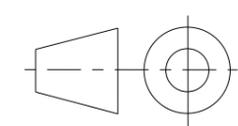
INSTACIAS	FLANGE_DISTANCE_RIGHT	FLANGE_DISTANCE_LEFT	PITCH_CIRCLE_RIGHT	PITCH_CIRCLE_LEFT
FRONT_WHEEL_29_S32_350	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_29_S32_240	41.2	27.6	44.4	44.4
FRONT_WHEEL_29_S28_350	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_29_S28_240	41.2	27.6	44.4	44.4
FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	41.2	27.6	44.4	44.4
FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	41.2	27.6	44.4	44.4

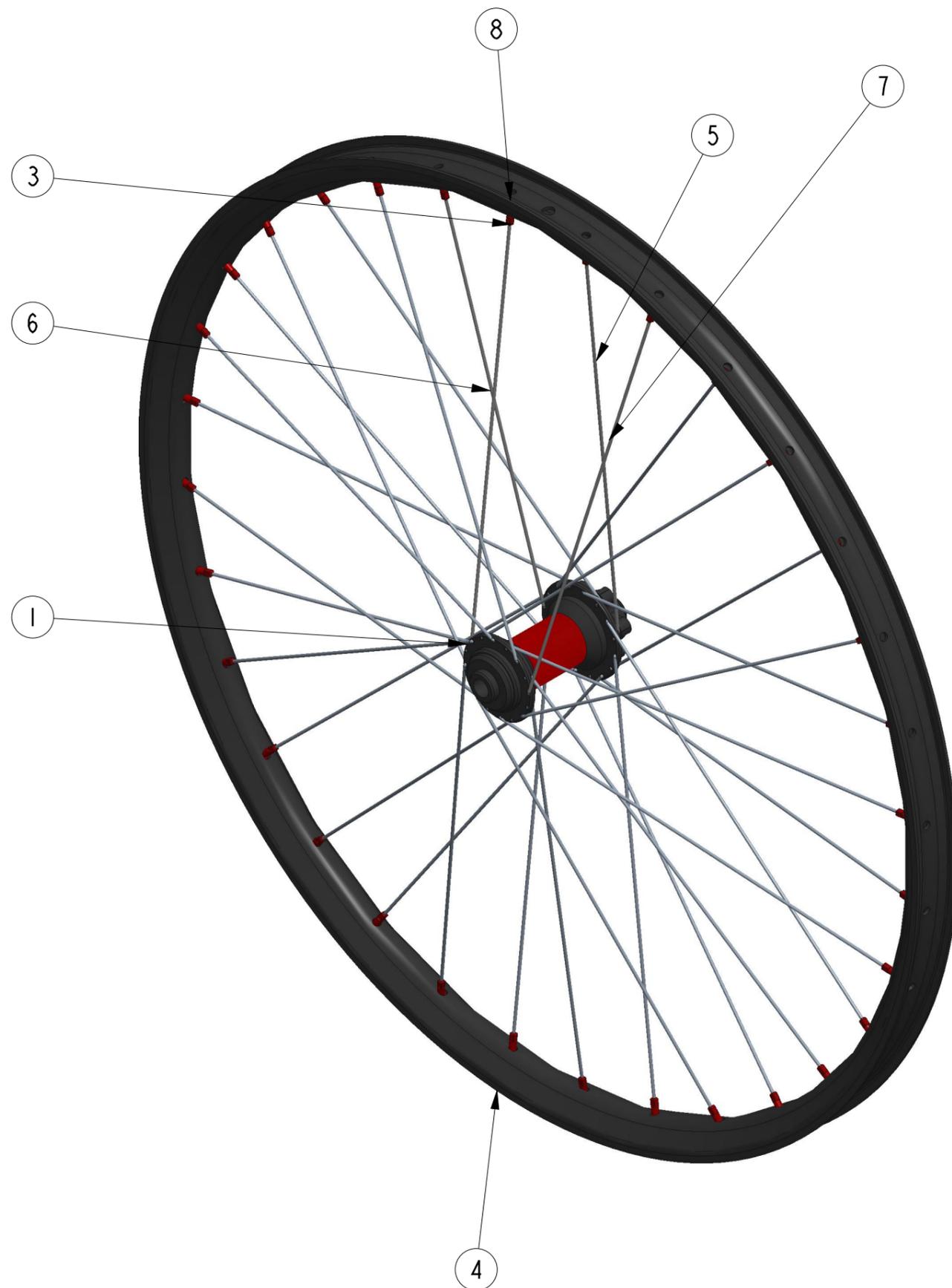
MATERIAL:	ALUMINIO 6061	FECHA:	JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	ISO 2768 - MK	NOMBRE:	CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TÍTULO:	<u>PLANO_BUJE_GENÉRICO</u>
		GRADO:	INGENIERÍA MECÁNICA
		CENTRO:	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
		TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	
ESCALA:	1	HOJA:	5 de 14
		A3	



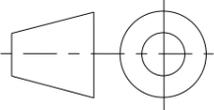
SECCIÓN A-A

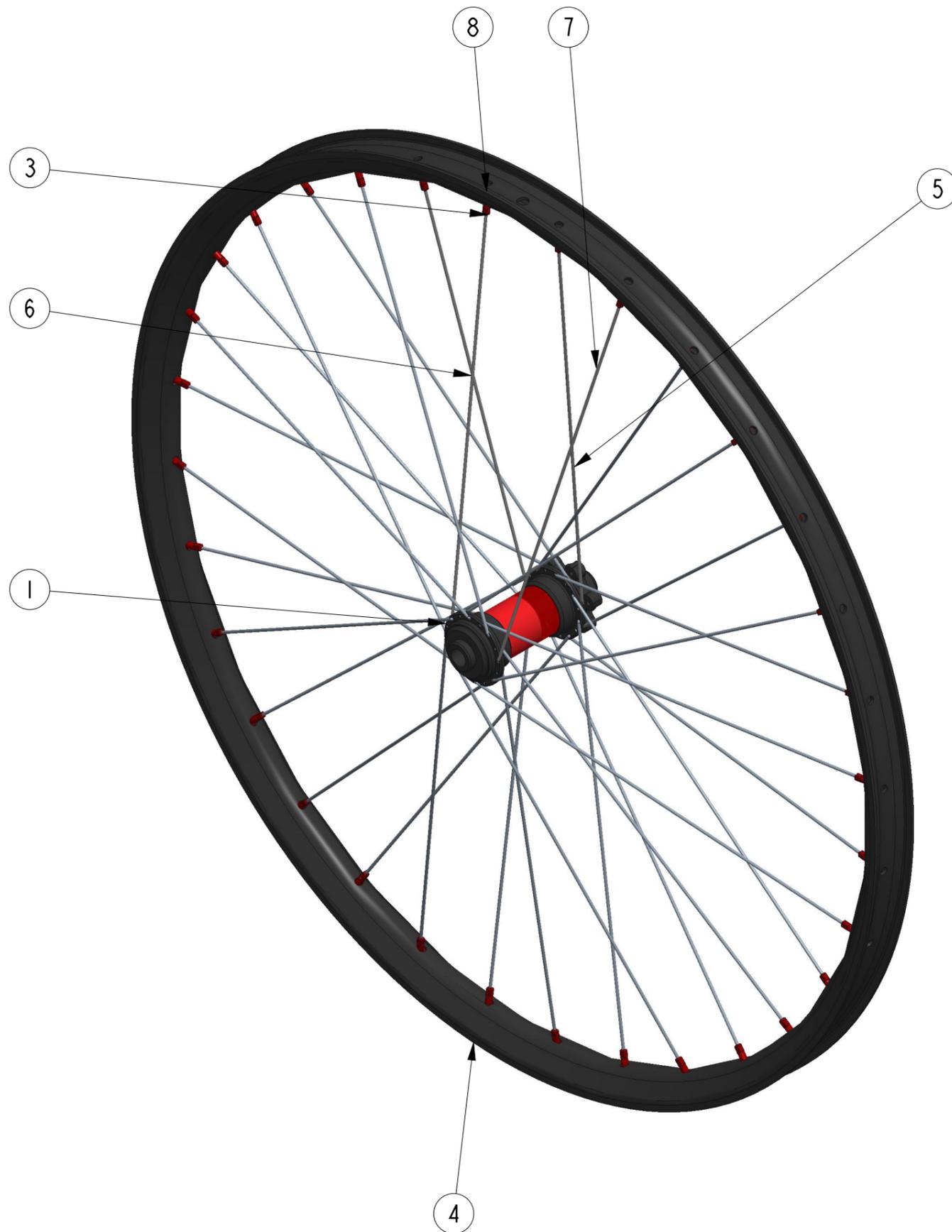
INSTACIAS	ERD	NUM_SPOKES	NUM_CROSS	FLANGE_DISTANCE_RIGHT	FLANGE_DISTANCE_LEFT	PITCH_CIRCLE_RIGHT	PITCH_CIRCLE_LEFT
FRONT_WHEEL_29_S32_350	607	32	3	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_29_S32_240	607	32	3	41.2	27.6	44.4	44.4
FRONT_WHEEL_29_S28_350	607	28	3	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_29_S28_240	607	28	3	41.2	27.6	44.4	44.4
FRONT_WHEEL_27_5_S32_350	569	32	3	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_27_5_S32_240	569	32	3	41.2	27.6	44.4	44.4
FRONT_WHEEL_27_5_S28_350	569	28	3	40	27.4	52	58
FRONT_WHEEL_27_5_S28_240	569	28	3	41.2	27.6	44.4	44.4

MATERIAL:		FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:		NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <u>PLANO_CONJUNTO_GENÉRICO</u>
		GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
		CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
		ESCALA: 1:20 HOJA: 6 de 14 A3

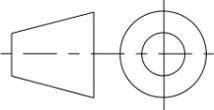


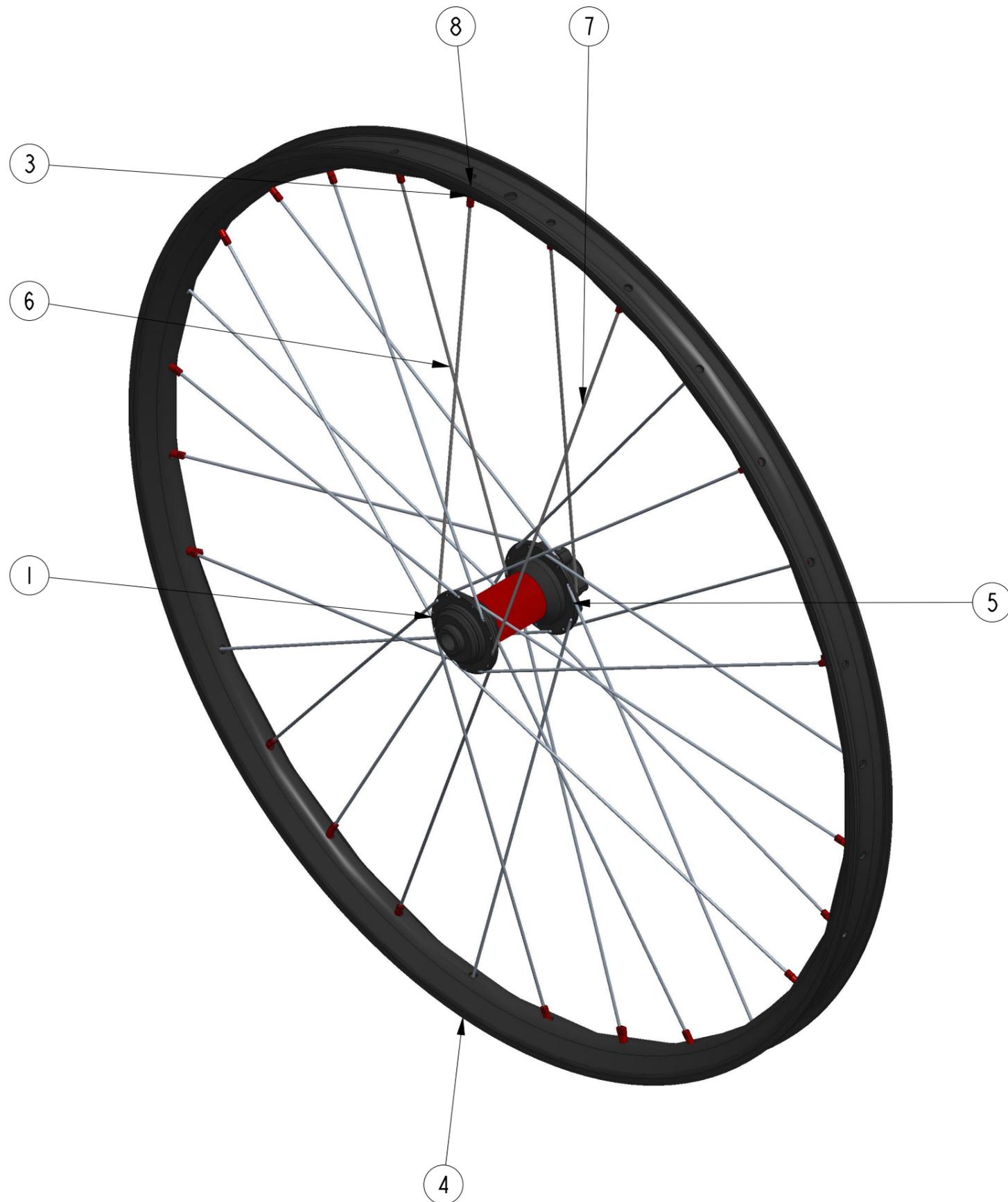
NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S32_350	1
2	MOTION_SKEL_I_7_	1
3	NIPPLE_GENERIC_I	32
4	RIM_GENERIC_29	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_29_S32_350	8
6	SPOKE_LEFT_SH_29_S32_350	8
7	SPOKE_RIGHT_SAH_29_S32_350	8
8	SPOKE_RIGHT_SH_29_S32_350	8

MATERIAL:	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	TÍTULO: <u>I_FRONT_WHEEL_29_S32_350</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	ESCALA: 1:3
HOJA: 7 de 14	A3

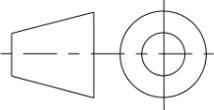


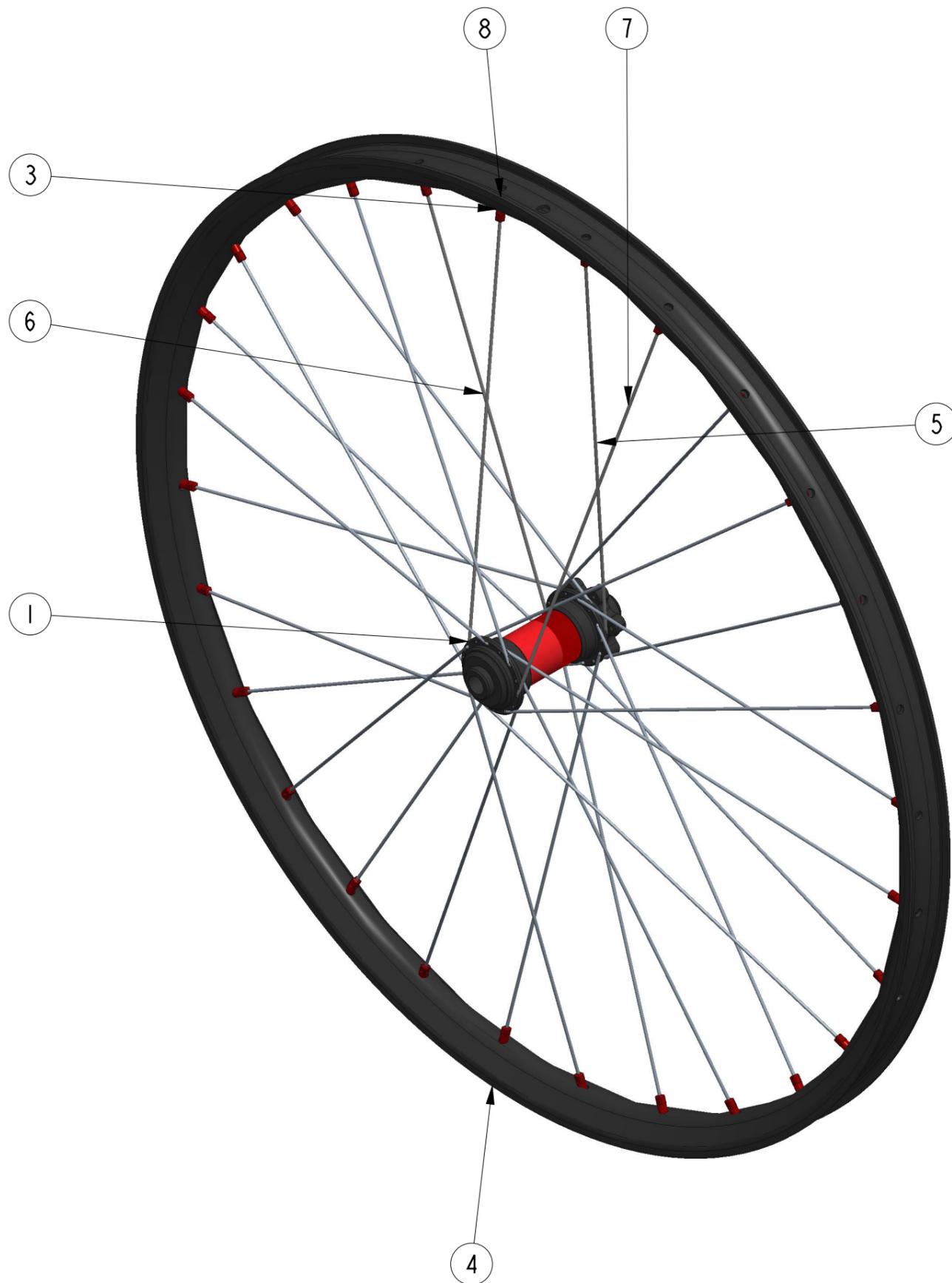
NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S32_240	1
2	MOTION_SKEL_I_7_2	1
3	NIPPLE_GENERIC_2	32
4	RIM_GENERIC_29_S32	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_29_S32_240	8
6	SPOKE_LEFT_SH_29_S32_240	8
7	SPOKE_RIGHT_SAH_29_S32_240	8
8	SPOKE_RIGHT_SH_29_S32_240	8

MATERIAL:	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	TÍTULO: <u>2_FRONT_WHEEL_29_S32_240</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	ESCALA: 1:3
HOJA: 8 de 14	A3

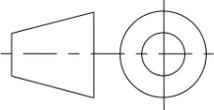


NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S28_350	1
2	MOTION_SKEL_I_7_3	1
3	NIPPLE_GENERIC_3	28
4	RIM_GENERIC_29_S28	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_29_S28_350	7
6	SPOKE_LEFT_SH_29_S28_350	7
7	SPOKE_RIGHT_SAH_29_S28_350	7
8	SPOKE_RIGHT_SH_29_S28_350	7

MATERIAL:	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	TÍTULO: <u>3_FRONT_WHEEL_29_S28_350</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	
ESCALA: 1:3	HOJA: 9 de 14
A3	

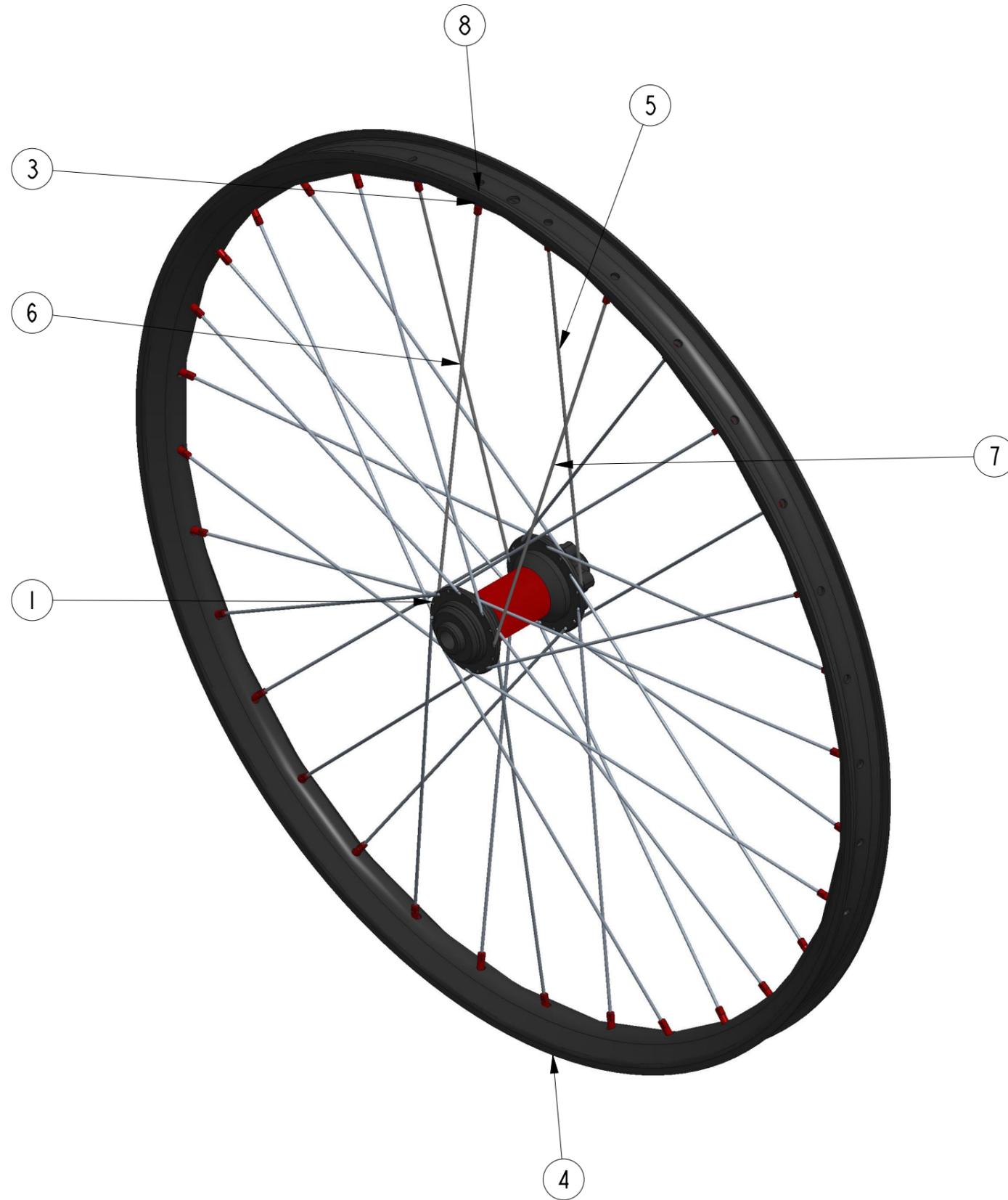


NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S28_240	1
2	MOTION_SKEL_I_7_4	1
3	NIPPLE_GENERIC_4	28
4	RIM_GENERIC_29_S28	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_29_S28_240	7
6	SPOKE_LEFT_SH_29_S28_240	7
7	SPOKE_RIGHT_SAH_29_S28_240	7
8	SPOKE_RIGHT_SH_29_S28_240	7

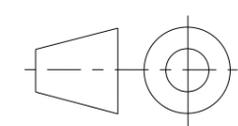
MATERIAL:	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	TÍTULO: <u>4_FRONT_WHEEL_29_S28_240</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	
ESCALA: 1:3	HOJA: 10 de 14
A3	

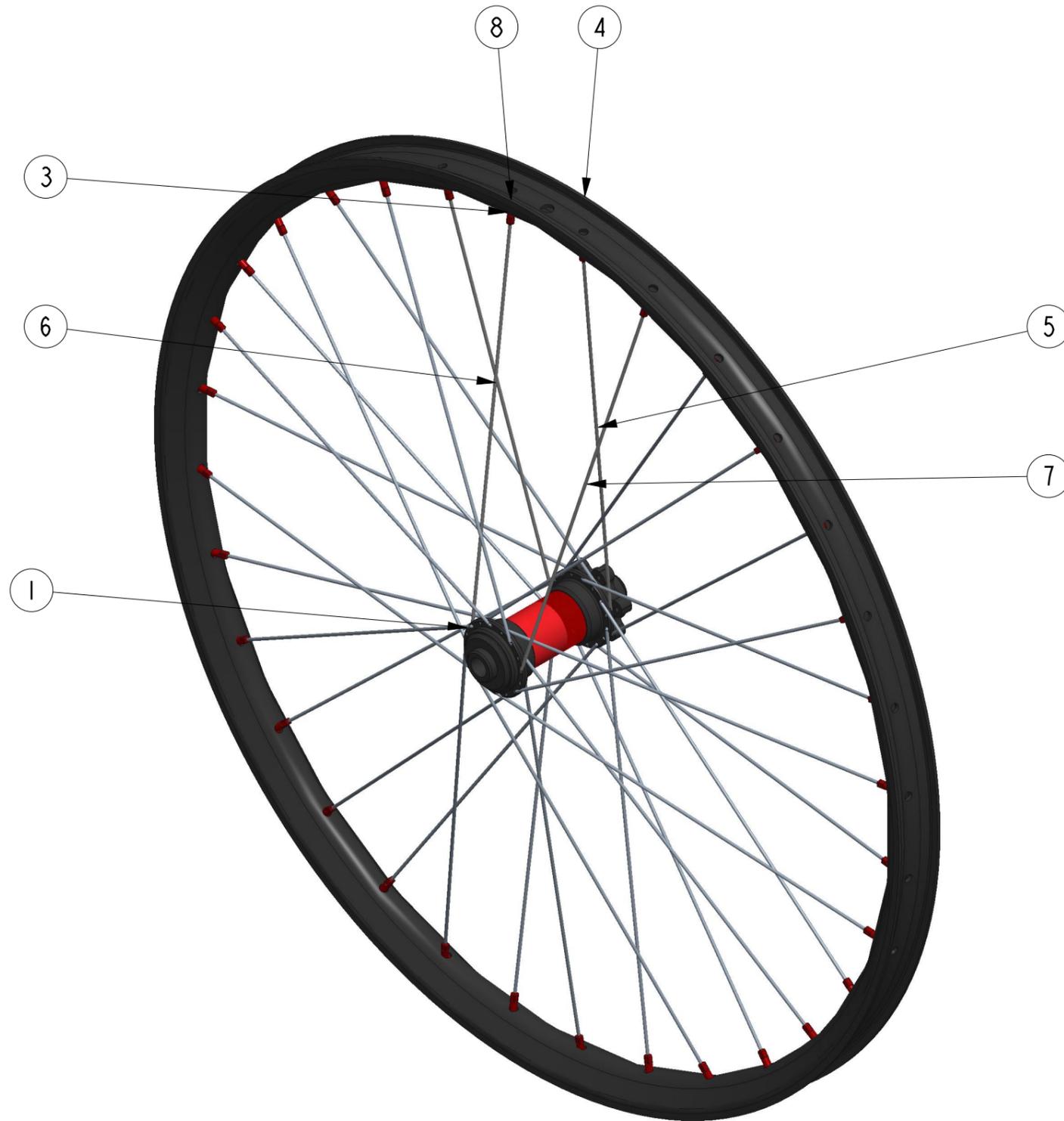


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

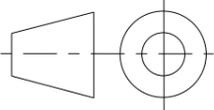


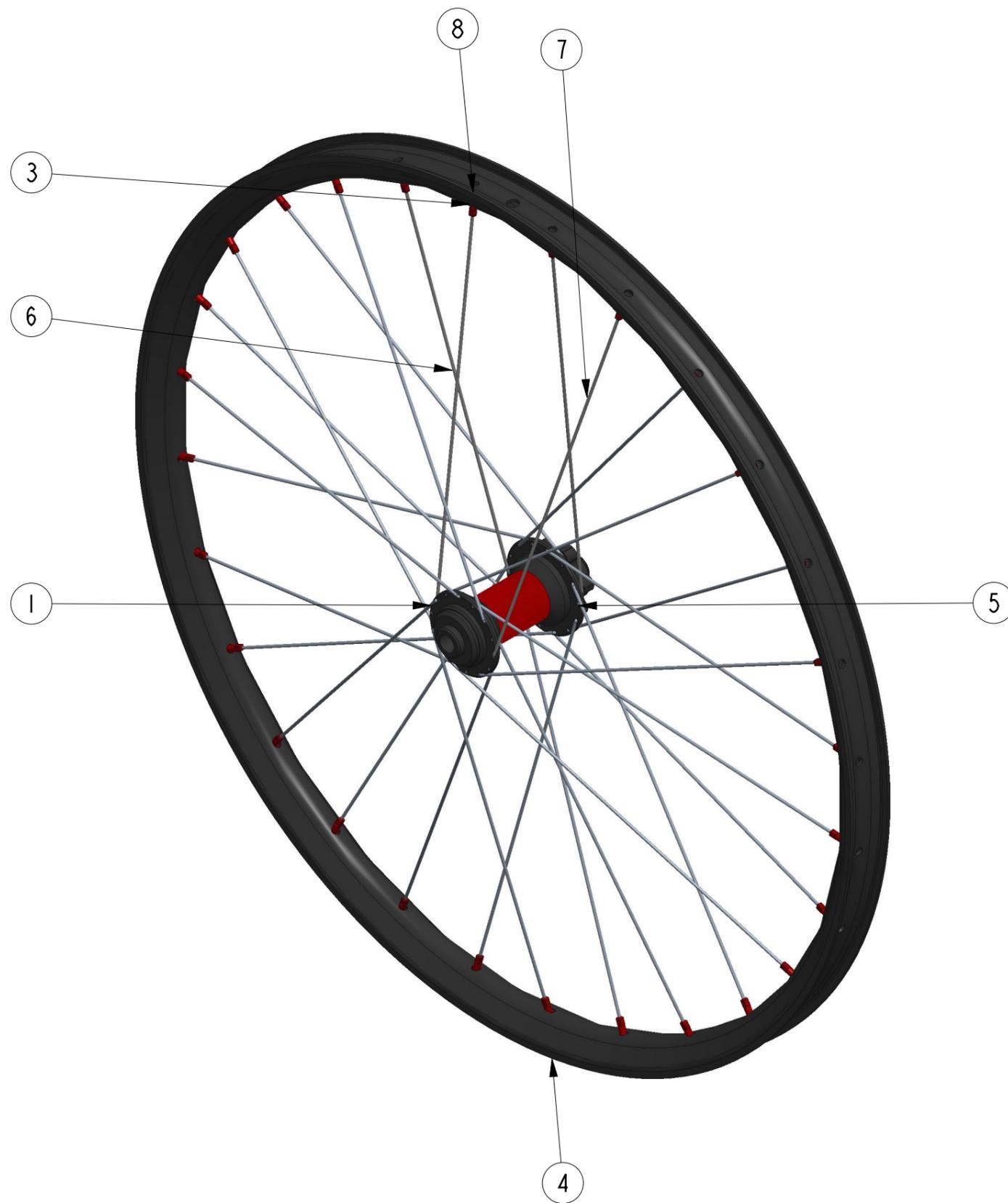
NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S32_350_	1
2	MOTION_SKEL_1_7_5	1
3	NIPPLE_GENERIC_5	32
4	RIM_GENERIC_27_5_3S2	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_27_5_S32_350_	8
6	SPOKE_LEFT_SH_27_5_S32_350_	8
7	SPOKE_RIGHT_SAH_27_5_S32_350_	8
8	SPOKE_RIGHT_SH_27_5_S32_350_	8

MATERIAL:		FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK		TÍTULO: <u>5_FRONT_WHEEL_27_5_S32_350</u>
		GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
		CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
		TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG
	ESCALA: 1:3	HOJA: 11 de 14
		A3

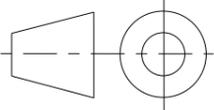


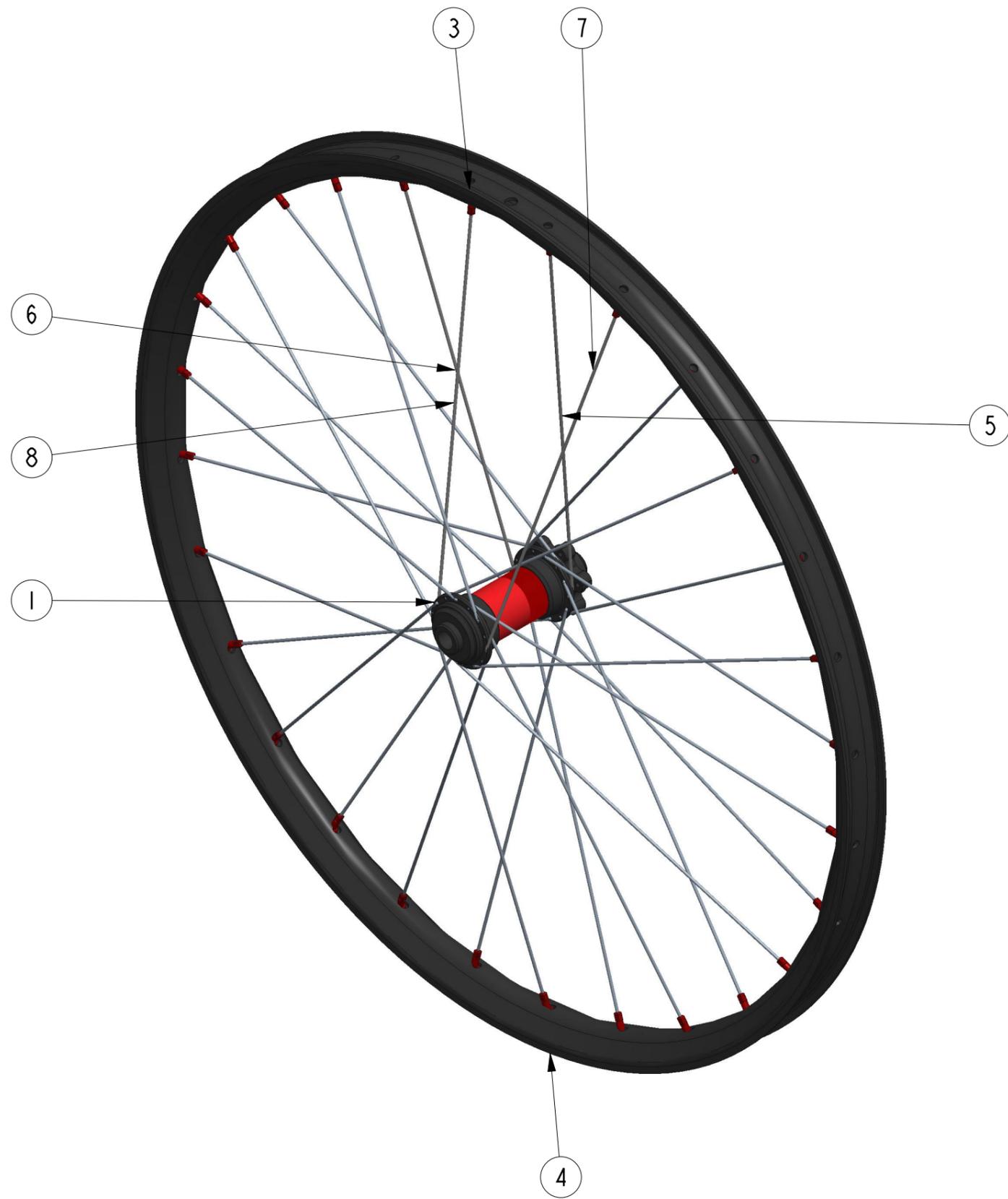
NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S32_240_	1
2	MOTION_SKEL_1_7_6	1
3	NIPPLE_GENERIC_6	32
4	RIM_GENERIC_27_5_S32_	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_27_5_S32_240_	8
6	SPOKE_LEFT_SH_27_5_S32_240_	8
7	SPOKE_RIGHT_SAH_27_5_S32_240_	8
8	SPOKE_RIGHT_SH_27_5_S32_240_	8

MATERIAL:	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK	TÍTULO: <u>6_FRONT_WHEEL_27_5_S32_240</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG	ESCALA: 1:3 HOJA: 12 de 14 A3

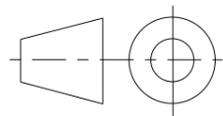


NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S28_350_	1
2	MOTION_SKEL_1_7_7	1
3	NIPPLE_GENERIC_7	28
4	RIM_GENERIC_27_5_S28_	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_27_5_S28_350_	7
6	SPOKE_LEFT_SH_27_5_S28_350_	7
7	SPOKE_RIGHT_SAH_27_5_S28_350_	7
8	SPOKE_RIGHT_SH_27_5_S28_350_	7

MATERIAL:	FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS: ISO 2768 - MK	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
	TÍTULO: <u>7.FRONT.WHEEL.27.5.S28.350</u>
	GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
	TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG
ESCALA: 1:3	HOJA: 113 de 14
	A3



NUM	COMPONENTES	Und.
1	HUB_GENERIC_S28_240_	1
2	MOTION_SKEL_1_7_8	1
3	NIPPLE_GENERIC_8	28
4	RIM_GENERIC_27_5_S28_8	1
5	SPOKE_LEFT_SAH_27_5_S28_240	7
6	SPOKE_LEFT_SH_27_5_S28_240	7
7	SPOKE_RIGHT_SAH_27_5_S28_240	7
8	SPOKE_RIGHT_SH_27_5_S28_240	7

MATERIAL:		FECHA: JULIO - 2021
TOLERANCIAS NO MOSTRADAS:	 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	NOMBRE: CARLOS FERRÁNDIZ ROMERO
ISO 2768 - MK		TÍTULO: <u>8_FRONT_WHEEL_27_5_S28_240</u>
		GRADO: INGENIERÍA MECÁNICA
		CENTRO: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
		TRABAJO FINAL DE GRADO - TFG
	ESCALA: 1:3	HOJA: 14 de 14
		A3