

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y motivación.....	2
1.2. Descripción del problema.....	3
1.3. Solución propuesta	3
1.4. Objetivo general	4
1.5. Objetivos específicos.....	4
1.6. Alcances del proyecto.....	4
1.7. Metodologías y herramientas utilizadas	5
1.8. Resultados esperados.....	5
1.9. Organización del documento	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Biomecánica.....	8
2.1.1. Ciclo del movimiento	8
2.1.2. Consideraciones de carga dinámica.....	10
2.1.3. Análisis cinemático de la marcha humana en vista de perfil.....	11
2.1.4. Amputación transtibial.	14
2.2. Materiales compuestos:.....	14
2.2.1. Materiales compuestos laminares.....	15
2.2.2. Resinas epóxicas reforzadas con fibra de vidrio.	16
2.2.3. Prótesis y aplicación en deportes profesionales	16
2.2.4. Prótesis a nivel comercial.....	18
2.2.5. Criterios de falla	18
2.2.6. Teoría del esfuerzo máximo	18
2.2.7. Teoría de la deformación máxima.....	19
2.2.8. Criterio de falla Tsai-Hill	19
2.2.9. Criterio de falla Tsai-Wu.....	20
2.3. Métodos elementos finitos:	20
2.3.1. ANSYS	21
2.4. Infusión al vacío:	22
2.4.1. Materiales en el proceso de Infusión al vacío.....	23
2.4.2. Descripción básica del proceso	24

CAPÍTULO 3: DISEÑO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.....	27
3.1. Metodología de trabajo.....	28
3.2. ACP (Pre)	28
3.2.1. Definición del material	28
3.2.2. Definición de la geometría	30
3.2.3. Cálculo de pernos	30
3.2.4. Mallado.....	33
3.2.5. ACP Pre	34
3.3. Análisis estructural estático	34
3.4. ACP Post	36
CAPÍTULO 4: RESULTADOS OBTENIDOS.....	27
4.1. Procedimientos realizados	39
4.2. Espesor de la geometría.....	39
4.3. Aplicación de cargas.....	42
4.4. Características de los modelos.....	44
CAPÍTULO 5: FABRICACIÓN DE LA PRÓTESIS	48
5.1. Metodología de trabajo.....	45
5.2. Preparación del molde	45
5.3. Fabricación	46
5.4. Control de calidad.....	47
5.5. Costos asociados.....	48
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	49
6.1. Conclusiones.....	50
Referencias	52
ANEXOS	54

Índice de Figuras

Figura 1: Representación de los principales componentes de la marcha [2].	8
Figura 2: Ciclo del movimiento [3]	9
Figura 3: Estructura Temporal del Ciclo de la marcha humana. Dbs,- Doble duración de soporte. TT.- Toque de talón. TP.- Toque de punta [2].	9
Figura 4 Dimensiones en metros de una pista de atletismo [5].	11
Figura 5: Estudio cinemático del tobillo en el intervalo I de la marcha [2].	12
Figura 6: Estudio cinemático de la rodilla en el intervalo I de la marcha [2]	12
Figura 7: Estudio cinemático del tobillo en el intervalo II de la marcha [2]	13
Figura 8: Estudio cinemático de la rodilla en el intervalo II de la marcha [2]	13
Figura 9: Estudio cinemático de las articulaciones en el intervalo III de la marcha [2]	13
Figura 10: Zona de amputación del miembro inferior [3].	14
Figura 11: Ejemplo de los componentes de los materiales compuestos y su interacción [6]	15
Figura 12: Representación de un material compuesto laminado	15
Figura 13: Ejemplos de prótesis de fibra de carbón usado para correr [7].	16
Figura 14: Ejemplos de diferentes diseños de pie deportivos: (a) Cheetah, (b) Flex-Run, (c) Flex-Sprint, (d) C-Sprint, (e) Sprinter [7].	17
Figura 2.15: Condiciones de borde de un cuerpo [12]	21
Figura 16: Ejemplo de pieza (disco de freno) analizado en ANSYS por elementos finitos [13].	22
Figura 17: Malla de distribución para resina [14].	22
Figura 18: Esquema representativo del proceso de infusión al vacío [15].	23
Figura 19: Esquema básico del proceso de infusión al vacío y sus componentes [15]	25
Figura 20: Mallado del modelo con refinamiento en orificios y tamaño de elemento de 1mm ² (Fuente: propia).	33
Figura 21: Apilamiento normal a la superficie y orientación angular de las fibras (Fuente: propia).	34
Figura 22: Condición de borde (Fuente: propia).	35
Figura 23: Carga aplicada en la base de la prótesis (Fuente: propia).	35
Figura 24: Desplazamientos en la estructura [mm] (Fuente: propia).	36
Figura 25: Demostración funcionamiento criterio de falla (Fuente: propia).	37
Figura 26: Molde con diferentes espesores (Fuente: propia).	39
Figura 27: Resultados obtenidos para el modelo EP/CarbonF (Fuente: propia).	41
Figura 28: Resultados obtenidos para el modelo EP/GlassF (Fuente: propia).	41
Figura 29: Molde a utilizar en la infusión (Fuente: propia).	46
Figura 30: Molde preparado para el proceso de infusión. A) Avance de la resina. B) Molde sellado al vacío. (Fuente: propia).	47

Índice de Tablas

Tabla 1 Eventos y cargas del ciclo de marcha para un paciente de 90 kg de peso [4].	10
Tabla 3.2: Propiedades de los materiales seleccionados (Fuente: propia).	29
Tabla 3: Resultados obtenidos para el modelo usando fibra de carbono (Fuente: propia)...	40
Tabla 4: Resultados obtenidos para el modelo usando fibra de vidrio (Fuente: propia).	40
Tabla 5: Resultados de ensayo de cargas para los modelos de fibra de carbono y fibra de vidrio (Fuente: propia).....	42
Tabla 6: Ensayo de cargas para fibra de vidrio utilizando los mismos espesores que el modelo final para fibra de carbono (Fuente: propia).	43
Tabla 7: Ensayo de cargas a modelo en fibra de vidrio para determinar carga crítica de falla (Fuente: propia).	43
Tabla 8: Resumen de los modelos seleccionados (Fuente propia).	44
Tabla 9: Costos de fabricación de la prótesis (Fuente: propia).	48