

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes Generales	1
1.2	Motivación	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo General.....	2
1.3.2	Objetivos Específicos	3
1.3.3	Alcances.....	3
2	Metodología	3
2.1	Análisis de Antecedentes	3
2.2	Solicitud al Comité de Ética	3
2.3	Obtención de datos.....	4
2.4	Tratamiento de señales.....	5
2.5	Obtención de posiciones y aceleraciones.....	5
2.5.1	Calibración	5
2.5.2	Obtención de ángulos	6
2.5.3	Obtención de aceleración tangencial	7
2.6	Modelo matemático	7
2.6.1	Selección del paso	7
2.6.2	Aproximación por Series de Fourier	8
2.6.3	Obtención de las ecuaciones diferenciales ordinarias	8
3	Antecedentes específicos.....	11
3.1	Amputaciones Transfemorales	11
3.2	Marcha humana.....	13
3.2.1	Breve descripción de la marcha.....	13
3.2.2	Análisis cinemático de las articulaciones	15
3.2.3	Factores que afectan la marcha.....	18
3.3	Otros modelos utilizados para el estudio	19
3.3.1	Dinámica Lagrangiana.....	19
3.3.2	Gráficos de unión	20
3.3.3	Simuladores dinámicos.....	21
3.4	Acelerómetros	22
3.4.1	Tipos de acelerómetros	22
3.4.2	Error de Bias	23
3.5	Tratamiento de datos y señales	24
3.5.1	Minería de datos	24
3.5.2	Procesamiento digital de Señales	24
3.6	Serie de Fourier.....	27
3.7	Eureqa	28
3.8	Otros estudios relacionados con el área y aplicables al trabajo	29
3.8.1	Análisis de la marcha en la Enfermedad de Parkinson y su respuesta al tratamiento dopaminérgico.....	30
3.8.2	Evaluación de una técnica basada en un acelerómetro de bajo costo para estimar los parámetros espaciales en la marcha de pacientes con prótesis de miembros inferiores	30

3.8.3	Modelo, control de retroalimentación, y los problemas en la marcha de robots bípedos 3D.....	30
3.8.4	Efecto de la fatiga en la cinemática de la pierna y en el impacto en carreras de larga distancia.....	30
3.8.5	Las ventajas de un pie rotatorio en la caminata humana	31
3.8.6	Relación entre la mecánica en carreras de larga distancia, la economía de la carrera y el rendimiento.....	31
4	Resultados y análisis	32
4.1	Calibración.....	32
4.2	Registros de la marcha y filtros	34
4.2.1	Mediciones realizadas.....	35
4.2.2	Mediciones tratadas	36
4.2.3	Posiciones angulares y aceleraciones obtenidas de las mediciones	37
4.2.4	Paso seleccionado en cada segmento	39
4.3	Resultados de la aproximación por Serie de Fourier	40
4.3.1	A_0, A_n y B_n obtenidos	40
4.3.2	Gráficos de los armónicos y de la suma de ellos.....	41
4.4	Ecuaciones diferenciales obtenidas y comprobación.....	44
4.4.1	M_n, $x_n(0)$, $\dot{x}_n(0)$	44
4.4.2	Ecuaciones encontradas.....	45
4.4.3	Resultados de las Ecuaciones diferenciales.....	46
4.4.4	Comprobación	48
5	Discusiones y conclusiones.....	51
	Bibliografía.....	53
	Anexos.....	56
A.1	Datos obtenidos en calibración para eje X.....	56
A.2	Datos obtenidos en calibración para eje Y.....	57
A.3	Datos obtenidos en calibración para eje Z.....	58
B.1	Resultados Eureka para posición angular en zona tibial.....	59
B.2	Resultados Eureka para posición angular en zona femoral.....	60
B.3	Resultados Eureka para aceleración en zona tibial	61
B.4	Resultados Eureka para aceleración en zona femoral	62

Índice de Tablas

Tabla 2-1 Tabla explicativa para interpolación doble:	7
Tabla 4-1 Características físicas y de marcha del sujeto medido:.....	32
Tabla 4-2 Valores obtenidos de A_0, A_n, B_n para cada uno de los armónicos de la posición y aceleración de la zona femoral:	41
Tabla 4-3 Valores obtenidos de A_0, A_n, B_n , para cada uno de los armónicos de la posición y aceleración de la zona tibial:	41
Tabla 4-4 Valores obtenidos de $Mn, xn0, xn0$, para cada una de las EDO de la posición y aceleración de la zona femoral:	44
Tabla 4-5 Valores obtenidos de $Mn, xn0, xn0$, para cada una de las EDO de la posición y aceleración de la zona tibial:	44

Índice de Figuras

Figura 2-1 Metodología de trabajo	3
Figura 2-2 Interfaz del correntómetro utilizado para recibir y mostrar los datos.....	4
Figura 3-1 Esquema y líneas de corte para amputación transfemoral. Obtenido de [2].....	11
Figura 3-2 Efectos de desequilibrio de fuerzas entre músculos abductores y aductores para distintos niveles de amputación. Obtenida de [2].	11
Figura 3-3 Representaciones gráficas de las principales fases de la marcha humana. Adaptada de [9].	14
Figura 3-4 Movimiento del tobillo entre el apoyo del talón y el apoyo medio. Adaptada de [9].	15
Figura 3-5 Movimiento del tobillo entre el apoyo medio y la separación con el piso. Adaptada de [9].	15
Figura 3-6 Movimiento de la rodilla entre el apoyo del talón y el apoyo medio. Adaptado de [9].	16
Figura 3-7 Movimiento de la rodilla entre el apoyo medio y momentos antes del despegue de los dedos. Adaptado de [9]......	16
Figura 3-8 Posición de la cadera en el contacto del talón y en el apoyo medio. Adaptada de [9].	17
Figura 3-9 Posiciones de la cadera entre el apoyo medio y momentos antes del despegue de los dedos. Adaptado de [9]......	17
Figura 3-10 Ángulos de las articulaciones a lo largo de un paso. Adaptado de [10]	18
Figura 3-11 Modelo de 7 elementos. Adaptado de [16].....	20
Figura 3-12 Esquema de fuerzas de reacción en modelo de 7 elementos. Obtenido de [18]	21
Figura 3-13 Resultados obtenidos en [18], por el método de gráficos de unión	21
Figura 3-14 Resultados de las posiciones angulares de la rodilla en un simulador. Adaptada de [20].	22
Figura 3-15: Esquema acelerómetro mecánico [21].....	22
Figura 3-16 Esquema del funcionamiento de un eje de un acelerómetro capacitivo [23].....	23
Figura 3-17 Pasos básicos para filtrado en el dominio de las frecuencias. Obtenida de [26]	25
Figura 3-18 Espectro de tiempo y frecuencia para distintas señales. Obtenido de [27].....	25
Figura 3-19 Transformada de Fourier sobre una composición de señales sinusoidales. Obtenido de [27].	25
Figura 3-20 Relación entre los espectros de tiempo y frecuencia. Obtenido de [29].....	26
Figura 3-21 Filtro digital aplicado a señal de aceleración angular. Obtenido de [31]	27
Figura 3-22 Aumento del valor de n en la serie de Fourier. Obtenido de [28].....	28
Figura 3-23 Interfaz del programa Eureka	29
Figura 4-1 Curvas de aceleraciones obtenidas en la coordenada X.	33
Figura 4-2 Curvas de aceleraciones obtenidas en la coordenada Y	33
Figura 4-3 Curvas de aceleraciones obtenidas en la coordenada Z.....	34
Figura 4-4 Datos medidos en zona femoral, para los 3 ejes.	35
Figura 4-5 Datos medidos en zona tibial, para los 3 ejes.	35
Figura 4-6 Datos medidos y datos filtrados en zona femoral, para los 3 ejes.	36
Figura 4-7 Datos medidos y datos filtrados en zona tibial, para los 3 ejes.	37
Figura 4-8 Posiciones y aceleración obtenidas de las mediciones en zona femoral.....	38
Figura 4-9 Posiciones y aceleración obtenidas de las mediciones en zona tibial.....	38
Figura 4-10 Posiciones y aceleración del paso seleccionado para zona femoral.	39
Figura 4-11 Posiciones y aceleración del paso seleccionado para zona tibial.....	40

Figura 4-12 Posición angular del paso seleccionado v/s aproximación obtenida por Fourier, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona femoral.....	42
Figura 4-13 Aceleración del paso seleccionado y aproximación obtenida por Fourier, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona femoral.	42
Figura 4-14 Posición angular del paso seleccionado y aproximación obtenida por Fourier, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona tibial.....	43
Figura 4-15 Aceleración del paso seleccionado y aproximación obtenida por Fourier, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona tibial.	43
Figura 4-16 Suma de las soluciones de las EDOs representativas obtenidas de la aproximación de la posición angular, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona femoral	47
Figura 4-17 Suma de las soluciones de las EDOs representativas obtenidas de la aproximación de la aceleración, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona femoral.	47
Figura 4-18 Suma de las soluciones de las EDOs representativas obtenidas de la aproximación de la posición angular, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona tibial.	48
Figura 4-19 Suma de las soluciones de las EDOs representativas obtenidas de la aproximación de la aceleración, junto con la descomposición de las señales que lo componen, para zona tibial. ..	48
Figura 4-20 Sobreposición de la aproximación obtenida y de la suma de EDOs encontradas para la posición angular, junto con la descomposición, en zona femoral.	49
Figura 4-21 Sobreposición de la aproximación obtenida y de la suma de EDOs encontradas para la aceleración, junto con la descomposición, en zona femoral.....	49
Figura 4-22 Sobreposición de la aproximación obtenida y de la suma de EDOs encontradas para la posición angular, junto con la descomposición, en zona tibial.	50
Figura 4-23 Sobreposición de la aproximación obtenida y de la suma de EDOs encontradas para la aceleración, junto con la descomposición, en zona tibial.....	50