

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes generales	1
1.2. Motivación	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Alcances	2
1.5. Estructura de la memoria	3
2. Antecedentes	4
2.1. Antecedentes biológicos	4
2.1.1. Sistema circulatorio y vasos sanguíneos	4
2.1.2. Malformaciones arteriovenosas cerebrales	6
2.1.2.1. Visualizaciones de MAV	7
2.1.2.2. Métodos de tratamientos para MAVs cerebrales	8
2.2. Dinámica de fluidos computacional	9
2.2.1. Hemodinámica Computacional	11
2.3. Segmentación	11
2.3.1. Segmentación por umbralización	12
2.3.2. Etapas para segmentación	12
2.3.3. Diseño 3D de una enfermedad vascular para impresión 3D	13
2.4. Modelación de flujo sanguíneo	14
2.4.1. Ecuaciones de Navier-Stokes	14
2.4.2. Caracterización de flujo laminar o turbulento	15
2.4.3. Viscosidad de flujo sanguíneo	15
2.5. Investigaciones de MAV´s cerebrales	16
2.5.1. Trabajo de Orloswski	16
2.5.2. Trabajo de Kaneko	18
2.5.3. Trabajo de Franzetti	19
2.5.4. Trabajo de Chang	21
2.5.5. Trabajo de Nornes	22
2.5.6. Trabajo de Alaraj	23
3. Metodología	25
3.1. Aspectos generales	25
3.2. Construcción de modelos 3D	25
3.2.1. Angiografías cerebrales	26

3.2.2.	Segmentación	26
3.2.3.	Limpieza y arreglos de modelos	30
3.3.	Simulación fluidodinámica	33
3.3.1.	Geometrías	33
3.3.2.	Mallado de modelos	34
3.3.2.1.	Mallado de modelo 1	34
3.3.2.2.	Mallado de modelo 2	35
3.3.2.3.	Mallado de modelo 3	36
3.3.3.	Resumen mallados	37
3.3.4.	Estudio de independencia de los mallados	37
3.3.5.	Condiciones de borde	38
3.3.6.	Consideraciones físicas del flujo	39
3.3.7.	Setup	39
4.	Resultados de simulaciones	41
4.1.	Velocidad en modelos	41
4.1.1.	Velocidades en el nido	45
4.1.2.	Vórtices laminares	48
4.1.3.	Flujos volumétricos	49
4.2.	Resultados de presión	51
4.2.1.	Promedio de presión en los bordes de cada modelo	51
4.2.2.	Resultados de presión de los modelos en la pared	54
4.2.3.	Presiones por intervalo	57
4.2.3.1.	Intervalo 1, Diástole y sístole: 85 - 148 [mmHg]	58
4.2.3.2.	Intervalo 2, Diástole: 85 - 86.5 [mmHg].	59
4.2.3.3.	Intervalo 3, Diástole: 85 - 94.5 [mmHg].	60
4.2.3.4.	Intervalo 4, Sístole: 110 - 124 [mmHg].	61
4.2.3.5.	Intervalo 5, Sístole: 113 - 116 [mmHg].	62
4.2.4.	Cambios de presión en el nido de la malformación	63
4.3.	Resultados de WSS de los modelos	66
4.3.1.	Resultados globales	66
4.3.2.	Esfuerzos de corte por intervalo	69
4.3.2.1.	Intervalo 1: 0 - 0.0005 [mmHg]	69
4.3.2.2.	Intervalo 2: 0.0005 - 0.005 [mmHg]	70
4.3.2.3.	Intervalo 3: 0.005 - 0.05 [mmHg]	71
4.3.3.	Calculo numérico de WSS	72
5.	Análisis de resultados	74
5.1.	Comentarios de geometría y malla	74
5.2.	Resultados de velocidad	75
5.3.	Resultados de presión	76
5.4.	Resultados de esfuerzos de corte	78
5.5.	Resumen análisis	80
6.	Conclusiones	81
6.1.	Trabajo a futuro	82
	Bibliografía	83

Anexos	86
Anexo A. Antecedentes: Tipos de archivos CAD	86
Anexo B. Geometría	87
B.1. Modelo 1	87
B.2. Modelo 2	88
B.3. Modelo 3	88
Anexo C. Mallado	89
C.1. Imágenes de mallado	89
C.2. Calidad de malla	90
C.2.1. Modelo 1	90
C.2.2. Modelo 2	91
C.2.3. Modelo 3	91
C.3. Residuos	92