

# 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.....	2
1.4	Alcances .....	2
2	Metodología .....	3
3	Antecedentes .....	5
3.1	Reactor Chileno Experimental 1 (RECH-1) .....	5
3.2	Elemento Combustible MTR 3,4 grU/cm <sup>3</sup> .....	7
3.3	Estudios Anteriores .....	11
3.3.1	Estudio Computacional .....	11
3.3.2	Medidas Experimentales: Loop Hidráulico .....	13
3.4	Estudios Similares.....	15
3.5	Mecánica de Fluidos .....	18
3.5.1	Viscosidad .....	18
3.5.2	Flujo Laminar Desarrollado .....	20
3.5.3	Flujo Incompresible .....	20
3.5.4	Pérdida de Presión en Placas Paralelas .....	21
3.5.5	Pérdida de Presión en Placas Perforadas .....	21
3.5.6	Pérdida de Presión en Boquilla .....	26
3.5.7	Pérdida de Presión por Obstáculos en Canal Confinado .....	27
3.5.8	Velocidad Crítica del Fluido .....	28
3.6	Mecánica de Fluidos Computacional.....	29
3.6.1	Ecuaciones Gobernantes .....	29
3.6.2	Método de Volúmenes Finitos .....	30
3.6.3	Acoplamiento de Presión y Velocidad .....	31
3.6.4	Mallado y Calidad.....	31

3.6.5	Skewness .....	32
3.6.6	Aspect Ratio.....	33
4	Resultados .....	35
4.1	Definición del Problema.....	35
4.2	Cálculo Analítico .....	36
4.2.1	Pérdida de Presión en la Caja Filtro .....	36
4.2.2	Pérdida de presión en el Cuerpo del elemento combustible .....	37
4.2.3	Pérdida de presión en la Boquilla .....	38
4.2.4	Pérdida de Presión en el Elemento Combustible .....	38
4.3	Geometría .....	39
4.3.1	Caja Filtro .....	39
4.3.2	Cuerpo .....	41
4.3.3	Boquilla .....	42
4.3.4	Elemento Combustible .....	43
4.4	Mallado .....	43
4.4.1	Mallado Caja Filtro .....	44
4.4.2	Mallado Cuerpo .....	45
4.4.3	Mallado Boquilla .....	46
4.4.4	Mallado Elemento Combustible .....	49
4.5	Comparación y Validación del Mallado .....	52
4.5.1	Método Skewness .....	52
4.5.2	Método Aspect Ratio .....	55
4.6	Configuración .....	58
4.7	Simplificación del Problema .....	58
4.8	Simulaciones .....	59
4.9	Validación.....	60
4.10	Resultados de Simulaciones .....	60
4.11	Resultados Analíticos .....	60
4.12	Resultados Simplificación .....	61
4.13	Resultados de la Simulación.....	62
4.13.1	Caja Filtro .....	62

4.13.2	Cuerpo .....	62
4.13.3	Boquilla .....	65
4.13.4	Elemento Combustible .....	65
4.13.5	Compendio de Resultados .....	69
5	Discusión, Análisis y Comparación de Resultados .....	73
6	Conclusiones .....	75
	Bibliografía .....	77

# Índice de figuras

Figura 2.1 Diagrama de flujo con los pasos para completar el trabajo de título. . . . .	3
Figura 3.1 Esquema de la piscina de un reactor de investigación, este se muestran los principales componentes del reactor.....	5
Figura 3.3 Vista en corte del edificio del RECH-1, donde se aprecia la profundidad de la piscina y la ubicación del núcleo.....	6
Figura 3.4 Núcleo del RECH-1, se muestra la disposición de los elementos que van insertos en el arreglo.	7
Figura 3.5 Isométrico del EC MTR 3,4 grU/cm <sup>3</sup> . . . . .	7
Figura 3.6 Se muestra en detalle las piezas que conforman la caja filtro.. . . .	8
Figura 3.7 Se muestra en detalle las piezas que conforman el cuerpo.. . . .	9
Figura 3.8 Se muestra la Boquilla y el detalle de ella.. . . .	10
Figura 3.9 Caída de presión en el elemento combustible. . . . .	12
Figura 3.10 en a) se muestra la zona de prueba del Loop-Hidráulico y en b) se muestra el montaje completo del Loop-Hidráulico.....	13
Figura 3.11 Gráfico de la diferencia de presión en función de la variación de caudal. . . . .	14
Figura 3.12 Elemento combustible del MNR,. . . . .	15
Figura 3.13 Comportamiento del flujo a medida que avanza en el elemento combustible. . . . .	16
Figura 3.14 Gráfico que presenta la pérdida de presión en función de la variación del flujo másico a través del elemento combustible. . . . .	17
Figura 3.15 Flujo alrededor de una esfera: a) flujo no viscoso, b) flujo real. . . . .	19
Figura 3.16 Flujo a través de placas paralelas. . . . .	21
Figura 3.17 Placas perforadas, en a) se tiene una placa para instalar en cañerías para controlar el flujo y su presión, en b) se tiene una placa para instalar en un ducto de aire para filtrar partículas. . . . .	22
Figura 3.18 Se tiene una instalación de un túnel de viento con una placa perforada en su centro. . . . .	22
Figura 3.19 Líneas de flujo a través de una placa perforada, generadas en un programa computacional. . . . .	23
Figura 3.20 Coeficiente de pérdida en función de la porosidad y $td$ ,.....	26
Figura 3.21 Contracción gradual -boquilla- y los parámetros que la determinan. . . . .	27
Figura 3.22 Diagrama que muestra flujo en canal confinado obstaculizado por dos bloques cuadrados.. . . .	27
Figura 3.23 Pandeo de las placas paralelas. . . . .	28
Figura 3.24 Tipos de elementos finitos. . . . .	32
Figura 3.25 Comparación de la celda creada contra celda optima en el método skewness. . . . .	32
Figura 3.26 Rangos de tolerancia de calidad de malla para los valores de skewness. . . . .	33
Figura 3.27 Relación de aspecto para cuadrados y triángulos. . . . .	33
Figura 4.1 Bosquejo del elemento combustible en corto, con las condiciones de entrada y salida.....	36
Figura 4.2 Geometría del elemento combustible creada con el programa computacional.. . . .	39
Figura 4.3 Se muestra el negativo generado a partir de la Caja Filtro, vistas en corte y detalles.. . . .	40

Figura 4.4 Vista parcial de la geometría formada por el fluido en el Cuerpo y vista en corte de la sección interior. Fuente: elaboración propia .....	41
Figura 4.5 Se muestra el vaciado de la Boquilla y una vista en corte. ....	42
Figura 4.6 Negativo del elemento combustible completo y el detalle de los cambios de sección entre sus subconjuntos.....	43
Figura 4.7 Malla creada en el subconjunto de la Caja Filtro, se muestran el cuerpo completo, vista en corte de la palca filtro, salida del fluido y detalle del travesaño.....	44
Figura 4.8 Método de mallado que se realiza en el Cuerpo.....	45
Figura 4.9 Malla creada en el Cuerpo, se muestra la vista de la geometría completa, detalle de la pared de las placas combustibles y la vista en corte del interior del volumen. ....	46
Figura 4.10 Método "inflation" utilizado en la Boquilla y sus resultados.....	47
Figura 4.11 La malla creada en la Boquilla, se muestra el volumen completa, la vista de la entrada y la salida del flujo. ....	48
Figura 4.12 Mallado del elemento combustible, se muestra el volumen de control completo.. ....	50
Figura 4.13 Detalles del mallado del elemento combustibles.....	51
Figura 4.14 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla de la Caja Filtro, según el método Skewness.. ....	53
Figura 4.15 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla de la Cuerpo, según el método Skewness.. ....	54
Figura 4.16 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla de la Boquilla, según el método Skewness.. ....	54
Figura 4.17 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla del elemento combustible, según el método Skewness.....	55
Figura 4.18 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla del Caja Filtro, según el método Aspect Ratio.....	56
Figura 4.19 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla del Cuerpo, según el método Aspect Ratio.. ....	56
Figura 4.20 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla del Boquilla, según el método Aspect Ratio.. ....	57
Figura 4.21 Gráfico con la distribución de los elementos de la malla del elemento combustible, según el método Aspect Ratio.....	57
Figura 4.22 Geometrías simplificadas de la Boquillas.....	59
Figura 4.23 Líneas de corriente a través de las geometrías de estudio.....	61
Figura 4.24 Distintos resultados para la velocidad nominal la Caja Filtro.. ....	63
Figura 4.25 Distintos resultados para la velocidad nominal en el Cuerpo. ....	64
Figura 4.26 Distintos resultados para la velocidad nominal en la Boquilla.....	66
Figura 4.27 Distintos resultados globales para la velocidad nominal en el elemento combustible.....	67
Figura 4.28 Líneas de corriente en las distintas secciones del elemento combustible para la velocidad nominal.....	68

Figura 4.29 Diagrama de la curva de pérdida de presión en el elemento combustible para diferentes velocidades del refrigerante, mediante los distintos procedimientos.....	71
Figura 4.30 Diagrama del desglose de la pérdida de presión en cada subconjunto para las distintas velocidades, mediante los distintos procedimientos..	72

# Índice de tablas

Tabla 3.1 Condiciones iniciales del problema.....	11
Tabla 3.2 Resultados de la caída de presión en el elemento combustible .....	12
Tabla 3.3 Velocidades utilizados para mediar la pérdida de carga en el elemento combustible del RECH-1 .....	14
Tabla 3.4 Cambio de viscosidad según el cambio de temperatura.....	19
Tabla 3.5 Variación de $\tau$ con $tdh$ .....	24
Tabla 3.6 Variación $kf$ con la porosidad y el número de Reynolds en el orificio .....	25
Tabla 3.7 Variación de $\varepsilon$ con el número de Reynolds en orificio .....	25
Tabla 4.1 Número de Reynolds para las distintas velocidades .....	35
Tabla 4.2 Datos relevantes sobre la malla de los subconjuntos y el elemento combustible .....	52
Tabla 4.3 Rango de velocidades a evaluar. ....	58
Tabla 4.4 Resultados de la pérdida de presión mediante cálculo analítico .....	60
Tabla 4.5 Diferencia de presión para las distintas geometrías en la Boquilla .....	61
Tabla 4.6 Resultados globales de las simulaciones Computacionales .....	69
Tabla 4.7 Resumen comparativo de los distintos resultados y antecedentes.....	70
Tabla 4.8 Comparaciones de velocidades computacionales y datos experimentales. ....	70