

# Tabla de contenido

Agradecimientos .....	iv
Índice de figuras .....	vii
1. Introducción.....	1
1.1. Motivación.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivos generales.....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Organización del informe .....	3
2. Marco Teórico .....	5
2.1. Velocity Cap .....	5
2.1.1. Normativa .....	5
2.1.2. Investigación Velocity Cap .....	8
2.2. Investigación medio poroso .....	10
2.2.1. Caracterización de las rejillas .....	11
2.2.2. Ensayos.....	13
2.2.3. Resultados.....	13
2.3. Metodología.....	15
2.3.1. Método RANS .....	16
2.3.2. Medio poroso.....	20
2.4. Bioincrustación .....	21
3. Simulaciones Numéricas: OpenFOAM .....	23
3.1. Método de volúmenes finitos.....	23

---

3.2. Solver: porousSimpleFoam.....	24
3.2.1. Modelo de turbulencia: standard k-epsilon .....	25
3.2.2. Medio poroso.....	25
3.3. Casos a simular .....	26
3.3.1. Canal.....	27
3.3.2. Velocity Cap: cuña .....	37
4. Resultados.....	45
4.1. Canal .....	45
4.2. Velocity Cap: Cuña.....	50
4.2.1. Con medio poroso (MP) .....	50
4.2.2. Comparación con simulación sin medio poroso y corrección de velocidad.....	57
4.2.3. Macro-incrustación.....	61
5. Discusión .....	63
6. Conclusiones.....	65
6.1. Normativa .....	65
6.2. Bio-incrustación.....	65
6.3. Simulaciones OpenFOAM.....	66
7. Bibliografía.....	67
8. Anexos .....	70
Anexo A: sensibilidad de malla, canal. ....	70
Anexo B: sensibilidad de malla, cuña .....	74
Anexo C: comentarios Velocity Cap EPA .....	77

# Índice de figuras

Figura 2.1: Velocity Cap: a) destapado mostrando patrones verticales del flujo, b) estructura cubierta mostrando patrones horizontales y c) mostrando la relación crítica de apertura y largo horizontal de la entrada (Environment Agency UK, 2005).....	7
Figura 2.2: Velocity cap. a) sección vertical. b) sección horizontal. Editado de Christensen et al. (2015). .....	8
Figura 2.3: Vista vertical. Editado de Christensen et al. (2015).....	9
Figura 2.4: Vista horizontal. Editado de Christensen et al. (2015). .....	10
Figura 2.5 Mallas: a) Welded y b) Woven. Editado de Tsukrov et al. (2011). .....	11
Figura 2.6: Geometría de la rejilla rectangular sin nudos. Editado de Tsukrov et al. (2011).....	12
Figura 2.7: Arrastre hidrodinámico vs velocidad para diferentes tipos de rejilla. Editado de Tsukrov et al. (2011).....	14
Figura 2.8: Coeficiente de arrastre hidrodinámico vs velocidad para los diferentes tipos de rejilla. Editado de Tsukrov et al. (2011). .....	14
Figura 2.9: Coeficiente de arrastre hidrodinámico vs número de Reynolds para los diferentes tipos de rejilla. Editado de Tsukrov et al. (2011). .....	15
Figura 3.1: Directorios porousSimpleFoam. ....	24
Figura 3.2: Canal: medidas principales. ....	27
Figura 3.3: Condiciones de borde para el canal.....	28
Figura 3.4: Perfil Canal .....	30
Figura 3.5: Presión normalizada en el primer tramo del canal. ....	31
Figura 3.6: Velocidad normalizada a través de una línea horizontal por el centro del medio poroso según distintos espesores de medio poroso. ....	32
Figura 3.7: División de bloques plano XY.....	33
Figura 3.8: Mallado plano XY.....	33
Figura 3.9: División de bloques plano ZY. ....	34

Figura 3.10: Mallado plano ZY.....	35
Figura 3.11: Mallado canal.....	36
Figura 3.12: Velocity cap.....	38
Figura 3.13: Velocity Cap: a) vista elevación b) corte horizontal dentro de la estructura.....	39
Figura 3.14: Condiciones de borde en corte a) vertical y b) horizontal de la cuña.....	40
Figura 3.15: Condiciones de borde cuña vista 3D.....	40
Figura 3.16: Bloques cuña.....	41
Figura 3.17: Mallado cuña.....	42
Figura 3.18: y + cuña.....	43
Figura 4.1: Líneas de flujo sobre la distribución de velocidad, simulación We1. Corte horizontal centro del medio poroso ( $z = 1.24$ [m])......	46
Figura 4.2: Perfiles canal.....	47
Figura 4.3: Presión normalizada a través de una línea horizontal por el centro del medio poroso para la rejilla Welded.....	48
Figura 4.4: Presión normalizada a través de una línea horizontal por el centro del medio poroso para la rejilla Woven.....	48
Figura 4.5: $FD_{num}$ vs $FD_{exp}$ para las rejillas Welded y Woven.....	50
Figura 4.6: Interpolación coeficiente de arrastre de casos We3 y Wo5.....	51
Figura 4.7: Interpolación coeficiente de arrastre de casos We3 y Wo5.....	52
Figura 4.8: Líneas de flujo sobre distribución de velocidad en a) corte vertical y b1) horizontal a 1 [m] y b2) horizontal a 0.5 [m] de la condición outlet.....	53
Figura 4.9: Perfiles cuña en a) corte vertical y b1) horizontal a 1 [m] y b2) horizontal a 0.5 [m] de la condición outlet.....	54
Figura 4.10: Velocidad $U_x$ , $U_y$ y $U_z$ normalizada por $U_{nor}=0.15$ [m/s] sobre perfiles en la dirección X, adentro y normal a la estructura: a) 1 [m] y b) 0.5 [m] de la tubería de captación.....	55
Figura 4.11: Velocidad $U_x$ normalizada por $U_{nor}=0.15$ [m/s] sobre perfiles en el eje Z: a) dentro de estructura a 0.15 [m] (Z1), 0.10 [m] (Z2) y 0.05 [m] (Z3) del medio poroso (MP) y b) fuera de estructura a 0.05 [m] (Z4), 0.10 [m] (Z5) y 0.15 [m] (Z6).....	56

Figura 4.12: Velocidad $U_z$ normalizada por $U_{nor}=0.15$ [m/s] sobre perfiles en el eje Z: a) dentro de estructura a 0.15 [m] (Z1), 0.10 [m] (Z2) y 0.05 [m] (Z3) y b) fuera de estructura a 0.05 (Z4), 0.10 (Z5) y 0.15 (Z6) del medio poroso (MP).....	57
Figura 4.13: Magnitud de velocidad normalizada por $U_{nor}=0.15$ [m/s] sobre perfiles en la dirección X dentro y normal a la estructura: a) 1 [m] y b) 0.5 [m] de la tubería de captación..	58
Figura 4.14: Magnitud de velocidad normalizada por $U_{nor} = 0.15$ [m/s] sobre perfiles en la dirección Z dentro de la estructura a: a) 0.15 [m] (Z1) y b) 0.05 [m] (Z3) del medio poroso.	59
Figura 4.15: Magnitud de velocidad normalizada por $U_{nor} = 0.15$ [m/s] sobre perfiles en la dirección Z fuera de la estructura a: a) 0.05 [m] (Z4) y b) 0.15 [m] (Z6) del medio poroso..	60
Figura 4.16: Reynolds según caudal de $0.01$ [m <sup>3</sup> /s] que pasa por área de $1$ [m <sup>2</sup> ] con rejilla cuadrada de separación de hebra de 23 [cm].	62
Figura 8.1: Sensibilidad de malla. Velocidad a 0.15 [m] antes del medio poroso al centro de este.	71
Figura 8.2: Sensibilidad de malla. Velocidad a 0.15 [m] después del medio poroso al centro de este.	72
Figura 8.3: Sensibilidad de malla plano ZY. Velocidad a 0.15 [m] antes del medio poroso al centro de este.	73
Figura 8.4: Sensibilidad de malla ZY. Velocidad a 0.15 [m] después del medio poroso al centro de este.	74
Figura 8.5 Sensibilidad de malla, cuña. Velocidad $U_x$ , $U_y$ y $U_z$ normalizada por $U_{nor} = 0.15$ [m/s] sobre perfil en la dirección X dentro y normal a la estructura a 1 [m] de la tubería de la captación (perfil X1).	76
Figura 8.6: Sensibilidad de malla, cuña. Velocidad $U_x$ , $U_y$ y $U_z$ normalizada por $U_{nor} = 0.15$ [m/s] sobre perfil en la dirección X dentro y normal a la estructura a 1 [m] de la tubería de la captación, al principio del perfil (perfil X1).	77