

**DOCUMENTO PRESENTACIÓN Y
EJEMPLO DE LOS
MODELOS DE SIMULACIÓN
“brIHne”**

V.1.0

CONTENIDO DEL DOCUMENTO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.OBJETIVOS DE LOS MODELOS “brIHne”	1
1.2.DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS “brIHne”	2
1.3.REFERENCIAS	3
2. EJEMPLO SÍNTESIS DE INTERFAZ Y CARACTERÍSTICAS DE MODELO “brIHne”.	
MODELO brIHne-Jet-Spreading	4
A) Tabla síntesis de especificaciones técnicas del modelo	5
B) Esquema del vertido simulado	7
C) Ejecución del modelo.....	8
<i>Interfaz de los datos de entrada</i>	
<i>Interfaz de resultados</i>	
D) Informe de resultados del modelo.....	10
E) Referencias	12

1). INTRODUCCIÓN.

1.1. OBJETIVO DE LOS MODELOS “brIHne”.

Los modelos “brIHne” son herramientas básicas de modelado numérico desarrolladas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) para simular el vertido al mar de la salmuera procedente de las plantas desaladoras. Los modelos “brIHne” predicen el comportamiento del vertido bajo distintas configuraciones de vertido, abarcando las regiones de campo cercano y lejano para algunos sistemas típicos.

Los códigos de estos modelos se han programado con formulaciones avaladas por publicaciones científicas, que se basan fundamentalmente en las aproximaciones matemáticas de tipo análisis dimensional y de integración de las ecuaciones en el eje del flujo. Dichos códigos son ejecutables online desde el portal web: www:brihne.ihcantabria.com. Presentan una interfaz amigable y sencilla y, tras la ejecución de cada caso, se genera un informe de resultados con toda la información de interés en relación con la predicción del comportamiento del vertido.

Los **principales objetivos** con los que se han programado estos modelos son:

- Ofrecer herramientas básicas de modelado, sencillas de manejar y comprensibles para el usuario, con tiempos de cálculo instantáneos.

Ofrecer una alternativa a los modelos comerciales (Cormix [1], Visual Plumes [2] y VISJET [3]), al ser herramientas que superan las capacidades y el ámbito de modelado de los mismos, y que además han sido y están siendo calibradas con datos experimentales específicos de vertidos de salmuera. Dichos datos experimentales se han obtenidos a partir de ensayos experimentales con técnicas ópticas láser realizados en el laboratorio del IH Cantabria.

- Disponer de códigos brutos programados, independientes de los modelos comerciales tipo caja negra. Esto nos permite que los códigos pueden ser recalibrados y continuamente mejorados con el fin de conseguir herramientas óptimas desde el punto de vista del rigor científico y de la comodidad para los usuarios.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS “brIHne”.

Considerando el ámbito de aplicación de los modelos “brIHne”, la Tabla 1 muestra los modelos restringidos a la región del campo cercano, la Tabla 2 los modelos de campo lejano y la Tabla 3, aquellos que estiman el comportamiento continuo en campo cercano y lejano.

MODELOS DE SIMULACIÓN “brIHne” PARA CAMPO CERCANO				
TIPO DE DESCARGA	HERRAMIENTA “brIHne”	ÁMBITO DE MODELADO	BASADO EN	CÓDIGO DE BASE
Vertido sumergido mediante chorro individual.	brIHne -Jet	Desde boquilla hasta el punto de impacto con el fondo	Integración de las ecuaciones diferenciales	[4] (análogamente a CORJET de Cormix)
Vertido sumergido mediante chorros múltiples (con o sin interacción entre chorros)	brIHne -MJets			[5] (análogamente a CORJET de Cormix)
Vertido sumergido mediante chorro individual inclinado	brIHne -Jet-Spreading	Desde boquilla hasta final del campo cercano (chorro y “spreading layer”)	Análisis dimensional	[6] Calibrado con datos experimentales PIV-PLIF obtenidos en IH-Cantabria

Tabla 1. Herramientas de modelado brIHne para campo cercano

MODELOS DE SIMULACIÓN “brIHne PARA CAMPO LEJANO			
FENÓMENO SIMULADO	MODELO “brIHne”	BASADO EN	CÓDIGO DE BASE
Corriente de gravedad bidimensional	brIHne –Plume2D	Integración de las ecuaciones diferenciales	[7]
Corriente de gravedad tridimensional	brIHne –Plume3D		[8]

Tabla 2. Herramientas de modelado brIHne para campo lejano

MODELOS DE SIMULACIÓN “brIHne” PARA CAMPO CERCANO-LEJANO			
FENÓMENO SIMULADO	MODELO “brIHne”	BASADO EN	CÓDIGO DE BASE
Chorro sumergido e inclinado, spreading layer y pluma hipersalina 2D	brIHne-Jet-Plume2D	Campo cercano: análisis dimensional Campo lejano: ecuaciones integradas	<u>Campo cercano:</u> [6] Calibrado con datos experimentales PIV-LIF obtenidos en IH-Cantabria <u>Campo lejano:</u> [7]

Tabla 3. Herramientas de modelado brIHne para campo cercano-campo lejano

Todas las herramientas brIHne van acompañadas de la siguiente información complementaria descargable en formato "pdf":

- **Documento de especificaciones técnicas** del modelo.
- Cuadro de **valores recomendados y realistas para los datos de entrada al modelo**.
- Fichero de Aviso ("warning") con los principales aspectos a considerar en relación con el modelo.

Los modelos "brIHne" **se ejecutan online desde el portal web www.brihne.ihcantabria.com**. El acceso a estos modelos y a su información complementaria descargable se obtiene mediante un curso previo de formación en el que se explican en detalle la base teórica, capacidades y limitaciones, fiabilidad y manejo de cada uno de estos modelos. Mediante este curso, se garantiza que el futuro usuario cuente con el conocimiento necesario para utilizar de manera correcta las herramientas "brIHne".

Para obtener más información sobre los modelos "brIHne" y el acceso a los mismos, se puede consultar el portal web o contactarnos en brihnecurso@ihcantabria.com

1.3. REFERENCIAS.

- [1] Doneker, R. L., Jirka, G. H. (2001). "CORMIX-GI systems for mixing zone analysis of brine wastewater disposal". Desalination, vol. 139, pp. 263 – 274.
- [2] Frick, W. E. (2004). "Visual Plumes mixing zone modelling software". Environmental modelling & software, vol. 19, pp 645 - 654.
- [3] Lee, J. H. W., Cheung, V. (1990) "Generalized Lagrangian model for buoyant jets in current". Journal of environmental engineering, vol. 116 (6), pp. 1085 - 1105.
- [4] Jirka, G. H. (2004). "Integral model for turbulent buoyant jets in unbounded stratified flows. Part I: The single round jet." Environmental fluid mechanics, vol. 4, pp. 1 – 56.
- [5] Jirka, G. H. (2006). "Integral model for turbulent buoyant jets in unbounded stratified flows. Part II: Plane jet dynamics resulting from multiport diffuser jets". Environmental fluid mechanics, vol. 6, pp. 43 – 100.
- [6] Roberts, P. J. W., Ferrier, A. and Daviero, G. (1997). "Mixing in inclined dense jets". Journal of hydraulic engineering, vol. 123, N 8, pp. 693 - 698.
- [7] García, M. H. (1996). "Environmental Hydrodynamics", Argentina: Publications Center, Universidad Nacional del Litoral.
- [8] Alavian, V. (1986). "Behaviour of density current on an incline". Journal of hydraulic engineering, vol. 112, No 1, pp. 27-42.

2) EJEMPLO DE MODELO SIMULACIÓN “brIHne”

En las páginas siguientes se muestra, para uno de los modelos “brIHne”, una síntesis de las especificaciones técnicas (mucho más detalladas en el documento original que acompaña a cada modelo), de los datos de entrada, interfaz e informe de resultados generado una vez que se ejecuta el modelo.

Para el presente ejemplo, se ha elegido el modelo brIHne-Jet-Spreading

EJEMPLO SÍNTESIS DE CARACTERÍSTICAS E INTERFAZ

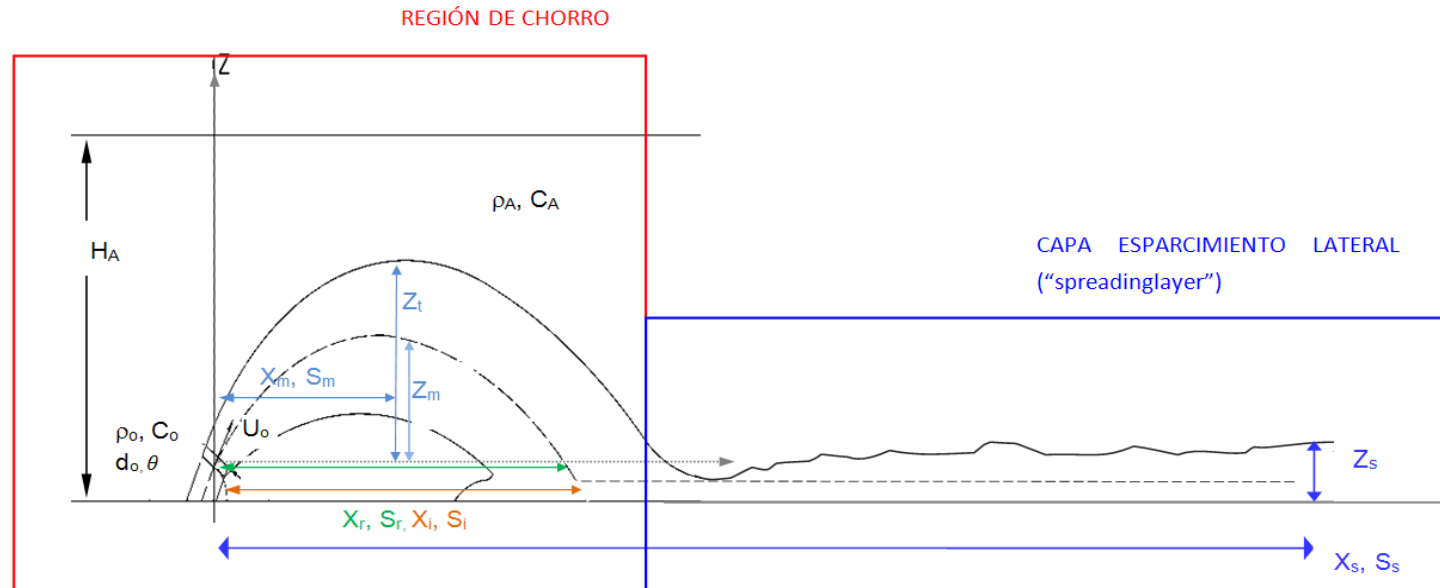
MODELO **brIHne-Jet-Spreading**

A) TABLA SÍNTESIS DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MODELO “brihne-Jet-Spreading”

brIHne-Jet-Spreading: CHORRO Y CAPA DE ESPARCIMIENTO LATERAL (<i>SPREADING LAYER</i>) DE UN VERTIDO DE SALMUERA MEDIANTE CHORRO SUMERGIDO E INCLINADO	
APLICACIÓN	<p>Simulación del comportamiento en campo cercano de un vertido de salmuera mediante chorro sumergido e inclinado</p> <p>Incluye la caracterización del chorro y de la capa de esparcimiento lateral (<i>spreading layer</i>), hasta el final del campo cercano.</p>
ACCESO	<p>Modelo desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantabria).</p> <p>Ejecutable online desde el portal Web www.brihne.ihcantabria.com. El acceso al modelo se obtiene mediante un curso de formación previo (para más información sobre estos cursos: brihnecurso@ihcantabria.com).</p> <p>Disponibles versiones en castellano y en inglés.</p>
FORMULACIÓN	<p>Fórmulas de análisis dimensional para la caracterización de chorros de flotabilidad negativa y para la caracterización de la capa densa (<i>spreading layer</i>) tras el impacto del chorro con el fondo. Fórmulas propuestas por Pincince <i>et al.</i> (1979), y posteriormente por Roberts <i>et al.</i> (1987).</p>
PRINCIPALES HIPÓTESIS	<p>Flujo turbulento completamente desarrollado. Se desprecian las fuerzas viscosas.</p> <p>Las variables que determinan el comportamiento del flujo (de acuerdo con el análisis dimensional), para un determinado ángulo de descarga (θ_o) son: el diámetro de la boquilla (d_o), el número de Froude Densimétrico inicial (F_o) y la velocidad inicial (U_o).</p> <p>El flujo es auto-semejante, es decir, para un determinado ángulo de descarga y un flujo turbulento completamente desarrollado, las variables (trayectoria, dilución velocidad, etc.) adimensionalizadas por F_o, d_o, U_o, convergen en los mismos valores.</p> <p>El final de campo cercano se define para una distancia igual a $X_s/d_o F_o = 9$ desde la boquilla, asumiendo la definición propuesta por Roberts <i>et al.</i> (1997). Para esta localización, el valor de las variables turbulentas es despreciable frente a los valores medios de dichas variables.</p> <p>El modelo considera la existencia de una zona de desarrollo de los perfiles auto-semejantes (ZDPA), contigua a la boquilla de vertido, donde los perfiles de velocidad y concentración evolucionan desde un perfil uniforme (en la salida) hasta un perfil de tipo Gauss, característicos de perfiles en chorro. La distancia de la ZDPA se ha obtenido según la formulación propuesta por Jirka. (2004).</p>
CAPACIDADES	<p>Simula el comportamiento del flujo en la región completa de campo cercano, incluyendo no solo la trayectoria del chorro sino también la capa de esparcimiento lateral, hasta el comienzo del campo lejano.</p>

	<p>Se obtienen las características del flujo hasta el final de campo cercano (geometría, velocidades y concentraciones), lo que permite establecer las condiciones iniciales (perfiles de velocidad y de concentración) para el acoplamiento con un modelo de campo lejano.</p> <p>Simula chorros de salmuera con inclinaciones en la descarga de: 15 °, 30 °, 45 °, 60 ° y 75 °, abarcando el rango de inclinaciones más utilizadas en el diseño de vertidos de salmuera.</p> <p>Los resultados incluyen la caracterización continua del comportamiento del flujo y no solo valores en puntos específicos o singulares de la trayectoria de chorro.</p>
LIMITACIONES	<p>Fondo plano y pendiente horizontal. Medio receptor en reposo y homogéneo.</p> <p>Modelo estacionario. Cada simulación representa un único escenario.</p> <p>El modelo no simula el comportamiento de chorros que impactan con la superficie libre.</p> <p>Limitado a valores específicos del ángulo de descarga</p>
CALIBRACIÓN	<p>El modelo ha sido calibrado con datos experimentales obtenidos mediante ensayos de laboratorio realizados en el Instituto de Hidráulica Ambiental. Para los ensayos se han utilizado técnicas ópticas no intrusivas de anemometría láser.</p> <p>En los ensayos el flujo no está confinado lateralmente, por lo que se produce expansión tridimensional en el tanque de ensayo.</p>
VALIDACIÓN CON DATOS EXPERIMENTALES	<p>Los resultados del modelo se han validado con datos experimentales publicados por otros autores, para todos los ángulos de descarga simulados por el modelo. La validación muestra un muy buen ajuste de los resultados numéricos de brIHne-Jet-Spreading con los datos experimentales publicados por diversos autores.</p>
RECOMENDACIÓN	<p>Para caracterizar un chorro vertido con una inclinación en la descarga intermedia entre las simuladas por brIHne-Jet-Spreading, es posible hacer una interpolación lineal de los resultados obtenidos en los puntos singulares, para los ángulos inmediatamente superior e inferior simulados por el modelos. Sin embargo, esta interpolación es solo válida en estos puntos singulares: punto de máxima altura, punto de retorno y final de la <i>spreading layer</i>.</p> <p>El modelo no es recomendable para vertidos con un número de Froude Densimétrico inicial inferior a 15, y en ningún caso debe aplicarse a vertidos con un valor de este adimensional inferior a 10, dado que para este caso las fuerzas viscosas no son despreciables y el análisis dimensional realizado no es válido.</p>

B) ESQUEMA DEL VERTIDO SIMULADO POR brIHne-Jet-Spreading.



Variables (datos de entrada)

H_A : profundidad media, calado en la columna de agua.

ρ_A : densidad del medio receptor.

C_A : concentración salina en el medio receptor.

d_o : diámetro de la boquilla.

U_o : velocidad inicial del chorro en la descarga.

ρ_o : densidad del efluente vertido.

C_o : concentración salina del efluente (salmuera).

θ : ángulo de inclinación del chorro en el vertido.

Puntos característicos

Z_m, X_m, S_m : coordenada vertical y horizontal del eje y dilución en el eje en el punto de máxima altura del eje del chorro.

Z_t : máxima altura del borde superior del chorro.

X_r, S_r : alcance horizontal y dilución en el eje en el punto de retorno (el eje del chorro alcanza el nivel de la boquilla de vertido).

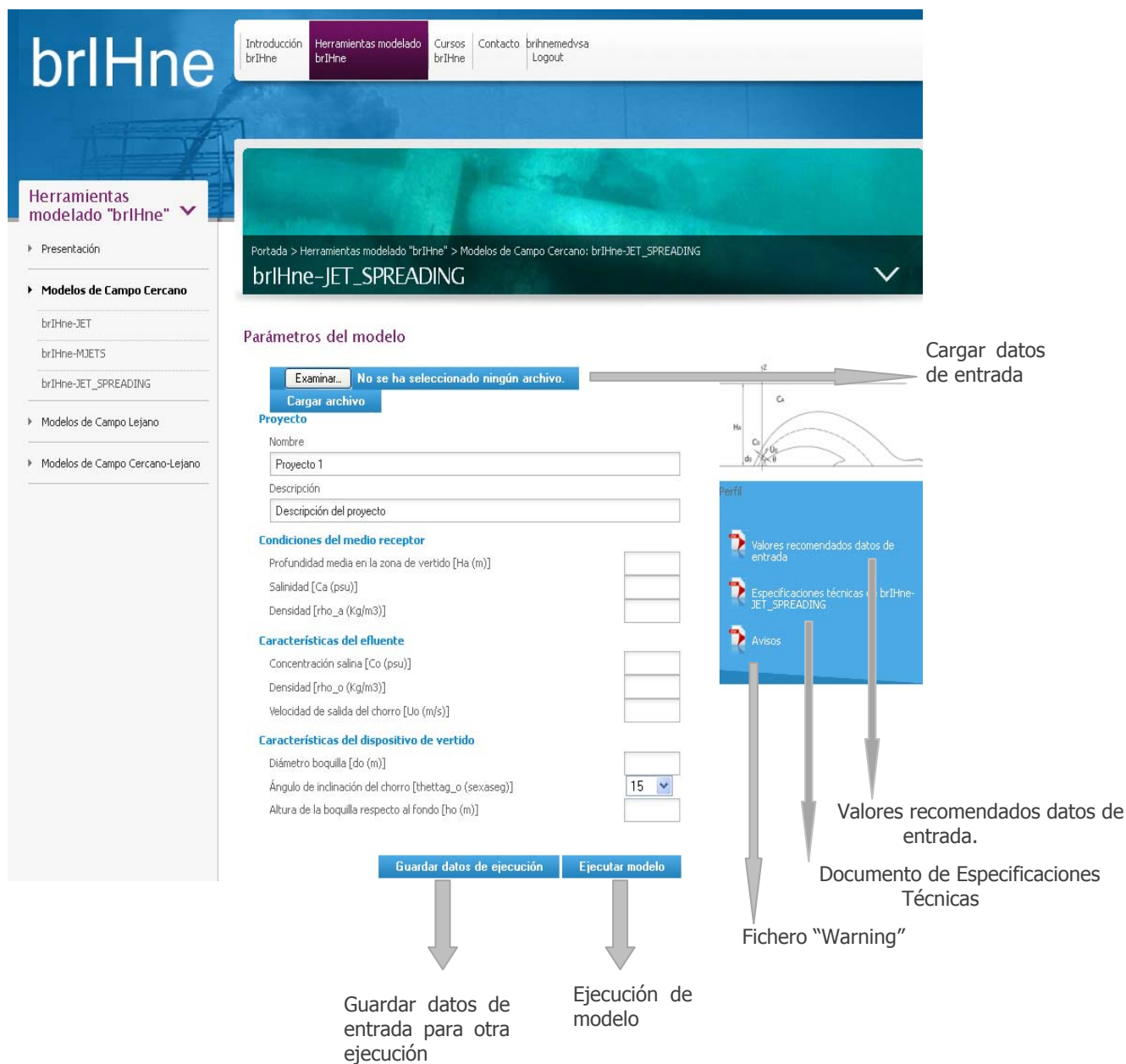
X_i, S_i : alcance horizontal y dilución en el eje en el punto de impacto del eje del chorro con el fondo.

X_s, Z_s, S_s : posición horizontal, espesor y dilución en el eje de la capa de esparcimiento lateral ("spreading layer") al final de campo cercano

C). EJECUCIÓN DEL MODELO

INTERFAZ DE DATOS DE ENTRADA

El usuario debe introducir como datos de entrada al modelo las condiciones en el medio receptor, las características del efluente y las características del dispositivo de vertido en chorro. La siguiente figura muestra la interfaz del modelo brIHne-Jet-Spreading



The screenshot shows the web interface for the brIHne-JET_SPREADING model. The interface includes a navigation menu on the left, a main header with the brIHne logo and navigation links, and a central area for model parameters. The parameters are organized into sections: 'Proyecto', 'Condiciones del medio receptor', 'Características del efluente', and 'Características del dispositivo de vertido'. A 'Perfil' section on the right shows recommended input values and technical specifications. Annotations with arrows point to various elements: 'Cargar datos de entrada' points to the file upload area; 'Guardar datos de ejecución' and 'Ejecutar modelo' buttons are annotated with 'Guardar datos de entrada para otra ejecución' and 'Ejecución de modelo' respectively; 'Valores recomendados datos de entrada' points to the recommended values section; 'Documento de Especificaciones Técnicas' points to the technical specifications document; and 'Fichero "Warning"' points to the warning file output.

Parámetros del modelo

Examinar... No se ha seleccionado ningún archivo. Cargar archivo

Proyecto

Nombre: Proyecto 1
Descripción: Descripción del proyecto

Condiciones del medio receptor

Profundidad media en la zona de vertido [H_a (m)]
Salinidad [C_a (psu)]
Densidad [ρ_{a_a} (Kg/m³)]

Características del efluente

Concentración salina [C_o (psu)]
Densidad [ρ_{o_o} (Kg/m³)]
Velocidad de salida del chorro [U_o (m/s)]

Características del dispositivo de vertido

Díámetro boquilla [d_o (m)]
Ángulo de inclinación del chorro [θ_{tag_o} (sexages)] 15
Altura de la boquilla respecto al fondo [h_o (m)]

Perfil

Valores recomendados datos de entrada
Especificaciones técnicas brIHne-JET_SPREADING
Avisos

Guardar datos de ejecución | Ejecutar modelo

Guardar datos de entrada para otra ejecución | Ejecución de modelo

Cargar datos de entrada

Valores recomendados datos de entrada.

Documento de Especificaciones Técnicas

Fichero "Warning"

INTERFAZ DE RESULTADOS

Una vez introducidos los datos de entrada y ejecutado el modelo, tras unos segundos, aparece en la interfaz una síntesis de los resultados de la predicción del comportamiento del vertido. Junto a la interfaz aparecen dos link. Uno de ellos para descargar el archivo con la tabla de datos numéricos de evolución de las variables del vertido en formato "xls" y otro para descargar el informe de resultados de la ejecución en formato "pdf". La siguiente figura muestra la interfaz de resultados, así como los link de descarga.

Resultados del modelo

Flujos y escalas de longitud

Variable	Valor
Q_0	0.29 m ³ /s
M_0	1.77 m ⁴ /s ²
J_0	0.08 m ¹ /s ³
Q_{c0}	12.37 psu ³ /m ³ /s
LQ	0.22 m
LN	5.55 m
Número de Froude densimétrico, F_{D0}	23.6

Principales características del chorro

Variable	Valor
Z_m , máxima altura del eje del chorro	7.34 m
X_m , alcance horizontal del eje del chorro en el punto de máxima altura	12.65 m
Z_t , máxima altura del borde superior del chorro	10.54 m
S_m , dilución en el eje (mínima) en el punto de máxima altura	14.0
C_m , concentración salina en el eje (máxima) en el punto de máxima altura	41.0 psu
b_m , radio del chorro donde la concentración es un 50% de la del eje ($C=50\%C_{eje}$) en el punto de máxima altura	1.6 m
R_m , radio del chorro donde la concentración es un 6% de la del eje ($C=6\%C_{eje}$) en el punto de máxima altura	3.2 m
X_r , alcance horizontal del eje del chorro en el punto de retorno (nivel de la boquilla)	20.63 m
S_r , dilución en el eje (mínima) en el punto de retorno	26.9
C_r , concentración salina en el eje (máxima) en el punto de retorno	79.6 psu
$r_{r,1}$, radio del chorro donde la concentración es un 50% de la del eje ($C=50\%C_{eje}$) en el punto de retorno	1.1 m
$R_{r,1}$, radio del chorro donde la concentración es un 6% de la del eje ($C=6\%C_{eje}$) en el punto de retorno	8.2 m
X_f , alcance horizontal del eje del chorro en el punto de impacto del chorro con el fondo	20.63 m
S_f , dilución en el eje (mínima) en el punto de impacto del chorro con el fondo	26.9
C_f , Concentración salina en el eje (máxima) en el punto de impacto del chorro con el fondo	39.6 psu

Principales características de la spreading layer

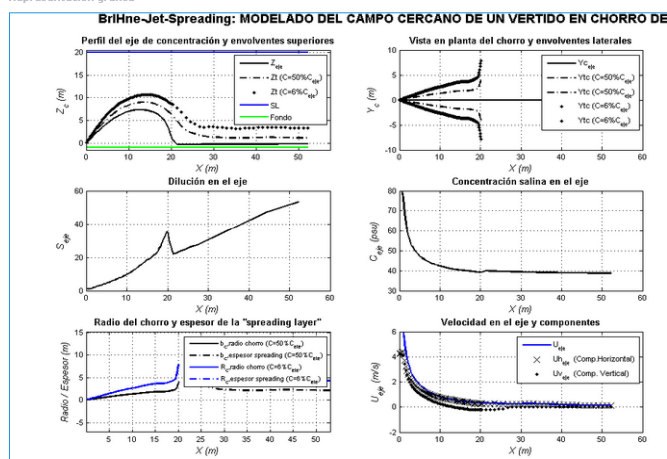
Variable	Valor
X_s , distancia horizontal desde la boquilla hasta el final de la "spreading layer", y del campo cercano	53.06 m
h_{cs} , espesor de concentración de la "spreading layer" al final del campo cercano (6% de la concentración en el eje)	4.28 m
h_{vs} , espesor de velocidad la "spreading layer" al final del campo cercano (6% de la velocidad en el eje)	5.18 m
Z_{cs} , altura del eje de concentración de la "spreading layer" respecto al fondo al final del campo cercano	0.83 m
Z_{vs} , altura del eje de velocidades la "spreading layer" respecto al fondo al final del campo cercano	1.50 m
S_s , dilución en el eje (mínima) de la "spreading layer" al final de campo cercano	54.2
C_s , concentración salina en el eje (máxima) de la "spreading layer" al final de campo cercano	38.8 psu
U_s , velocidad (horizontal) en el eje de la "spreading layer" al final de campo cercano	0.12 m/s

Descargas

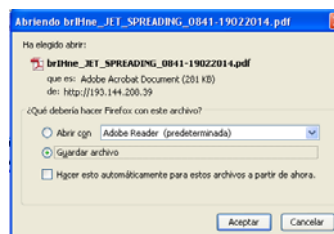
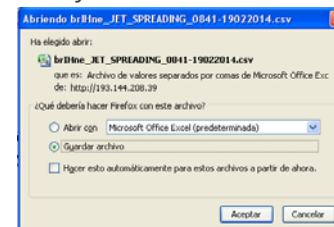
[Datos brutos](#)

[Informe de ejecución](#)

Representación gráfica



Descarga de fichero Excel con tabla de resultados numéricos de evolución del flujo



Descarga de fichero "pdf" con informe de resultados de la ejecución del modelo

D). INFORME DE RESULTADOS

El informe de resultados de los modelos "brIHne" es un fichero en "pdf" con toda la información relativa a la predicción del comportamiento del vertido. En el caso del modelo brIHne-Jet-Spreading incluye la siguiente información:

- Datos de entrada al modelo introducidos por el usuario, valor de los flujos característicos y de las escalas de longitud.
- Evolución de las siguientes variables del flujo, desde la boquilla hasta el final del campo cercano:
 - Trayectoria del eje de concentraciones (X_c, Z_c) y del eje de velocidades (X_u, Z_u) y longitud de las trayectorias del eje de concentraciones (L_c) y de velocidades (L_u).
 - Valores de dilución (S), concentración salina (C), densidad (ρ), velocidad del efluente (U) y sus componentes vertical y horizontal (U_h, U_v), y número de Froude Densimétrico (F_{rd}).
 - Valores de ancho del chorro y espesor de la capa de esparcimiento lateral ("spreading layer") a lo largo de la trayectoria del flujo, obtenidos a partir tanto de los campos de concentraciones (b_c) y de los campos de velocidades (b_u).
- Características del flujo (altura, alcance horizontal, dilución, ancho, velocidad, etc.) en los puntos singulares de la trayectoria: punto de máxima altura, punto de retorno (donde el eje del chorro alcance en su trayectoria descendente el nivel de la boquilla de vertido), punto de impacto del chorro con el fondo (el eje alcanza su nivel mínimo, el más cercano al fondo) y el final del campo cercano.
- Perfiles de velocidad y de concentración de la capa de esparcimiento lateral ("spreading layer") al final del campo cercano. Estos perfiles (forma y espesor) establecen las condiciones para el acoplamiento de la simulación a un modelo de campo lejano.
- Tabla de datos numéricos de evolución del comportamiento del flujo de salmuera.

La siguiente figura muestra un ejemplo de dicho informe de resultados obtenido al ejecutar el modelo.

Informe de ejecución brHne_JET_SPREADING (Versión 1.0) - Proyecto 'Proyecto 1'

Descripción del proyecto

Parámetros de entrada

Condiciones del medio receptor	Profundidad media en la zona de vertido [H _a (m)]	20
	Salinidad [C _a (psu)]	38
	Densidad [ρ _o (Kg/m ³)]	1023
Características del efluente	Concentración salina [C _o (psu)]	80
	Densidad [ρ _o (Kg/m ³)]	1050
Características del dispositivo de vertido	Velocidad de salida del chorro [U _o (m/s)]	0.25
	Diámetro boquilla [D _o (m)]	45
	Ángulo de inclinación del chorro [θ _{inclin} o (sexages)]	45
	Altura de la boquilla respecto al fondo [h _o (m)]	1

Datos de entrada introducidos por el usuario

Flujos y escalas de longitud

Q _o	0.29 m ³ /s
M _o	1.77 m ⁴ /s ²
J _o	0.08 m ⁴ /s ³
Q _{oo}	12.37 psu ² m ³ /s
L _o	0.22 m
L _M	5.65 m
Número de Froude densimétrico, F _{do}	23.6

Flujos y escalas de longitud

Principales características del chorro

Z _m , máxima altura del eje del chorro	7.34 m
X _m , alcance horizontal del eje del chorro en el punto de máxima altura	12.65 m
Z _l , máxima altura del borde superior del chorro	10.54 m
S _m , dilución en el eje (mínima) en el punto de máxima altura	14.0
C _m , concentración salina en el eje (máxima) en el punto de máxima altura	41.0 psu
r _m , radio del chorro donde la concentración es un 50% de la del eje (C=50%C _{eje}) en el punto de máxima altura	1.6 m
R _m , radio del chorro donde la concentración es un 6% de la del eje (C=6%C _{eje}) en el punto de máxima altura	3.2 m
X _r , alcance horizontal del eje del chorro en el punto de retorno (nivel de la boquilla)	20.63 m
S _r , dilución en el eje (mínima) en el punto de retorno	26.9
C _r , concentración salina en el eje (máxima) en el punto de retorno	39.6 psu
r _r , radio del chorro donde la concentración es un 50% de la del eje (C=50%C _{eje}) en el punto de retorno	4.1 m
R _r , radio del chorro donde la concentración es un 6% de la del eje (C=6%C _{eje}) en el punto de retorno	8.2 m
X _i , alcance horizontal del eje del chorro en el punto de impacto del chorro con el fondo	20.63 m
S _i , dilución en el eje (mínima) en el punto de impacto del chorro con el fondo	26.9
C _i , concentración salina en el eje (máxima) en el punto de impacto del chorro con el fondo	39.6 psu

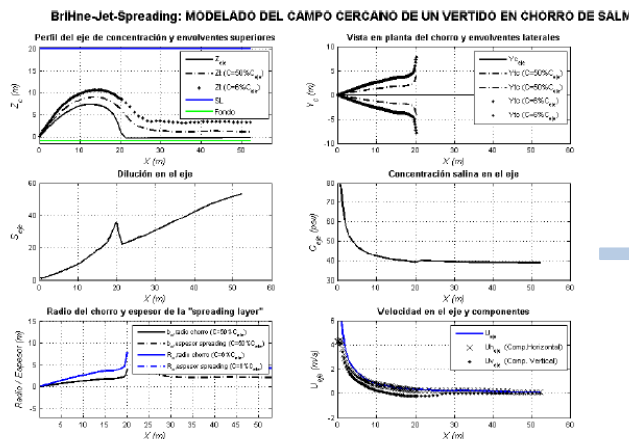
Principales características del chorro

Características de la spreading layer

X _s , distancia horizontal desde la boquilla hasta el final de la "spreading layer", y del campo cercano	53.06 m
h _{cs} , espesor de concentración de la "spreading layer" al final del campo cercano (6% de la concentración en el eje)	4.28 m
h _{vs} , espesor de velocidad la "spreading layer" al final del campo cercano (6% de la velocidad en el eje)	5.18 m
Z _{cs} , altura del eje de concentración de la "spreading layer" respecto al fondo al final del campo cercano	0.83 m
Z _{vs} , altura del eje de velocidades la "spreading layer" respecto al fondo al final del campo cercano	1.50 m
S _s , dilución en el eje (mínima) de la "spreading layer" al final de campo cercano	54.2
C _s , concentración salina en el eje (máxima) de la "spreading layer" al final de campo cercano	38.8 psu
U _s , velocidad (horizontal) en el eje de la "spreading layer" al final de campo cercano	0.12 m/s

Principales características de la capa de esparcimiento lateral ("spreading layer")

Gráficas de Evolución de Variables



Gráficos de evolución de las variables del flujo

Tabla de Resultados Numéricos

Xeje	Zc_eje	Leje	Seje	Ceje	rho_eje	theta	Rc(radio, chorro // espesor, spr ending)	Zu_eje	Ueje	Uh_eje	Uv_eje	Feje
0.00	0.00	0.00	1.00	80.00	1050.00	45.00	0.13	0.00	6.00	4.24	4.24	23.58
0.32	0.32	0.45	1.00	80.00	1050.00	44.48	0.13	0.32	6.00	4.29	4.20	23.58
0.64	0.62	0.90	1.00	80.00	1050.00	43.76	0.13	0.62	6.00	4.35	4.13	23.49
0.96	0.93	1.34	1.09	76.52	1047.76	43.57	0.29	0.92	6.00	4.36	4.12	22.87
1.28	1.23	1.77	1.36	68.86	1042.84	43.04	0.38	1.22	5.05	3.71	3.42	22.33
1.60	1.52	2.21	1.63	63.73	1039.54	42.59	0.46	1.51	4.35	3.23	2.92	21.67
1.91	1.81	2.64	1.90	60.07	1037.19	42.15	0.55	1.79	3.83	2.87	2.53	20.90
2.23	2.10	3.07	2.17	57.32	1035.42	41.72	0.64	2.07	3.42	2.59	2.23	20.04
2.55	2.38	3.49	2.44	55.19	1034.04	41.29	0.72	2.34	3.09	2.36	1.99	19.12
2.87	2.66	3.92	2.72	53.47	1032.94	40.82	0.81	2.61	2.81	2.17	1.79	18.34
3.19	2.93	4.34	2.99	52.06	1032.04	40.25	0.90	2.87	2.58	2.01	1.62	17.61
3.51	3.20	4.75	3.17	51.26	1031.52	39.62	0.99	3.12	2.39	1.87	1.49	16.98
3.83	3.46	5.16	3.47	50.10	1030.78	38.96	1.08	3.37	2.22	1.75	1.37	16.42
4.15	3.71	5.57	3.75	49.20	1030.20	38.26	1.18	3.62	2.08	1.65	1.26	15.92
4.47	3.96	5.98	4.03	48.43	1029.70	37.52	1.27	3.86	1.95	1.56	1.17	15.47
4.79	4.20	6.37	4.34	47.67	1029.22	36.72	1.36	4.10	1.84	1.48	1.09	15.09
5.10	4.43	6.77	4.65	47.04	1028.81	35.87	1.45	4.33	1.74	1.41	1.02	14.72
5.42	4.66	7.16	4.95	46.49	1028.46	34.98	1.54	4.56	1.65	1.34	0.95	14.36
5.74	4.87	7.55	5.19	46.09	1028.20	34.04	1.63	4.78	1.56	1.29	0.89	14.01
6.06	5.08	7.93	5.46	45.69	1027.94	33.07	1.72	5.00	1.49	1.24	0.83	13.64
6.38	5.29	8.31	5.81	45.23	1027.65	32.07	1.81	5.21	1.40	1.18	0.76	13.26
6.70	5.48	8.68	6.16	44.82	1027.39	31.03	1.89	5.41	1.33	1.12	0.70	12.87
7.02	5.67	9.05	6.45	44.52	1027.19	29.94	1.96	5.60	1.25	1.07	0.65	12.51
7.34	5.85	9.42	6.69	44.28	1027.03	28.77	2.04	5.79	1.19	1.02	0.60	12.14
7.66	6.01	9.78	6.99	44.01	1026.86	27.52	2.11	5.97	1.13	0.98	0.55	11.80
7.98	6.17	10.13	7.37	43.70	1026.66	26.20	2.19	6.15	1.07	0.95	0.51	11.47
8.29	6.33	10.49	7.72	43.44	1026.50	24.80	2.27	6.31	1.02	0.91	0.46	11.19
8.61	6.47	10.84	8.01	43.25	1026.37	23.34	2.35	6.47	0.97	0.88	0.42	10.93
8.93	6.60	11.18	8.38	43.01	1026.22	21.80	2.42	6.62	0.94	0.85	0.39	10.67
9.25	6.72	11.52	8.83	42.76	1026.06	20.21	2.49	6.75	0.90	0.83	0.35	10.41
9.57	6.83	11.86	9.20	42.57	1025.93	18.55	2.55	6.88	0.86	0.80	0.31	10.15
9.89	6.93	12.19	9.58	42.39	1025.82	16.79	2.60	7.00	0.81	0.76	0.28	9.92
10.21	7.02	12.53	9.97	42.21	1025.71	14.97	2.65	7.11	0.78	0.74	0.25	9.69
10.53	7.10	12.85	10.39	42.04	1025.60	13.09	2.70	7.21	0.74	0.71	0.21	9.49
10.85	7.16	13.18	10.83	41.88	1025.49	11.17	2.77	7.30	0.71	0.68	0.19	9.32
11.17	7.22	13.50	11.32	41.71	1025.39	9.26	2.85	7.38	0.69	0.67	0.16	9.20
11.48	7.26	13.83	11.91	41.53	1025.27	7.39	2.93	7.45	0.67	0.65	0.13	9.11
11.80	7.30	14.15	12.41	41.39	1025.18	5.56	3.01	7.51	0.65	0.64	0.11	9.05
12.12	7.32	14.47	12.97	41.24	1025.08	3.74	3.08	7.56	0.64	0.63	0.09	9.01
12.44	7.34	14.79	13.55	41.10	1024.99	1.85	3.15	7.59	0.62	0.62	0.06	8.97
12.76	7.34	15.11	14.18	40.96	1024.90	-0.12	3.22	7.62	0.61	0.60	0.04	8.90
13.08	7.33	15.42	14.88	40.82	1024.81	-2.16	3.28	7.63	0.59	0.59	0.02	8.81
13.40	7.31	15.74	15.48	40.71	1024.74	-4.21	3.36	7.64	0.57	0.57	0.00	8.69
13.72	7.28	16.06	16.06	40.64	1024.70	-6.19	3.43	7.63	0.55	0.55	-0.02	8.55
14.04	7.24	16.39	16.49	40.55	1024.64	-8.06	3.49	7.61	0.53	0.52	-0.04	8.41
14.36	7.19	16.71	17.12	40.45	1024.58	-9.82	3.53	7.58	0.50	0.50	-0.05	8.24

Tabla con resultados numéricos de evolución de las variables del flujo

Observaciones:

El modelo ha sido desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental.

Para dudas, consultas y más información sobre el modelo: brl-hnesupport@ihcantabria.com

Calibración del modelo:

El modelo simula el comportamiento del vertido en chorro de salmuera en la región de campo cercano aplicando las fórmulas de análisis dimensional para chorros de flotabilidad negativa propuestas por [1] y [2], y las fórmulas de análisis dimensional para la capa de esparramiento lateral ("spreading layer") propuestas en [2].

Observaciones y calibración del modelo

Estas fórmulas han sido calibradas [3] con datos experimentales obtenidos de ensayos de laboratorio realizados en el Instituto de Hidráulica Ambiental (Universidad de Cantabria) mediante técnicas ópticas no intrusivas de anemometría láser: PIV (Particle Image Velocimetry) and PLIF (Planar Laser Induced Fluorescence). Estas técnicas permiten obtener sincronizadamente los campos instantáneos de concentración y velocidad del flujo, con alta resolución espacial y temporal, obteniéndose datos de alta calidad, adecuados para la calibración de modelos numéricos.

Definición de variables del flujo

Variables:

Origen de coordenadas en el centro de la boquilla (0,0,0).

Xeje: coordenada horizontal del eje.

Zc_eje: coordenada vertical del eje de concentraciones.

Leje: longitud del eje de concentraciones. Seje: dilución en el eje del flujo.

Rho_eje: densidad en el eje del flujo.

Theta: curvatura del eje (ángulo del eje con respecto al fondo).

Rc: radio del chorro // espesor de la spreading layer desde el fondo, correspondientes a una concentración igual al 6% de la de concentración en el eje.

Zu_eje: coordenada vertical del eje de velocidades.

Ueje: velocidad en el eje del chorro.

Uh_eje: componente horizontal de la velocidad en el eje.

Uv_eje: Componente vertical de la velocidad en el eje.

Feje: número de Froude Densimétrico en el eje

Referencias:

[1] Pincince, A. B., List, E. J. (1973). "Disposal of brine into an estuary". Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 45, pp. 2335 - 2444.

[2] Roberts, P. J. W., Toms, G. (1987). "Inclined dense jets in a flowing current". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 113, nº 3, pp. 323 - 341.

[3] Palomar, P. (2014). "Experimental and numerical optimization of hypersaline discharges in the marine environment". Ph.D Thesis, Environmental Hydraulics Institute, University of Cantabria, Spain (en desarrollo)

Referencias

E) REFERENCIAS

Pincince, A. B., List, E. J. (1973). "Disposal of brine into an estuary". Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 45, pp. 2335 - 2444.

Roberts, P. J. W., Toms, G. (1987). "Inclined dense jets in a flowing current". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 113, nº 3, pp. 323 - 341.

Roberts, P. J. W., Ferrier, A. Daviero, G. (1997). "Mixing in inclined dense jets". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 123, No 8, pp. 693 - 699.