

Ficha 3.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DEL SOFTWARE **CORMIX**

V. 1.1

Este documento se ha obtenido como resultado del proyecto de I+D+i: **MEDVSA**.
“Desarrollo e implementación de una metodología para la reducción del impacto ambiental de los vertidos de salmuera procedentes de las plantas desaladoras”
045/RN08/03.3.

La Guía Metodológica desarrollada en MEDVSA incluye los documentos:

- *GUÍA METODOLÓGICA*
- *Anexo 1. Fichas descriptivas de los modelos comerciales*
- *Anexo 2. Modelos de simulación brIHne.*
- *Anexo 3. Formulación basada en los resultados experimentales*
- *Anexo 4. Caracterización de clima marino*
- *Anexo 5. Reglas básicas para la implementación de modelos CFDs en la simulación de campo cercano*
- *Anexo 6. Reglas básicas para la implementación de modelos hidrodinámicos en la simulación de campo lejano*
- *Anexo 7. Medidas preventivas y Programa de Vigilancia Ambiental*

El presente documento es parte del **Anexo 1: Fichas descriptivas de los modelos comerciales**

Autores:

INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL (IH CANTABRIA)

CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS (CEDEX)

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DEL SOFTWARE CORMIX (THE CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM).

1. INTRODUCCIÓN. AUTORES

El paquete de software CORMIX nace en 1986 en la Universidad de Cornell, como proyecto subvencionado por la EPA (Environmental Protection Agency) y durante los años siguientes se desarrollan los subsistemas CORMIX 1, 2 y 3, en sus diferentes versiones (v1.0, v2.0, v.2.1, v3.0, v3.10, v3.2). Los investigadores principales durante este periodo fueron: G.H. Jirka (Comirx1), P.J. Akar (Cormix2), G.R.Jones (Cormix3) y J.D.Nash (Tidal component). A partir de 1996, el sistema CORMIX pasa a depender del Instituto de Oregon, con el profesor R.L. Doneker como investigador principal y el profesor G.H. Jirka, como consejero científico. Durante estos años se publican nuevas versiones comerciales de CORMIX (v.4.0, v4.03b, v.4.1E, v4.1G, v4.1GT, v4.1GTR, v4.2, etc.) hasta su versión más reciente: v6.0 (2009).

CORMIX es un sistema de clasificación (1) con distintos subsistemas, calibrados y validados con datos de laboratorio, para la caracterización de vertidos de distintos tipos de efluentes y bajo diferentes dispositivos de descarga. El programa, reconocido oficialmente por la EPA, es uno de los más utilizados en la simulación de vertidos.

Los autores del programa estiman desviaciones entre las predicciones de CORMIX y los resultados reales de un 50%, respecto a la geometría del chorro o pluma, las concentraciones y el grado de dilución (2), para cualquier tipo de vertido y efluente simulado.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CORMIX: HERRAMIENTAS.

El software CORMIX incluye herramientas para la simulación del comportamiento en campo cercano y lejano de vertidos de flotabilidad positiva, neutra y negativa, abarcando escalas espaciales entre 10^{-2} y 10^4 m, y escalas temporales entre 10 y 10^5 s.

Su sistema de clasificación incluye los siguientes niveles:

Subsistemas: clasificación según el tipo de dispositivo de descarga. Se incluyen CORMIX1, CORMIX2, CORMIX3 y D-CORMIX.

Categorías: clasificación según el ángulo de inclinación del chorro y la flotabilidad del efluente, atrapamiento de la pluma en un medio estratificado, efecto de adhesión ("attachment"), efecto COANDA, etc.

Clases de flujo: según el protagonismo de las siguientes variables en el comportamiento del flujo: cantidad de movimiento, flotabilidad, corriente del medio receptor, estratificación en la columna de agua, etc. Las clases de flujo son distintas en cada subsistema.

Módulos: Clasificación final de los flujos; a cada módulo se asocian fórmulas de cálculo para caracterizar el comportamiento del efluente vertido.

CORMIX utiliza técnicas de inteligencia artificial para la clasificación del flujo, con más de 2000 reglas para evaluar las condiciones de la descarga y del medio receptor.

En la Tabla 1 se describen brevemente los subsistemas de CORMIX y las herramientas adicionales, así como los subprogramas que utiliza el CORMIX para la ejecución de las tareas de clasificación, simulación del fenómeno y presentación de resultados. En las fichas individuales, elaboradas para los subsistemas CORMIX1, 2, 3 y D-CORMIX, y el módulo CORJET, se realiza una descripción mucho más detallada.

Para más información (manual de usuario, versión DEMO del programa), se puede consultar la página web del sistema CORMIX: <http://www.cormix.info/>.

Asimismo resulta interesante la página web con las validaciones de cada uno de los casos: <http://www.mixzon.com/benchmark/>, y la página de EPA (Environmental

Protection Agency): <http://www.epa.gov/waterscience/standards/mixingzone/docs.html#tech>, que incluye la base teórica y los ensayos utilizados para la calibración y validación de los submódulos CORMIX1 y CORMIX2:

HERRAMIENTAS DE MODELADO EN EL SISTEMA CORMIX			
<i>Campo cercano y lejano</i>	Modelos basados en el análisis dimensional (Escala de longitud)	CORMIX 1 (3)	Subsistema de CORMIX. Vertido sumergido, mediante chorro individual, con emisario submarino apoyado en el fondo y cercano a la superficie (D-CORMIX) Flujos de flotabilidad positiva, negativa o neutra.
		CORMIX 2 (4)	Subsistema de CORMIX. Vertido sumergido, mediante tramo difusor de chorros múltiples, con emisario submarino apoyado en el fondo. Flujos de flotabilidad positiva, negativa o neutra.
		CORMIX 3 (5)	Subsistema de CORMIX. Vertidos directos superficiales Flujo de flotabilidad positiva, en general. Opción de flujos de flotabilidad negativa (D-CORMIX).
		D-CORMIX (6)	Subsistema de CORMIX. Vertido emergido y sumergido cercano a la superficie del medio receptor--- mediante CORMIX1 (flujos invertidos) Vertidos directos superficiales desde la línea de costa---mediante CORMIX3 (flujos invertidos). Flujos de flotabilidad negativa
	Modelos basados en la integración numérica de ecuaciones	CORJET (7)	Módulo de CORMIX. Vertido sumergido mediante chorro individual o chorros múltiples, con emisario cercano al fondo. Flujos de flotabilidad positiva, negativa o neutra Modelo euleriano tridimensional.
<i>Campo lejano</i>	Post-proceso FFLOCATR		Distribución de las líneas de flujo de la pluma en campo lejano en un medio receptor con geometría (en planta y/o alzado) irregular. Flujos de flotabilidad positiva, negativa.
<i>Adicionales</i>	CORSPY		Herramienta de visualización interactiva en 2D y 3D para diseño.
	CORVUE		Herramienta de visualización interactiva en 2D y 3D para evaluar las propiedades de la pluma y de la zona de mezcla.
	CORDATA		Herramienta de preproceso de datos importados de MS-DOS.
	CONSENS		Herramienta automática inteligente para análisis de sensibilidad en la zona de mezcla y recomendaciones en el diseño de los emisarios.
	BASE DE DATOS GIS		Herramienta para integrar capas GIS de información disponibles en la base de datos de la USEPA con resultado de CORMIX
	CORHELP		Herramienta de ayuda sobre la base teórica y manejo del CORMIX.
	BENCHMARKS		Herramienta para conocer los ensayos de laboratorio y medidas de campo de validación de cada uno de los módulos de CORMIX.
	CORVAL		Herramienta para la validación continua online de los resultados obtenidos de CORMIX con una base de datos online, actualizable.
	CORHYD		Herramienta de cálculo hidráulicos internos en las tuberías

Tabla 1: Principales subsistemas y herramientas para la clasificación, cálculos y presentación de resultados en el software CORMIX.

Para la simulación de vertidos de salmuera serán aplicables los subsistemas capaces de simular efluentes de flotabilidad negativa, que son: el CORMIX1, CORMIX2 y D-CORMIX, así como el módulo de simulación CORJET.

Respecto a los subprogramas, el siguiente cuadro ilustra brevemente los pasos que se siguen en la clasificación y simulación del fenómeno:

Módulo DATIM: Gestiona la entrada de datos mediante la interfaz de usuario (características del efluente y del medio receptor, condiciones de descarga, condiciones hidrodinámicas, etc.).

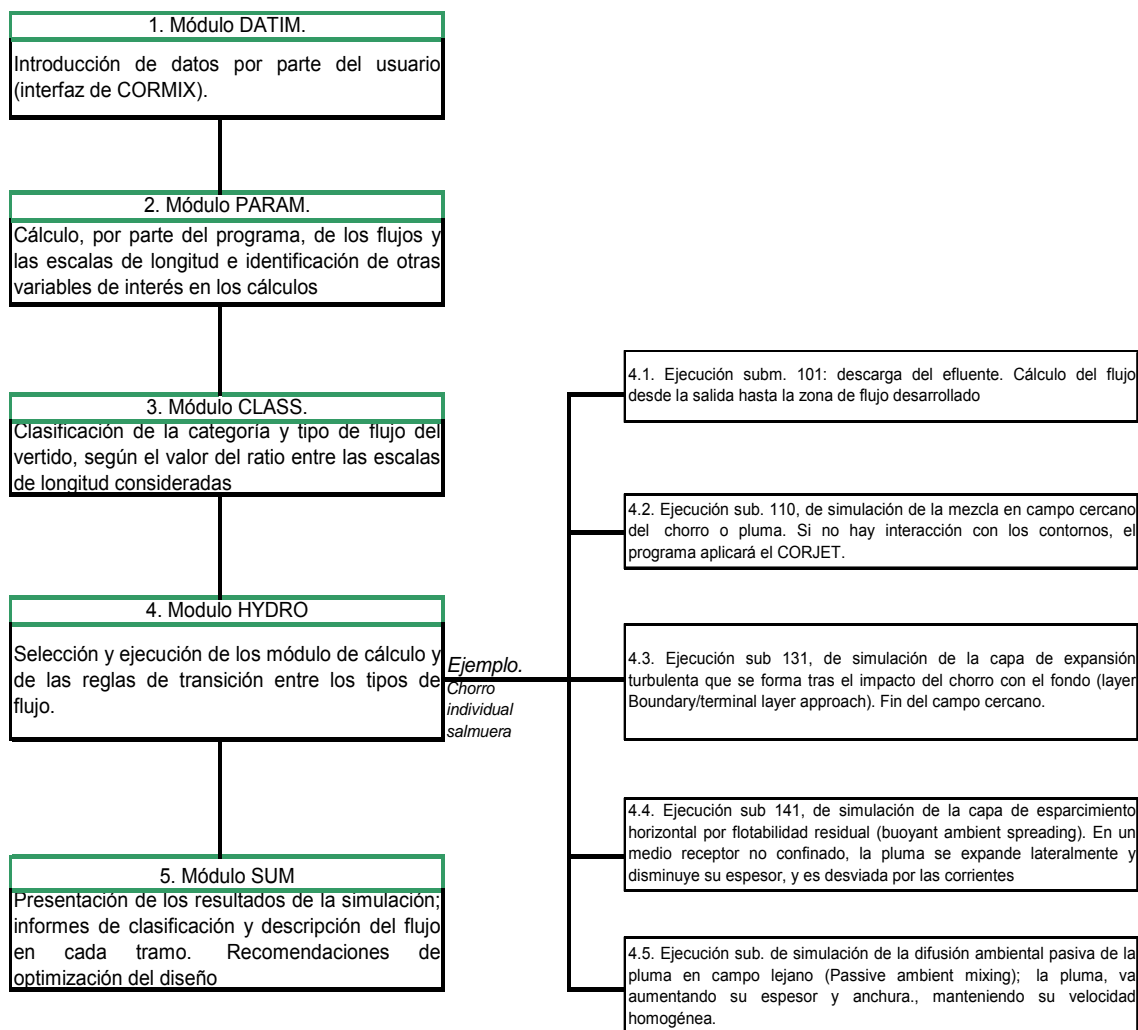
Módulo PARAM: Calcula las variables de flujo (masa, cantidad de movimiento, flotabilidad), las escalas de longitud y otros.

Módulo CLASS: Subprograma fundamental del CORMIX. Asigna categoría y clase al flujo, en trece pasos, nueve de los cuales están relacionados con la estratificación del medio receptor.

Módulo HYDRO: Aplica el protocolo (selección y ejecución de módulos de cálculo) y las reglas de transición (para el paso de uno a otro módulo, según el comportamiento del flujo durante el desarrollo del fenómeno). Calcula y ejecuta las fórmulas.

Módulo SUM: Presentación de resultados y sugerencia de recomendaciones para la optimización del diseño del vertido.

Así, la ejecución de un caso en CORMIX seguiría el siguiente orden secuencial:



Esta secuencia resulta transparente al usuario, que únicamente interactúa con la interfaz de introducción de datos y con las hojas de resultados:

3. BASE TEÓRICA. HIPÓTESIS SIMPLIFICATIVAS.

Los subsistemas CORMIX 1,2 y D-CORMIX basan su modelado en el análisis dimensional del fenómeno de vertido, que asume importantes simplificaciones, y del que derivan una serie de escalas de longitud y de variables influyentes cuya relación determina la clasificación y las fórmulas de cálculo para la caracterización del comportamiento del flujo en cada caso.

El módulo de cálculo CORJET es un modelo basado en la integración de las ecuaciones diferenciales de gobierno en la sección transversal del chorro, asumiendo una serie de hipótesis.

En todos los casos se asume un régimen estacionario: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$.

Los autores del programa estiman desviaciones entre las predicciones de CORMIX y los resultados reales de un 50%, para la geometría y dilución del chorro o pluma (2).

3.1. Subsistemas basados en el análisis dimensional del fenómeno: CORMIX1, CORMIX2, CORMIX3, D-CORMIX.

El análisis dimensional del fenómeno sigue los siguientes pasos:

- Se parte de considerar todas las variables influyentes en el fenómeno, y se seleccionan aquellas de mayor influencia, fijando el valor del resto, que serán magnitudes fijas. Las variables seleccionadas se combinan entre sí (**flujos**) para obtener el mínimo número posible de variables independientes, que representarán las fuerzas que gobiernan el comportamiento del efluente.

La relación entre flujos y con variables ambientales, deriva en una serie de escalas de la misma dimensión; en la caracterización de vertidos tiene dimensión de longitud (acorde con las variables geométricas de interés en el chorro). Por tanto, del análisis dimensional derivan monomios con **escala de longitud**, a partir de los cuales podrá ser expresada cualquiera de las variables de interés; la expresión más sencilla será una constante por el monomio.

Relacionando entre sí las escalas de longitud se obtienen **parámetros adimensionales**, que se utilizan para escalar los resultados experimentales, haciéndolos generalizables, de forma similar al uso del número de Reynolds para caracterizar la fricción del flujo. Con esta idea, se realizan experimentos en laboratorio en un amplio abanico de casos, cubriendo el espectro de configuraciones y rangos de interés. Con los resultados experimentales obtenidos se calibran las relaciones entre los parámetros adimensionales, que se utilizarán para describir el comportamiento del vertido. De este modo, el dominio espacial del vertido se divide en regiones en las que el comportamiento del efluente está gobernado por unas u otras fuerzas, y las escalas de longitud tendrán un rango de valores característicos en cada región.

Como se ha indicado, los coeficientes de proporcionalidad de las relaciones son experimentales, de modo que su valor dependerá de las magnitudes consideradas "fijas" en la hipótesis inicial. Por ejemplo, para los vertidos mediante chorro (para n° de Reynolds suficientemente grande), las fórmulas de cálculo resultan en relaciones asintóticas que expresan el valor de las variables incógnitas en función de las fuerzas de inercia y flotabilidad, expresadas a través del número de Froude densimétrico: $Fd = \frac{U}{\sqrt{g' d_o}}$, siendo U=velocidad de salida del efluente; $g' = \frac{\rho_o - \rho_a}{\rho_a}$;

aceleración reducida de la gravedad, d_o: diámetro de la boquilla. Para tener en cuenta el efecto de las variables secundarias se pueden añadir términos de perturbación a la ecuación.

Por tanto, en el análisis dimensional, las ecuaciones de gobierno se reducen a fórmulas algebraicas muy sencillas, con parámetros experimentales obtenidos de ensayos en laboratorio.

CORMIX en su ejecución identifica el caso real a simular con el más similar de su base de datos y aplica las fórmulas semiempíricas correspondientes.

Para **ilustrar los pasos y resultados derivados del análisis**

dimensional, se muestra la Figura1, que responde al esquema descrito a continuación:

1. Se identifican las variables influyentes en el fenómeno a modelar (variables axiales).
2. Se agrupan estas variables axiales formando nuevas variables integrales o flujos, que serán representativas de las distintas fuerzas que actúan sobre el efluente vertido.
3. Se relacionan las variables integrales entre sí, formando escalas de longitud; por ejemplo: L1, L2 y L3, que se relacionan a su vez entre sí formando adimensionales (L1/L2 y L3/L2). Si, por ejemplo, la variable incógnita es la dilución (Q/Q_0), ésta se expresará en función de estas relaciones.
4. En base a la anterior hipótesis, se busca la relación semiempírica que liga las variables adimensionales (variables independientes) con la variables incógnita. Esta relación semiempírica se obtiene del ajuste a datos experimentales. Si por ejemplo el vertido tiene regiones de distinto comportamiento (campo cercano, lejano, etc.) se necesitarán ecuaciones distintas para ajustar los datos experimentales en cada una de las regiones.

En la ejecución de este tipo de modelos basados en el análisis dimensional, el usuario introduce las variables axiales como datos de entrada. El modelo calcula los flujos, las escalas de longitud y las relaciones entre las mismas que serán adimensionales: L1/L2. Según el valor de estas relaciones, se aplicará una u otra de las ecuaciones semiempíricas de caracterización del flujo.

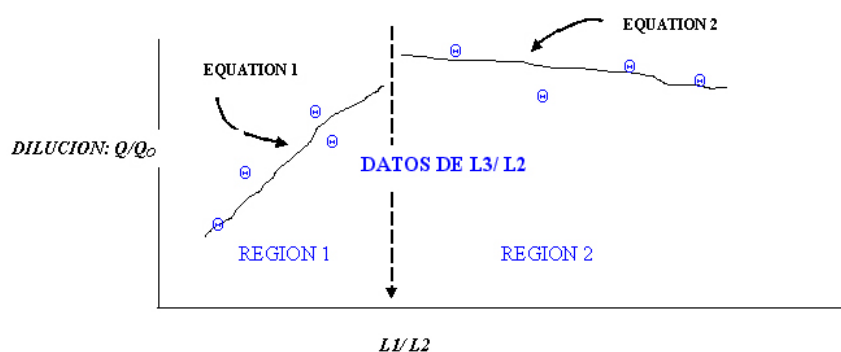


Figura 1: MEDIO RECEPTOR HOMOGÉNEO (Vertido mediante chorro individual sumergido)

Para que la transición entre un tipo de flujo y otro (por ejemplo, de campo cercano a lejano) sea realista ha de responder a la cesión suave y continua de protagonismo de una a otras fuerzas, la relación entre las escalas de longitud (ratio L3/L2 en la figura1) que define el paso de una región del flujo a otra (Región 1 a Región 2) debería ser una función calculada a través de un número suficiente de ensayos de laboratorio. En el caso más simple, la función sería una constante. Los subsistemas CORMIX1 y CORMIX2 esta constante es, en la mayoría de los casos, igual a la unidad, lo que supone una simplificación excesiva y una interpretación muy poco realista del fenómeno, que lleva en ocasiones a clasificaciones incorrectas del flujo.

La siguiente tabla 2 muestra un ejemplo de este hecho, para un diseño de vertido de salmuera mediante chorro individual en un medio receptor en reposo y de densidad homogénea:

DATOS INICIALES						
Chorro individual: $\rho_A = 1027.5 \text{Kg/m}^3$; $U_A = 0$, $\sigma = 0^\circ$; $U_o = 5 \text{m/s}$; $d_o = 0.2 \text{m}$; $h_o = 1 \text{m}$; $\rho_o = 1052 \text{Kg/m}^3$; $\theta = 60^\circ$.						
Calado en la zona de vertido: Caso 1: $H_A = 10.9 \text{m}$; Caso 2: $H_A = 10.8 \text{m}$						
CASO	Calado	Flujo CORMIX1	X (m)	BH (m)	Z (m)	S
1	10.9	NV2	10.2	1.4	1.4	15.4
2	10.8	NV5	13	27	5.4	85.5

TABLA 2. Ejemplo de sensibilidad de CORMIX a pequeñas modificaciones en los datos de entrada.

Siendo: ρ_A : densidad del medio receptor; U_A : velocidad de la corriente en el medio receptor; σ : ángulo horizontal entre el chorro y la corriente ambiental; U_o : velocidad de salida del chorro; d_o : diámetro del efluente; h_o : altura del difusor sobre el fondo; ρ_o : densidad del efluente; θ : ángulo de inclinación del chorro; X: distancia en la dirección vertido; B: ancho, en el caso 1 es la distancia radial correspondiente a una velocidad igual al 37% de la velocidad en el eje del chorro y en el caso 2 es un ancho horizontal; S: dilución del efluente, Z: altura del chorro/pluma.

Como método de modelado, el análisis dimensional será adecuado siempre que la configuración del dispositivo de vertido y el rango de valores de los datos de entrada sean análogos a los de los ensayos con que se calibraron las fórmulas semiempíricas de dicho análisis. En este sentido es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. En ocasiones no es posible caracterizar el flujo mediante una única ecuación sino que se necesitan distintas ecuaciones para caracterizar el flujo en las diferentes regiones de comportamiento (por ejemplo, el campo cercano y lejano), siendo necesario definir la función de transición de una región a otra. Si esta función se considera una constante y más aún, si se iguala a la unidad, como en CORMIX, el modelo generará errores importantes en las zonas frontera, llevando a clasificaciones y resultados muy diferentes ante modificaciones pequeñas de los datos de entrada.

2. Algunos fenómenos, como la interacción con los contornos y los fenómenos turbulentos no son reproducibles en laboratorio debido a los efectos de escala en los procesos de mezcla.

Para expresar la influencia de los distintos parámetros (características del efluente y del medio receptor y diseño del dispositivo de vertido) en el comportamiento del flujo, el sistema CORMIX utiliza más de 20 escalas de longitud.

3.2. Módulos basados en la integración de las ecuaciones diferenciales: CORJET.

Aparte de los subsistemas basados en el análisis dimensional del fenómeno, CORMIX incluye el módulo de cálculo CORJET: modelo tridimensional euleriano basado en la integración de las ecuaciones diferenciales, asumiendo un medio receptor ilimitado y autosemejanza entre secciones.

CORJET simula el vertido mediante chorro sumergido individual o chorros múltiples, de efluentes de flotabilidad positiva, negativa y neutra.

La integración simplifica el problema a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que CORJET resuelve por el método numérico de Runge Kutta de 4º orden, obteniendo la evolución de las variables en el eje del chorro. La tridimensionalidad se consigue asumiendo una distribución de tipo Gauss de las variables escalares y vectoriales en la sección transversal del chorro.

CORJET considera las siguientes fuerzas actuando en cada porción de chorro: fuerza de intrusión (por la cantidad de movimiento transmitida en la descarga); fuerza de flotabilidad (por la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor), y fuerza de arrastre o rozamiento. La incorporación de agua del medio receptor al chorro es estimada a través de un coeficiente ("entrainment"), que incluye una componente acimutal y otra transversal.

3.2. Módulos basados en el volumen de control.

Algunos de los módulos de cálculo que incluyen los subsistemas CORMIX1 y CORMIX 2, por ejemplo el mod. 141 de modelado de la capa de esparcimiento horizontal por flotabilidad residual ("spreading layer") se basan en el volumen de control. Se trata de "modelos de caja negra", donde los valores de entrada ("input") son introducidos por el usuario y los valores de salida responden a una fórmula semiempírica. Los valores intermedios, que parecen describir la evolución del fenómeno, son una interpolación genérica del programa que no responde a la resolución de las ecuaciones..

Respecto al modelo de simulación de esta **capa de esparcimiento horizontal por flotabilidad residual ("spreading layer")**, CORMIX aplica el Mod. 131: "*layer Boundary/terminal layer approach*", asumiendo que, tras el impacto del chorro con el fondo, el flujo se expande radialmente sobre el fondo, conservando el flujo de volumen y de la masa de contaminante, pero no el flujo de *cantidad de movimiento*, que pasa de ser vertical (trama descendente del chorro) a horizontal (capa de esparcimiento horizontal). La expansión radial dependerá de la flotabilidad. En la capa o pluma turbulenta que sigue al impacto, la concentración se homogeneiza horizontal y verticalmente. Los resultados finales de comportamiento de esta capa responden a fórmulas semiempíricas basadas en parámetros experimentales, los valores intermedios son extrapolaciones.

Alcanzado el colapso de la turbulencia, el programa considera el inicio de la estratificación del flujo, el final del campo cercano y el comienzo del campo lejano. CORMIX modela la **capa de mezcla** con un nuevo módulo (Mod. 141. "*buoyant ambient spreading*"), donde la pluma hipersalina se expande lateralmente por efecto de la gravedad, a la vez que disminuye su espesor, afectada por las corrientes en el medio receptor pero no por la pendiente del fondo.

El siguiente módulo caracteriza la **corriente de gravedad en campo lejano** (Mod: "*Passive ambient mixing*"), donde los procesos de mezcla son pasivos, inducidos por la dinámica en el medio receptor. En esta zona la pluma aumenta en anchura y espesor y la dilución es muy pequeña.

La Figura 2 muestra el proceso de incorporación de agua del medio receptor al efluente, mediante procesos de difusión pasiva:

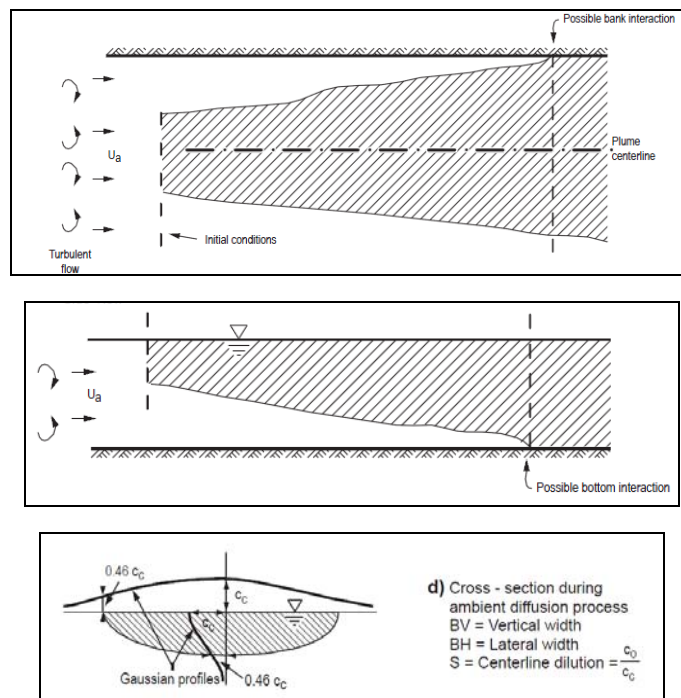


Figura 2: Esquema del comportamiento de la pluma en la zona de mezcla pasiva ("Passive ambient mixing"), Planta (arriba) y perfil (medio) y sección transversal (abajo). Fuente: Manual de CORMIX (1)

La descripción y base teórica de cada uno de los subsistemas se explica con más detalle en las fichas individualizadas.

4. LIMITACIONES Y POSIBILIDADES DEL PROGRAMA.

Las tablas 3 y 4 señalan las principales posibilidades y limitaciones del software CORMIX; entendidas posibilidades, como opciones o ventajas del programa, y limitaciones, como restricciones, carencias o desventajas, en la simulación de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa.

POSIBILIDADES DEL SOFTWARE CORMIX	
Modelado de la física del proceso	El esquema de clasificación de CORMIX incluye un amplio abanico de dispositivos de vertido : vertido mediante chorros sumergidos individual o múltiples, vertido superficial, etc..
	Incluye herramientas para la simulación de efluentes de flotabilidad positiva y negativa.
	Permite simular efluentes con distintos tipos de efluentes : con contaminantes conservativos o no, vertidos térmicos y vertidos cargados de sólidos en suspensión.
	Tiene en cuenta las condiciones en el medio receptor (intensidad y dirección de la corriente, densidad o salinidad/temperatura) y su influencia en el comportamiento del vertido.
	Modela fenómenos físicos complejos, tales como: interacción del flujo con los contornos , efecto COANDA, esparcimiento lateral, difusión pasiva, etc.; fenómenos muy difíciles de simular con modelos matemáticos que resuelven las ecuaciones de gobierno
	Teóricamente puede simular de forma aproximada el comportamiento continuo del efluente en campo cercano y lejano, mediante el acoplamiento de distintos módulos. Existe una propuesta en fase de prueba para acoplar los resultados de CORJET (modelo de campo cercano o mezcla inicial) a un modelo hidrodinámico tridimensional.
	Considera la no linealidad en la ecuación de estado. Considera efectos por gradiente térmico y densimétrico entre efluente y medio receptor, siempre que existan diferencias de la menos 4°C
Manejo del programa	El manejo es sencillo, no requiere de un usuario experto y la interfaz es amigable
	El programa no toma valores por defecto, si falta algún valor por introducir, el modelo no se ejecuta. Si detecta inconsistencia en los datos de entrada, el programa avisa al usuario.
	Tiempo de computación muy pequeño, cálculos prácticamente instantáneos
	Pulsando sobre cualquiera de las variables con el botón derecho, el programa presenta una casilla de ayuda, definiendo el significado físico de la variable.
	Incluye una herramienta (CORSENS) para la realización de estudios de sensibilidad de los resultados a los datos de entrada.
Resultados del programa	Incluye diferentes informes de resultados de modelado del flujo: <ul style="list-style-type: none"> - Informe de resultados, incluyendo los datos de entrada del caso simulado (<i>Session Report</i>) - Resultados numéricos detallados del comportamiento del flujo (<i>Prediction file</i>). - Clasificación y descripción de la clase de flujo (<i>Flow class description</i>) - Recomendaciones para el diseño (<i>Design Recommendations</i>) - Pasos intermedios: valor de los flujos, reglas de calculo, etc. (<i>Rulebase Browser Display options</i>).
	Incluye distintos gráficos de evolución de la geometría del chorro/pluma y de la dilución.

TABLA 3. Posibilidades del software CORMIX en la simulación de vertidos de

efluentes de flotabilidad negativa. Posibilidades respecto al modelado del proceso físico, al manejo o uso del programa y a la obtención de resultados.

LIMITACIONES DEL PAQUETE DE PROGRAMAS CORMIX	
Modelado de la física del proceso	Los resultados obtenidos pueden llevar asociados errores muy significativos en los casos en que el rango de valores de los datos de entrada se encuentre fuera del rango con que se realizaron los estudios experimentales para la calibración de las fórmulas. Por tanto, el ámbito de aplicabilidad y fiabilidad de CORMIX depende mucho de la calidad y de la cantidad de ensayos realizados. Una de las principales limitaciones de CORMIX es que la calibración y validación de resultados para flujos de flotabilidad negativa es muy escasa e incluso nula.
	CORMIX es un modelo estacionario que no permite introducir series de datos temporales, por lo que no es posible considerar variaciones de las condiciones de descarga, ambientales, etc.
	Las fórmulas semiempíricas de los módulos de cálculo son muy simples y consideran un solo efecto o fuerza actuante en el comportamiento del flujo en lugar de combinaciones de ellos.
	Simplificaciones muy importantes son asumidas en la geometría del medio receptor. El módulo CORJET requiere asumir un medio receptor sea ilimitado (ver figura 1)
	No es posible modelar recirculaciones inducidas del vertido.
	No permite simular vertidos en playas de bolos, sobre estructuras de escolleras, vertidos directos, vertidos emergidos, etc.
	No considera el efecto del oleaje sobre la mezcla vertical y horizontal.
	Para la mayor parte de los subsistemas, la velocidad en el medio receptor debe de ser homogénea (en intensidad y dirección) en toda la columna de agua.
	No es posible para el usuario modificar los parámetros experimentales. Es, por tanto, un modelo de código cerrado.
	La clasificación que realiza el subprograma CLASS incluye trece casos de los cuales nueve se refieren a flujos afectados por un medio receptor estratificado. Por tanto, sólo hay cuatro tipos de flujo en caso de medio receptor homogéneo.
	Los subsistemas CORMIX 1 y CORMIX2 adoptan como distancia de establecimiento de perfiles autosemejantes (de paso de perfil homogéneo a perfil de tipo Gauss) una distancia igual a L_Q , siendo $L_Q = D$ (diámetro de la boquilla). Esto supone un error, dado que ensayos experimentales han demostrado valores de $L_Q=6.11D$, en este tipo de chorros con flotabilidad.
	Los perfiles de densidad que los subsistemas CORMIX1 y CORMIX2 puede modelar se limitan a unas cuantas configuraciones prefijadas
	Dificultades de simulación en el caso de grandes volúmenes de fluido en aguas reducidas.
En la simulación del comportamiento de la pluma en el campo lejano, CORMIX asume una pendiente del fondo nula, por lo que son la cantidad de movimiento residual y la velocidad de la corriente en el medio receptor los que determinan la trayectoria del efluente. Si la corriente en el medio receptor es nula, la simulación en campo lejano no se ejecuta.	

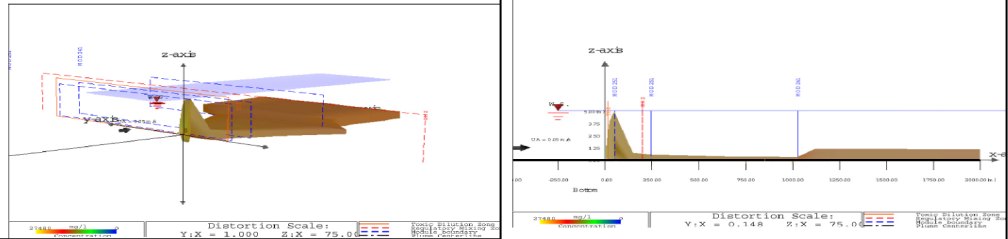
	<p>Los acoplamientos entre módulos de cálculo de CORMIX son en la mayoría de los casos bruscos y no representan de forma realista el fenómeno. En la clasificación de los distintos tipos de flujos, se toma la unidad como cociente entre escalas de longitud para pasar de un tipo de flujo a otro, lo que implica transiciones poco realistas. En cada clasificación considera únicamente la fuerza predominante y desprecia el resto, lo que supone una simplificación poco rigurosa ya que en realidad la transición es suave y continua.</p> <p>La siguiente figura ilustra estas transiciones bruscas de una región a otra de comportamiento en el modelado con CORMIX1.</p> 
	<p>En ocasiones, pequeñas variaciones en alguno de los datos de entrada puede llevar a resultados muy diferentes en el CORMIX, debido a los cambios bruscos en las clasificaciones.</p>
<p>Manejo del programa</p>	<p>Para cada caso simulado es necesario grabar un nuevo proyecto en CORMIX. Un mismo proyecto no puede contener varios casos.</p> <p>El manual descriptivo de la base teórica de CORMIX no se encuentra actualizado, por lo que resulta complicado conocer las modificaciones, añadidos y actualizaciones.</p> <p>No permite introducir distintos casos de configuración de vertido y de escenarios ambientales (en el medio receptor) y ejecutarlos consecutivamente. Hay que introducir los casos uno a uno, considerando condiciones estacionarias en cada uno de ellos.</p> <p>La herramienta CORSENS está limitada a la variación de solamente algunos parámetros. No permite elegir puntos característicos del efluente para comparar resultados.</p>
<p>Resultados del programa</p>	<p>La interpretación de los resultados del CORMIX requiere de un usuario experto en la materia, dado que, según los casos y cuanto más se aproxime a la zona de transición entre tipos de flujos, los resultados de CORMIX pueden incluir errores importantes.</p> <p>No ofrece ninguna herramienta para comparar los resultados de CORMIX con los de otros modelos o con resultados experimentales de laboratorio.</p> <p>Los subsistemas CORMIX1, 2, 3 y D-CORMIX, limitan sus resultados a puntos concretos del flujo. La evolución que presenta el programa es ficticia, ya que se trata de una interpolación, pero no el resultado de la resolución discreta de las ecuaciones.</p> <p>Los ficheros de resultados son legibles por CORMIX o por un editor de textos; es incómodo exportar los datos a otros programas para su representación o tratamiento estadístico.</p> <p>Los gráficos que se obtienen con las herramientas disponibles: CorVue y CorSpy presentan una calidad pobre y son poco o nada flexibles.</p>

TABLA 4. Limitaciones del software CORMIX en la simulación de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa.

En relación con las limitaciones geométricas del medio receptor del vertido, la figura 3 muestra las restricciones para el caso de medio receptor ilimitado y medio receptor confinado:

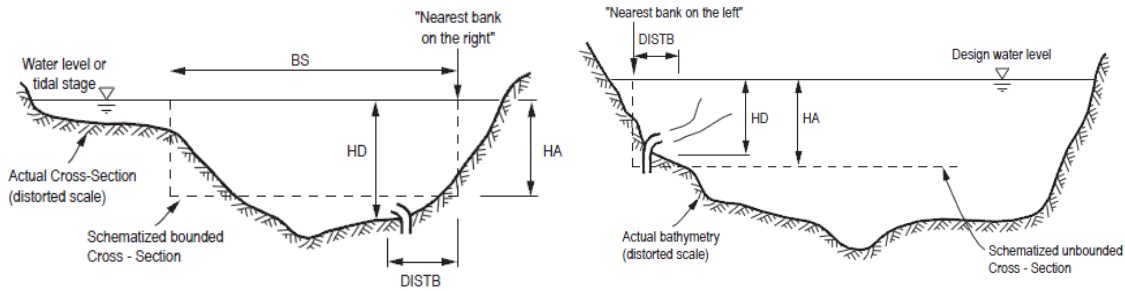


Figura 3: Simplificación de la geometría del medio receptor en CORMIX. Medio receptor confinado para CORMIX1, 2 y 3 (izquierda); y medio receptor ilimitado, para CORJET (derecha). Fuente: Manual CORMIX (1).

La figura 4 muestra las estratificaciones de la columna de agua que permite CORMIX:

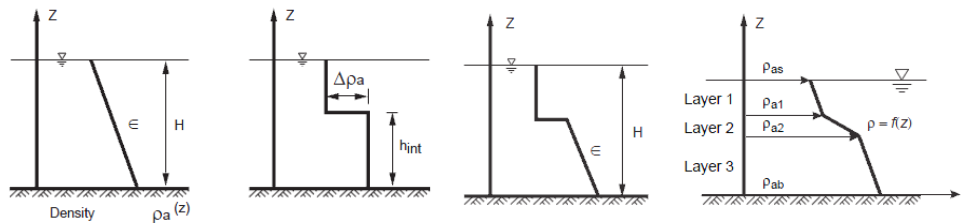


Figura 4: Esquemas de estratificación de la columna de agua en CORMIX. De izquierda a derecha: estratificación lineal, bicapa con dos capas homogéneas, bicapa con dos capas con estratificación lineal y tricapa con estratificación lineal. Fuente: Manual de CORMIX (1).

5. RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN Y MANEJO DEL PROGRAMA.

La tabla 5 indica algunas recomendaciones básicas en el uso del software CORMIX.

RECOMENDACIONES EN EL MODELADO CON CORMIX
En la simulación de un vertido de salmuera mediante chorro individual o chorros múltiples, se recomienda modelar con el subsistema CORMIX1 (o CORMIX2) y con CORJET y comparar resultados..
Aunque los modelos CORMIX1 y CORMIX2 en teoría simulan el efecto de la interacción del flujo con los contornos, los autores no han datos de validación para efluentes de flotabilidad negativa. Se recomienda, por tanto, modelar con CORMIX estos casos, y siempre que sea posible, diseñar el vertido evitando la interacción del flujo con los contornos.
Debido a las variaciones bruscas de CORMIX en su clasificación de flujos, una pequeña modificación en el valor de los datos de entrada, puede llevar a clasificaciones y resultados muy distintos. En este sentido, se recomienda aplicar siempre una batería de casos alrededor del diseño elegido, variando en un 25% (o en un rango de valores realistas) los parámetros de entrada, con el fin de asegurar que la simulación no se ha visto afectada por un salto brusco en la clasificación del flujo.
Introducir como datos de entrada valores característicos de escenarios de vertido o ambientales realistas, siempre que sea posible, derivados de estudios de campo en la zona de vertido.

TABLA 5. Recomendaciones en la modelado con el sistema de clasificación CORMIX

En las fichas descriptivas individuales, elaboradas para los

subsistemas CORMIX 1, CORMIX2, D-CORMIX, y para el módulo de cálculo CORJET, se establecen recomendaciones adicionales en el modelado, uso y manejo del programa e interpretación de los resultados.

6. ACCESO AL MODELO Y A LA INFORMACIÓN, PRECIO, INSTALACIÓN, MANEJO, TIEMPO DE COMPUTACIÓN, ENTRADA DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

- Acceso al modelo y a la información: Documentos y trámite de solicitud de licencia en la página web: www.cormix.com .

- Idioma: La información disponible (manuales, artículos, etc.), así como la interfaz del modelo con el usuario está disponible únicamente en lengua inglesa.

- Coste económico: El precio de la licencia varía según el modelo se adquiera temporal o definitivamente y según las herramientas que se soliciten. En CORMIX: V.6.0 se incluyen las siguientes versiones de CORMIX: v6.0E (libre y gratuita), v6.0G (general), v6.0GT (herramientas avanzadas), v6.0GTD (herramientas avanzadas, sedimento), v6.0GTR (herramientas de investigación).

La versión general (v6.0G) incluye los subsistemas CORMIX1, 2 y 3, el módulo CORJET, la herramientas para simular vertidos hiperdensos sumergidos cercanos a la superficie y vertidos emergidos, los manuales originales y las herramientas adicionales: CorData, CorHelp, FFL, CorGIS, CorSupport, CorDocs y CorVal.

La versión avanzada (v6.0GT) incluye además las herramientas: CorSpy 3D/2D ("Outfall Graphics"), CorVue 3D/2D ("Mixing Zone Graphics") y CorSens ("Sensitivity Analysis Tool").

La versión v6.0GTS incluye además la opción de simular vertidos de sedimentos.

La versión v6.0GTD incluye, además de las anteriores, la herramienta CorHyd y CorUCS (de conversión de coordenadas).

La versión más avanzada; v6.0GTR, de investigación, es la única que incluye la herramienta CorBatch (de procesamiento en lotes) y CorTime (introducción de series temporales y acoplamiento de modelos tridimensionales para el campo lejano).

El siguiente cuadro muestra los precios en la última versión disponible de CORMIX: v.6 (Mayo 2010):

ALQUILER DEL MODELO (\$)								
	Herramientas generales (v.6.0G)				Herramientas avanzadas (v6.0GT// v6.0GTS// v6.0GTD).			
	1 mes	3 meses	6 meses	1 año	1 mes	3 meses	6 meses	1 año
Uso académico	-	-	-	-	-	-	-	499 // 799// 999
Uso comercial	1099	1.599	1.899	2.599	1.299 // 1.499 // 1.599	1.799 // 1.999 // 1.999	2.199 // 2.699 // 2.999	2.899// 3.699 // 3.999
COMPRA DEL MODELO								
	Herramientas generales (v.6.0G)				Herramientas avanzadas (v.6.0GT // v.6.0GTS // v6.0 GTD)			
Uso académico	-				-			
Uso comercial	8.999				12.999 // 14.999 // 16.999			

Existe la opción de descarga, de forma gratuita, la versión demo del programa, válida para un periodo de dos meses o un total de treinta ejecuciones. La versión demo no incluye todas las habilidades y opciones del programa. Página de descarga: <http://www.mixzon.com/downloads/>

- Instalación: Instalación: inmediata, sin necesidad de personal experto.
 - Tiempo computacional: Cálculos prácticamente instantáneos.
 - Manejo: Sencillo e intuitivo. No necesita personal experto para su manejo, el sistema no se ejecuta si detecta flujos inestables. No requiere generar archivos adicionales.
 - Entrada de datos y presentación de resultados: No necesita archivos adicionales, los datos se introducen desde la propia interfaz, pudiéndose guardar los datos de entrada para aplicaciones posteriores. El sistema incluye herramientas para tratamiento y presentación analítica y gráfica de los resultados obtenidos, que pueden ser guardados en ficheros.
- Requerimientos del sistema y programas necesarios:
1. Sistemas operativos: Windows NT/2000/XP/Vista/Windows7
 2. Programas: Internet Explorer 7.0, Adobe Acrobat Reader, Arc/View 3.0 or and USEPA BASINS 3.0.
 3. Procesador Pentium 233-megahertz (MHz) o superior; Memoria RAM de 512MB como mínimo; Espacio libre en disco duro mínimo de 125 MB.

7. REFERENCIAS.

- (1) Jirka, G. H.; Doneker, R.L.; Hinton, S.W, **(1996)**. "*MANUAL FOR CORMIX: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters*". U.S.EPA, Office of Science and Technology, Washington.
- (2) Doneker, R.L. and G.H. Jirka, **(2001)**. "*CORMIX-GI Systems for Mixing Zone Analysis of Brine Wastewater Disposal*", Desalination, volume 139, pp. 263-274.
- (3) Doneker, R.L. y G.H. Jirka, **(1990)**. "*Expert Systems for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Single Port Discharges (CORMIX1)*". Technical Report EPA/600/3-90/012, U.S. EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
- (4) Akar, P.J. and G.H. Jirka, **(1991)**. "*CORMIX2: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Multiport Diffuser Discharges*". Technical Report EPA/600/3-91/073, U.S. Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia.
- (5) Jones, G.R. and G.H. Jirka, **(1993)**. "*CORMIX3: An Expert System for the Analysis and Prediction of Buoyant Surface Discharges*". Tech. Rep., DeFrees Hydraulics Laboratory, Cornell University, 1991, (also to be published by U.S. EPA, Environmental Research Lab, Athens, Georgia).
- (6) Doneker, R.L. and G.H. Jirka, **(1998)** "*D-CORMIX: A Decision Support System for Hydrodynamic Mixing zone Analysis of Continuous Dredge Disposal Sediment Plumes*". Proc. Of the 25th Annual Conference on Water Resources Planning and Management, ASCE.
- (7) Jirka, G.H, **(2004)**. "*Integral Model for Turbulent Buoyant Jets in Unbounded Stratified Flows Part 1: Single Round Jet*". Environmental Fluid Mechanics, Vol. 4: 1-56. Kluwer Academic Publishers.

Otros artículos recomendados:

- Jirka, G.H., Doneker, R.L. y T.O. Barnwell, **(1991)**. "*CORMIX: A Comprehensive Expert System for Mixing Zone Analysis of Aqueous Pollutant Discharges*", Water Science and Technology, 24, No. 6, pp.267-274
- Doneker, R.L y G.H. Jirka, **(2000)**. "*The CORMIX-GI system for Mixing Zone Prediction, Regulatory Analysis, and Outfall Design*", Marine Waste Water Disposal 2000 Conference, Genova Italy-
- Doneker, R.L.y Jirka, G.H, **(2007)**. "*CORMIX USER MANUAL: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters*".