

Ficha 4.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DEL SOFTWARE **VISUAL PLUMES**

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)

VISUAL PLUMES.

1. INTRODUCCIÓN, AUTORES.

El paquete VISUAL PLUMES (1,2) es la versión en Windows del original programa de DOS, PLUMES (3), de la Agencia de Protección Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency, USEPA). El programa incluye distintos módulos para la simulación de vertidos mediante chorros sumergidos individuales o múltiples, considerando las condiciones ambientales del medio receptor. El programa simula fundamentalmente el comportamiento de campo cercano (modelo de mezcla inicial) si bien incluye alguna fórmula semiempírica para estimar el campo lejano.

El modelo está enfocado a la simulación de transporte de sustancias contaminantes, especialmente de contaminantes biológicos patógenos derivados del vertido de aguas residuales urbanas en zonas costeras. Sin embargo, algunos de sus módulos han extendido su ámbito de aplicación al vertido de efluentes de flotabilidad negativa, como la salmuera.

Visual Plumes es, por tanto, el paquete que contiene la interfaz desde donde se accede a las distintas herramientas de simulación.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA VISUAL PLUMES. HERRAMIENTAS.

El programa VISUAL PLUMES incluye diferentes modelos para la simulación del comportamiento de vertidos, algunos de los cuales coinciden en su ámbito de aplicación y funciones, lo que permite al usuario comparar los resultados de los distintos modelos.

La tabla 1 muestra un esquema de los modelos incluidos en VISUAL PLUMES. En la actualidad el único modelo preparado para la simulación de vertidos de flotabilidad negativa es UM3.

| HERRAMIENTAS, SUBMÓDULOS DEL PROGRAMA VISUAL PLUMES | | | |
|---|---|--------------------------|--|
| Campo cercano | Modelos basados en análisis dimensional | NRFIELD (RSB) (3) | - Vertido sumergido mediante tramo difusor de chorros múltiples. Dos boquillas por elevador, chorros bilaterales, formando 180° entre sí - Efluentes de flotabilidad positiva - Modelo 3D basado en análisis dimensional. Parámetros experimentales derivados de los ensayos de laboratorio de Roberts, 1989 (4) |
| | Modelos de ecuaciones integradas | DKHW (5) | - Vertido sumergido mediante chorro individual o tramo multidifusor. - Efluentes de de flotabilidad positiva. - Modelo euleriano tridimensional - Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal |
| | | UM3 (2) | - Vertido mediante chorro individual o con tramo multidifusor - Efluentes de flotabilidad positiva y negativa. - Modelo lagrangiano tridimensional - Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal. |
| | | PSDW (6) | - Vertidos directos superficiales desde canales, en un medio receptor en movimiento. - Efluentes de flotabilidad positiva - Modelo euleriano tridimensional |
| Campo lejano | Ecuación de Brooks | FRFIELD | Estimación de la dilución en campo lejano mediante la ecuación de Brooks Efluentes de flotabilidad positiva |
| Adicionales | DOS PLUMES | | Permite aprovechar los casos y resultados obtenidos con la versión anterior del programa: PLUMES. |

Tabla 1: Principales modelos del paquete VISUAL PLUMES.

La figura 1 muestra el esquema de vertido utilizado por los modelos de Visual Plumes:

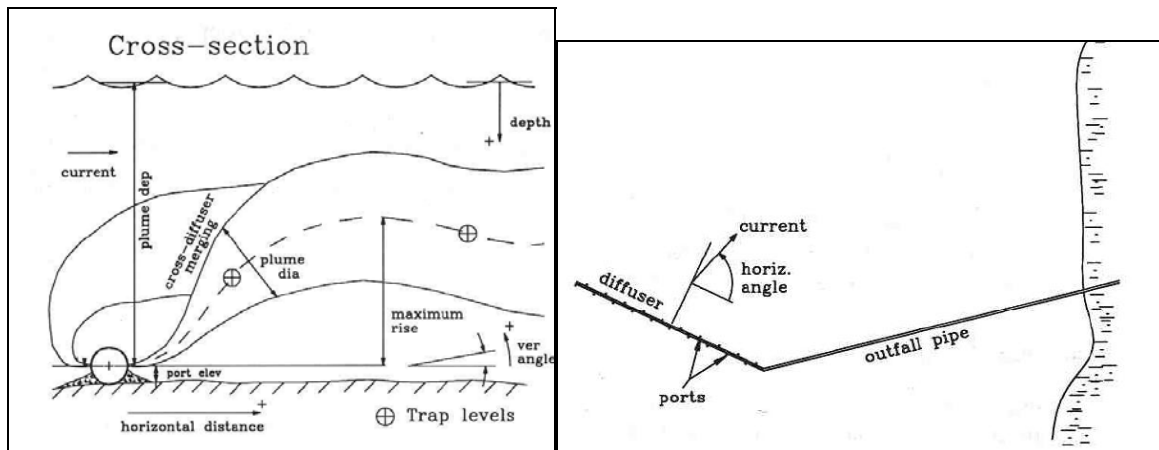


Figura 1: Esquema del vertido simulado por el paquete de programas VISUAL PLUMES. Esquema en alzado (izquierda) y en planta (derecha).

Para modelar los vertidos de efluentes con flotabilidad negativa, Visual Plumes utiliza los códigos correspondientes a efluentes flotabilidad positiva, considerando aquellos como una imagen especular de estos. De este modo se considera que un vertido desde superficie de un efluente hiperdenso es equivalente al vertido desde el fondo de un efluente de flotabilidad positiva.

Para información adicional se puede consultar la página web de la USEPA (Environmental Protection Agency): <http://www.epa.gov/ceampubl/swater/vplume/>, desde donde es posible descargar el programa y actualizaciones y el Manual de usuario ("Dilution Models for Effluent Discharges", 4th Edition, Visual Plumes) y el documento base teórico *Dilution Models for Effluent Discharges, 3th Edition, Plumes*"

3. BASE TEÓRICA. PRINCIPALES HIPÓTESIS SIGNIFICATIVAS.

Simplificaciones comunes en las ecuaciones de los modelos de VISUAL PLUMES:

- Fluido incompresible.
- Se asume un radio de curvatura del eje del chorro mucho mayor que el radio del chorro (invalidando los resultados en zonas de fuerte curvatura, como la envolvente superior del chorro)
- Se desprecian los efectos viscosos, considerando a los chorros completamente turbulentos. Descomposición de Reynolds para el tratamiento de los términos turbulentos.
- Hipótesis de Boussinesq: la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor es pequeña y sólo se tiene en cuenta en el término de gravedad.

En la Tabla1 se han indicado las aproximaciones numéricas en que se basan cada uno de los modelos de VISUAL PLUMES, siendo el UM3 el único aplicable a la simulación de efluentes de flotabilidad negativa, como la salmuera.

Respecto a la simulación del campo lejano, todos los módulos que incluye VISUAL PLUMES estiman la dilución la pluma mediante la ecuación de Brooks:

$$\text{Ecuación de Brooks: } C_{cl} = C_{mz} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{U_a b^2}{16 \epsilon X}}, \text{ siendo } C_{cl}: \text{concentración en el centro de la}$$

pluma (eje) en el punto deseado del campo lejano. C_{mz} : concentración del contaminante al final de la zona de mezcla (campo cercano) obtenida de modelado (UM3, RSB, etc.). U_a : velocidad de corriente en el medio receptor. b : ancho de la pluma correspondiente a todos los orificios. ϵ : coeficiente de viscosidad ("eddy diffusivity"). X : distancia recorrida por la pluma desde el final de la zona de mezcla hasta el punto de interés en campo lejano.

4. POSIBILIDADES Y LIMITACIONES DEL PROGRAMA.

Las tablas 2 y 3 indican las principales posibilidades y limitaciones del software VISUAL PLUMES; en la simulación de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa.

| POSIBILIDADES DEL PAQUETE DE PROGRAMAS VISUAL PLUMES | |
|--|--|
| Modelado | Permite introducir como datos de entrada archivos de series temporales , para considerar distintos escenarios de vertido y de medio receptor. |
| | Posibilidad de modelar la acumulación de contaminación en canales unidimensionales sometidos a ciclos de marea. |
| | Considera la contaminación de fondo en el medio receptor , gracias a la incorporación del concepto de dilución efectiva, como la razón entre la concentración del contaminante en el efluente vertido y la concentración en el punto de interés. |
| | Posibilidad de considerar los efectos sinérgicos por vertidos simultáneos desde varias fuentes. |
| | Posibilidad de simular el denominado "efecto de nacimiento de densidad", en el que un fluido inicialmente de flotabilidad positiva, pasa a tener flotabilidad negativa respecto del medio receptor con estratificación de densidad en la columna de agua.. Visual Plum es incorpora la no linealidad en la ecuación de estado, lo que permite simular correctamente este fenómeno. |
| | Posibilidad de utilizar distintos modelos de Visual Plum es para la simulación de un mismo caso , y de comparar resultados. |
| | Chequeo de os datos de entrada, contrastando que se encuentran dentro del rango de valores válidos establecidos y comprueban que no existe inconsistencia en los datos de entrada. |
| Los modelos de Visual Plum es pueden teóricamente considerar estratificación arbitraria en la columna de agua, así como variaciones, en intensidad o dirección de la corriente. | |
| Manejo | Interfaz gráfica amigable e intuitiva. |
| | El manejo no requiere de un usuario experto. |
| | Posibilidad de ejecutar consecutivamente distintos escenarios, gracias a que admite series temporales de datos. |
| | Permite superponer resultados para comparación y optimización del diseño. |
| | Distintas opciones de unidades para definición de los datos de entrada. |
| | Posibilidad de extrapolar datos en profundidades intermedias de la columna de agua |
| Posibilidad de guardar en ficheros independientes (con extensión *.dbb) de los datos de diseño de vertido y de condiciones en el medio receptor, para poder ser utilizados en otro caso. | |
| Resultados | Posibilidad de manipular manualmente las gráficas resultado de la ejecución de Visual Plum es. Las figuras pueden exportarse. Permite seleccionar distintas variables para que aparezcan en los archivos analíticos y gráficos de resultados. |
| | Posibilidad de comparar gráficamente resultados del modelado de los modelos de Visual Plum es entre sí, y con los resultados de ensayos experimentales o de otras simulaciones numéricas, gracias a la opción de "verify". |
| | Los ficheros con los datos analíticos pueden ser grabados por el usuario y leídos desde cualquier editor de textos. |

TABLA 2. Posibilidades del software VISUAL PLUMES 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 VISUAL PLUMES | |
|---|--|
| Modelado | No simula fenómenos complejos de interacción del efluente con los contornos, efecto COANDA, reintrusiones, etc. |
| | Para vertidos de flotabilidad negativa, sólo es aplicable UM3 que restringe el modelado a campo cercano, previamente al impacto del chorro con el fondo. |
| | Al estar diseñados para vertidos de flotabilidad positiva, ninguno de los modelos de VISUAL PLUMES es capaz de detectar la presencia del fondo (*) |
| | No es posible realizar tratamiento estadístico de los datos. |
| | Para efluentes de flotabilidad negativa, sólo es posible simular ciertas configuraciones de vertido: chorro individual o chorro múltiples mediante tramo difusor lineal, unidireccional. |
| | No simulan el efecto del oleaje sobre el vertido. |
| Manejo | Visual Plum es asigna por defecto nombres a los proyectos que se crean (Ejemplo: plum es1.dbb), que no pueden modificarse por el usuario desde la interfaz, y los guarda en la carpeta C/Plumes. Para cambiar el nombre y ubicación del proyecto, el usuario debe ir a esta carpeta y modificarlo manualmente. |
| Resultados | Los gráficos que genera Visual Plum es son bidimensionales, y además no se escalan automáticamente de forma correcta y es necesario escalarlos de modo manual por el usuario. |
| | Los ficheros de resultados son ficheros legibles por CORMIX o bien por un editor de textos, por lo que se hace incómodo exportar los datos a otros programas para su representación o tratamiento estadístico. |

TABLA 3. Limitaciones del software VISUAL PLUMES en la simulación de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa. Limitaciones respecto al modelado del proceso físico, al manejo o uso del programa y a la obtención de resultados.

(*) Cuando se aplica el modelo UM3 para simular vertidos de flotabilidad negativa, el modelo no es capaz de detectar la presencia del fondo y continúa ejecutándose, sin simular el efecto del impacto, aplicando para estimar la dilución en campo lejano, la ecuación de Brooks. El usuario debe detectar este impacto y desechar todos los resultados posteriores que son erróneos.

La Figura 2 muestra este error que comete VISUAL PLUMES, en el vertido mediante chorro individual de un efluente hiperdenso, con una profundidad media de la columna de agua en la zona de vertido de 0.4m. Como se observa, el modelo sigue ejecutándose sin detectar el fondo:

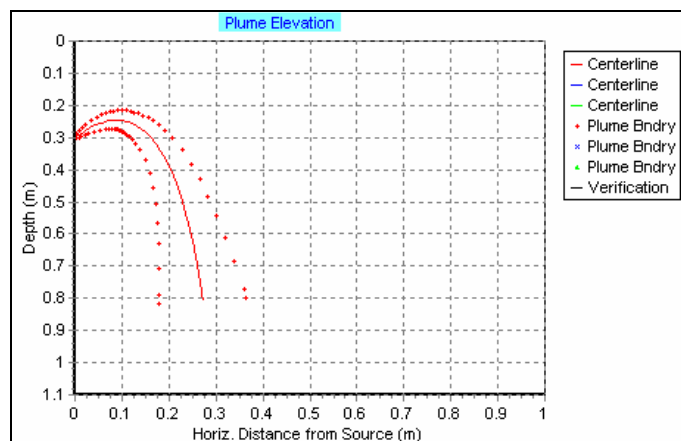


Figura 2- Ejemplo de error de no detección del fondo en modelado de chorro hiperdenso con UM3.

5. CALIBRACIÓN Y VALIDACION DEL MODELO. DATOS EXPERIMENTALES. VALIDACION DE LOS AUTORES PARA FLUJOS DE FLOTABILIDAD NEGATIVA.

La calibración de los modelos incluidos en el programa Visual Plumes se ha realizado principalmente para vertidos de flotabilidad positiva, adaptando posteriormente algunos modelos a vertidos hiperdensos.

Para vertidos de efluentes de flotabilidad negativa no se han localizado en la bibliografía disponible estudios de validación de los modelos de Visual Plumes. La única referencia es la incluida en el documento técnico de la EPA (EPA/600/r-94/086): "Dilution models for effluent discharges" (2):

"Para simular el comportamiento de vertidos de flotabilidad negativa se utilizan modelos en los que la trayectoria y dilución se predicen por analogía al vertido de efluentes de flotabilidad positiva. En este sentido, se justifica que muchos de los datos experimentales utilizados en la calibración de los modelos de vertidos desde el fondo de efluentes con flotabilidad positiva, derivan en realidad de ensayos con efluentes hiperdensos vertidos desde la superficie. Esta analogía se basa en el hecho de que, si se respeta la diferencia de densidades entre efluentes, se puede considerar que las fuerzas que actúan sobre los elementos de la pluma son las mismas independientemente de la dirección o el movimiento. Partiendo de este hecho, se considera que las ecuaciones físicas y los coeficientes experimentales son los mismos, y que pueden utilizarse los mismos códigos para la simulación de ambos tipos de efluentes. Un ejemplo del planteamiento anterior es la simulación de los factores de dilución obtenidos por Ozretich et al, 1990 (7) mediante modelado físico de un vertido hiperdenso vertido desde la superficie. Para comparar las medidas experimentales con los resultados de modelo numérico, se asumió el efluente como de flotabilidad positiva vertido desde la superficie y se simuló el caso con los modelos matemáticos: PLUME, OUTPLM y DKHPLM, aplicables únicamente a vertidos de flotabilidad positiva. Se manipularon los datos de entrada, de modo que se mantenía la diferencia de densidades entre efluentes. Los resultados obtenidos presentaban un buen ajuste con las medidas de laboratorio. No obstante, el modelo UM3 ya acepta la introducción de los parámetros que definen todo tipo de vertidos, tanto con flotabilidad positiva como negativa".

En la ficha de UM3, único modelo de VISUAL PLUMES, aplicable a la simulación de vertidos de salmuera, se realiza un modelado independiente, en el marco de proyecto MEDVSA.

6. RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN Y MANEJO DEL PROGRAMA.

Las tablas 4, 5 y 6 indican algunas recomendaciones en el uso del paquete de programas VISUAL PLUMES, en la simulación de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa.

| RECOMENDACIONES RESPECTO AL MODELADO |
|--|
| <p>°Los modelos de VISUAL PLUMES aplicables a efluentes de flotabilidad negativa (UM3 directamente, y DKHW, como imagen especular de un efluente de flotabilidad positiva) son modelo de ecuaciones integradas, que asumen medio receptor ilimitado, y que, por tanto, son solamente válidos hasta el punto de impacto del chorro con el fondo. Aunque estos modelos ignoren el fondo y ofrezcan resultados tras este punto, el usuario debe considerarlos erróneos.</p> |
| <p>Se recomienda especificar siempre los valores de temperatura y salinidad, de modo que el modelo pueda aplicar la ecuación de estado teniendo en cuenta su no linealidad.</p> |
| <p>Se recomienda introducir un calado en el medio receptor al menos diez veces mayor que el diámetro de la boquilla.(9)</p> |

TABLA 4. Recomendaciones respecto al modelado con el programa VISUAL PLUMES

| RECOMENDACIONES RESPECTO AL USO Y MANEJO DEL PROGRAMA |
|---|
| <p>En el caso de que el programa se instale en un sistema operativo posterior a las versiones de Windows XP, pueden producirse errores en la instalación y ejecución. En este caso se recomienda "ejecutar el programa como administrador", con el botón derecho del ratón.</p> |

Cuando se guarda un proyecto generado con algún modelo de VISUAL PLUMES, el proyecto se nombra por defecto: Visual Plum.es*.dbb y se guarda en la carpeta C/Plumes. Si se quieren ubicar en otra carpeta, hay que tener en cuenta que si la ruta es demasiado larga, VISUAL PLUMES generará error cuando se quiera volver a abrir el proyecto.

Para que el modelo ejecute es necesario incluir en la tabla de condiciones ambientales al menos dos filas. En la primera de ellas, la coordenada vertical (profundidad) será cero (origen en la superficie), mientras que la última corresponderá a los datos en el fondo. Hay que tener en cuenta que en los modelos de Visual Plum.es el origen de la coordenada vertical se sitúa en la superficie del mar, aumentando la coordenada, positiva, con la profundidad. El modelo no admite valores negativos de profundidad.

La altura del difusor (*"Port elevation"*) no puede ser exactamente cero porque VP genera error. Si el elevador se sitúa directamente sobre el fondo, se puede poner una altura de 0.01.

Se recomienda introducir únicamente valores en las filas de los parámetros que correspondan a medidas de campo reales. Se recomienda no superar las 20 capas de discretización vertical, dado los errores en la ejecución del modelo, así como el incremento en el tiempo computacional.

Para todas las tablas de la interfaz (condiciones de descarga, ambientales, efluente, etc.) la primera fila ha de tener todas las celdas completas con algún valor. En el resto de filas no es necesario rellenar aquellas que mantienen el valor de la fila precedente. Si una celda aparece vacía, y no se selecciona el programa toma por defecto el valor de la celda de la misma columna pero en la fila anterior

En el caso de querer ejecutarse distintos casos bajo diferentes escenarios ambientales o de vertido, se recomienda seleccionar la variable *"Casecount"* para el eje x y la variables de interés (concentración, dilución, etc.) en el eje y. De este modo se obtendrá, para los distintos casos, el valor de la variable de interés en el punto de máxima altura del chorro y se podrán comparar resultados

Se recomienda utilizar la opción *"Case selection"* (en la pestaña de *"DIFFUSER"*), que permite ejecutar únicamente la configuración de vertido y escenario ambiental seleccionados (*"based or selected case"*); la configuración de vertido seleccionada con todos los escenarios ambientales definidos (*"sequential, parse ambient"*), o todas las combinaciones posibles entre configuraciones y escenarios ambientales definidos (*"sequential; all ambient list"*).

Dado que para el caso de vertidos hiperdensos, los resultados de simulación del campo lejano con Visual Plum.es no son correctos, no tiene importancia el valor que se establezca en las opciones: *"Far field difusión coefficient"* (AMBIENT) y en *"Far field increment"* (SPECIAL SETTINGS). El coeficiente de *"Pollutant Decay Rate"* (AMBIENT) debe tener un valor igual a cero para simular salmuera.

En el Anexo 2 de esta ficha se presenta una tabla de valores recomendados para los distintos parámetros de entrada al modelo: condiciones en el medio receptor, parámetros de descarga, características del efluente y otras opciones de modelado, para el diseño del vertido al mar de salmuera, particularizando par el Mar Mediterráneo.

TABLA 5. Recomendaciones respecto al uso y manejo del programa VISUAL PLUMES.

| RECOMENDACIONES RESPECTO A LA SALIDA DE RESULTADOS. |
|--|
| <p>Para comparar los resultados de UM3 de Visual Plum.es con los resultados de otros modelos análogos comerciales, como el CORJET o el JetLag, se recomienda seleccionar entre las variables a representar en los resultados analíticos (<i>Selected variables</i> de la pestaña: <i>special settings</i>) la correspondiente a dilución en el eje: <i>"CL-diln"</i> (dilución en el eje), dado que la variable <i>"dilution"</i>, corresponde a una dilución media en la sección transversal, considerando una distribución de variables homogénea.</p> |
| <p>Se recomienda escalar los gráficos uno a uno y aplicar los límites de coordenadas deseables en cada caso, dado que los que establece Visual Plum.es en <i>"autoscale"</i> resultan, en la mayoría de los casos probados de flujo hiperdensos, poco adecuados.</p> |

TABLA 6. Recomendaciones respecto a la salida de resultados del programa VISUAL PLUMES

7. 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: <http://www.epa.gov/ceampubl/swater/vplume/>.

- 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 programa, manual y acceso a las actualizaciones es gratuito.

- Instalación: Instalación: inmediata, sin necesidad de personal experto.

- Tiempo computacional: Cálculos prácticamente instantáneos.

- Manejo: Sencillo e intuitivo. No necesita personal experto para su manejo. Descripción detallada y ejemplos para practicar se incluyen en el manual. Los archivos adicionales para la generación de series temporales de las variables de entrada se deben realizar en formato ASCII.

- Entrada de datos y presentación de resultados: Los datos se introducen desde la propia interfaz con la opción de introducir archivos ASCII para definir las series temporales de los datos de entrada. El programa incluye herramientas para tratamiento y presentación analítica y gráfica de los resultados obtenidos.

- Requerimientos del sistema y programas necesarios:

1. Sistemas operativos: Win 95/98/NT/2000

2. Programas: Internet Explorer 7.0, Adobe Acrobat Reader

8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.

- (1) Frick, W.E; Roberts, P.J.W; Davis, L.R; Keyes, J; Baumgartners, D.J; George, G.P. **(2001)**. "VISUAL PLUMES MANUAL: "Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)". Environmental Research Division, NERL, ORD. U.S. Environmental Protection Agency.

Frick, W.E. **(2004)**. "Visual Plumes mixing zone modelling software". Environmental & Modelling Software, volume 19, pp 645-654. ELSEVIER.
- (2) Baumgartner, D.J; Frick, W.E.; Roberts, P.J.W. **(1994)**. "Dilution Models for Effluent Discharges". Third Edition (Manual PLUMES). United States Environmental Protection Agency (EPA).
- (3) Baumgartner, D.J; Frick, W.E.; Roberts, P.J.W. **(1994)**. "Dilution Models for Effluent Discharges.Third Edition (Manual PLUMES)". United States Environmental Protection Agency (EPA).
- (4) Roberts, P.J.W; Snyder, W.H; Baumgartner, D.J. **(1989)**. "Ocean outfalls I: Submerged Wastefield Formation". Journal of Hydraulic Engineering, volume 115, No 1.
- Roberts, P.J.W; Snyder, W.H; Baumgartner, D.J. **(1989)**. "Ocean outfalls II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield". Journal of Hydraulic Engineering, volume 115, No 1.
- Roberts, P.J.W; Snyder, W.H; Baumgartner, D.J. "Ocean outfalls III: Effect of diffuser design on submerged wastefield" **(1989)**. Journal of Hydraulic Engineering, volume 115, No 1.
- (5) Muellenhoff, W.P., A.M. Soldate, Jr., D.J. Baumgartner, M.D. Schuldt, L.R. Davis, and W.E. Frick. **(1985)**. "Initial mixing characteristics of municipal ocean outfall discharges: Volume 1. Procedures". Oregon and Applications. EPA/600/3-85/073a.
- (6) Davis, L.R.**(1999)**. "Fundamentals of Environmental Discharge Modeling". CRC Press, Boca Raton, FL.
- (7) Ozretich, R.J. and D.J. Baumgartner.**(1990)**. "The utility of buoyant plume models in predicting the initial dilution of drilling fluids". Ocean Processes in Marine Pollution, volume 6:1, pp.51-168.
- (8) Roberts, P.J.W; Tian, X. **(2004)**. "New experimental techniques for validation of marine discharges models". Environmental Modelling & Software, volume 19.
- (9) Muellenhoff, W.P; Soldate, A.M; Baumgartner,D.J; Schuldt, M.D; David, L.R. y Frick, W.E. **(1985)**. "Initial Mixing Characteristics of Municipal Discharges". vol. I, EPA-60/3-85-073a, U. S. Environmental Protection Agency, Newport, Oregon, 1-42.
- Lorin R.Davis **(1999)**. "Fundamentals of Environmental Discharge Modeling", CRC Mechanical Engineering Series, Series Editor, University of Colorado.