

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y DISPERSIVOS EN TIEMPO REAL Y MÉTODO PARA EL LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y DISPERSIVOS EN TIEMPO REAL

1. SECTOR TECNOLÓGICO.

El objeto al cual hace referencia la invención que se protege integra un dispositivo y un método de aplicación en el sector industrial y de la tecnología de la electrónica y de las telecomunicaciones, así como en áreas de la ingeniería ambiental, medición y monitoreo ambiental. Dicha tecnología se conforma por componentes electrónicos, de comunicación y la implementación de un método asociado, actuando como un todo, es decir aprovechando la función individual de cada componente para dar un funcionamiento integrado de características originales permitiendo la medición de flujos con el método de trazadores, para la identificación y solución de problemáticas asociadas a temas ambientales, civiles y sanitarios. La tecnología caracteriza flujos tanto de dimensiones pequeñas como cuerpos de agua de gran magnitud, permitiendo identificar variables como caudal, velocidad, dispersión longitudinal, difusión transversal, ancho de la pluma, longitud de mezcla, pendiente, rugosidad y tiempos de viaje, entre otros.

Esta invención dispone de una herramienta que facilita la toma de datos en áreas donde las condiciones geográficas y topográficas dificultan el acceso al cauce o la labor de campo; permite el levantamiento y manejo de la información primaria y a su vez la modelación de calidad de agua; permite realizar estudios usando la naturaleza fluida del trazador en redes y/o estructuras hidráulicas; cuenta con equipos de medición que permiten la calibración sin reducir el nivel de precisión o confiabilidad apoyados en el uso de trazadores, los cuales por su naturaleza única, abarcan la mayoría de las leyes dinámicas y termodinámicas, ofreciendo de forma detallada la mayor densidad de información.

2. TECNOLOGÍA ANTERIOR.

La presente invención es el resultado de la integración de tecnologías electrónicas y de telecomunicaciones e informáticas, con la aplicación de teorías, formulaciones y métodos, haciendo de esta una creación robusta y completa. Teniendo en cuenta lo anterior y comparando esta solución con algunas que podrían ser consideradas similares, las demás alternativas se enfocan en uno o varios de sus componentes, tratándolos de manera aislada. El dispositivo desarrollado para esta invención se apoya en un componente de procesamiento y se interrelaciona con un método que otorga elementos distintivos y novedosos sobre el estado del arte que se presenta a continuación.

En ES20100031999-20101229, si bien se menciona el uso de nodos u otras terminales para la toma de datos en campo y el almacenamiento de los mismos, no se incluyen métodos asociados a la tecnología que permitan el uso de trazadores o algún agente químico, ni se menciona qué tratamiento reciben los datos o qué herramienta se utiliza para la administración y/o gestión de la información. La diferencia sustancial radica en que, si bien describe un sistema de monitoreo de una masa de agua, este se efectúa de manera aérea.

En la patente ES2304265A1 se desarrolla un artefacto complejo, compuesto por nodos multisensoriales, que se pueden encontrar en el mercado generosamente. Dicha patente también comprende reivindicaciones de método sobre la forma en que se desarrolla la tecnología; es decir, presentan un método para la fabricación de la tecnología, no propiamente para su uso y/o explotación industrial.

Al analizar las patentes WO2016056048 y ES2214978B1 que plantean el uso de un equipo para la recolección de datos y el telecontrol en vertidos y aguas al igual que la tecnología que se pretende proteger, comprenden una serie de componentes que permiten la recolección, almacenamiento y acceso a la información por parte de usuarios. Sin embargo, las tecnologías ya registradas se usan exclusivamente para el análisis de cuerpos de agua en plantas de tratamiento o el análisis de datos en ambientes cerrados (laboratorios), en donde los parámetros y/o fenómenos a estudiar y registrar son ciertamente “estáticos y predecibles”. Estas tecnologías no contemplan

el análisis de la información registrada y recolectada. No se reivindica ni protege ningún tipo de proceso y/o método.

En documento patente GB20110012269-20110716 se puede encontrar información que, comparada con la tecnología objeto de la presente solicitud de registro, pudiera encontrar grandes similitudes ya que la mencionada tecnología contempla la integración tanto de método como de artefactos y/o *“dispositivos para la recolección de datos a partir de toma de muestras en ambientes cerrados”* (subrayas fuera de texto). Como se resalta, la diferencia radicalmente sustancial se encuentra en que la tecnología que se pretende proteger en el presente documento permite la toma directa de datos en tiempo real en campo, además de no limitarse al control o identificación de datos químico-biológicos, sino también de fenómenos y comportamientos físicos.

La tecnología presentada en GB19930022563-19931102 se limita única y exclusivamente a la descripción y protección de un *“Aparato Sensor de la Calidad del Agua”* que como bien su título o nombre indica, refiere un conjunto de componentes electrónicos y eléctricos que permiten la captura de datos, eso sí, asociados a medir la calidad del agua. Sin describir métodos o procesos de almacenamiento o análisis de la información recaudada.

El documento descriptivo de las patentes CN104568820 y CN105137022 (A), ilustran solamente sobre un método para el análisis de agua, a partir de muestras estudiadas en laboratorios y/o ambientes controlados; y sobre la mejora de un método de análisis de la calidad del agua a partir del uso de microorganismos, respectivamente.

Las tecnologías aquí citadas plantean soluciones de evaluación del estado de la calidad del agua a través de la recolección de información por medio de sensores y el posterior almacenamiento o evaluación de los datos. Sin embargo, dichas soluciones atienden de manera desagregada algunos de los elementos de la presente tecnología en un menor grado de desarrollo. Unas, por ejemplo, solamente están pensadas para ambientes cerrados, como los laboratorios. Las características del método a proteger permiten la reducción de tiempos para la toma de datos, tomar datos en tiempo real y tomar datos de flujos de diferentes características. El método permite generar reportes y llevar trazabilidad de los datos tomados.

Hasta ahora, para el estudio de los fenómenos hidráulicos solo es posible trabajar en sucesos locales basados en las leyes de la dinámica de fluidos, es decir, la definición de los eventos que ocurren en las inmediaciones de los puntos de monitoreo y utilizando solo interacciones de tipo mecánico (newtonianas), desatendiendo las interacciones eléctricas (coulombianas), o centrándose en descripciones exclusivamente dinámicas (leyes de conservación), pasando por alto descripciones termodinámicas (leyes de conservación y de restricción).

3. RESUMEN

Dispositivo y método integrados en una tecnología que, a través de la representación científica de fenómenos naturales, en especial aquellos asociados a la hidráulica y la dispersión, con base en una función de estado que detalla cómo evolucionan los trazadores en diferentes tipos de flujo, tienen por objeto el levantamiento de datos críticos de forma más ágil y práctica en comparación con otras alternativas encontradas en el estado del arte.

Es una invención compuesta por dispositivo A/D para registro y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real. Compreendida por una terminal que permite la recolección de datos, integrada principalmente por un sistema electrónico de conversión Análogo/Digital, utilizando tecnología de montaje superficial y elementos digitales de micro-controlador de precisión. El sistema electrónico se acopla a sensores externos que miden, entre otras características: fluorescencia, conductividad y temperatura, además de un componente de procesamiento que permite agilizar y organizar los cálculos. Adicionalmente, la invención contiene un método para el levantamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real en diferentes tipos de flujos (a través de sensores externos).

La solución se compone de dos elementos característicos: un dispositivo electrónico que se apoya en un componente de procesamiento y un método que se basa en una formulación matemática-científica novedosa para realizar de forma ágil la adquisición de datos primarios. Dichos datos primarios alimentan los modelos que se aplican a los estudios de calidad de agua y para efectuar otros estudios de carácter hidráulico.

El campo de aplicación corresponde a procesos de verificación, monitoreo y evaluación de flujos hidráulicos, aplicables especialmente en el área de la ingeniería ambiental, la medición y monitoreo ambiental.

4. DESCRIPCIÓN DETALLADA

La tecnología presentada está orientada a ser una herramienta de análisis y modelación de flujos, que está integrada por un dispositivo y un método para la comprensión de los fenómenos de transporte de masa en los cauces, con aspectos esenciales de la hidráulica y la geomorfología.

La mejora planteada en esta solución se fundamenta principalmente en que el componente de la tecnología que hace el soporte físico (hardware/método) propicia formas ágiles y óptimas de recoger, procesar, transmitir e integrar la información referente al fenómeno que se mide (eventos dinámicos en los flujos), que el método proporciona herramientas para facilitar el manejo de información combinando desarrollos teóricos encontrados en el estado del arte, con fundamentaciones matemáticas y de procedimientos propios, obteniendo resultados congruentes, comparables, homogéneos y confiables; otorgando la distinción de cualquier otra tecnología anterior. La innovación conceptual teórica se constituye en las nuevas fórmulas físicas. La operación conjunta del dispositivo y método permite disponer de un avance significativo en las soluciones de ingeniería del campo tecnológico.

La tecnología está compuesta por:

- a. *Dispositivo A/D*: terminal que permite la recolección de datos, comprendida principalmente por un sistema electrónico de conversión Análogo/Digital, utilizando tecnología de montaje superficial y elementos digitales de micro-controlador de gran precisión. El sistema electrónico se acopla a sensores externos que miden, entre otras características: fluorescencia, conductividad y temperatura; al ser sensores de alto rendimiento garantizan una alta repetibilidad (coherencia numérica de los resultados de mediciones sobre un mismo estándar). La función de estado en la cual se basa el presente desarrollo es un reflejo de la evolución temporal en el entendimiento del fenómeno, lo que se traduce en una gran precisión en la medición de la variable tiempo por parte del dispositivo. El diseño propiamente dicho del terminal incorpora conceptos originales en cuanto a la estabilización de las señales manejadas (usando onda cuadrada saturada) procesadas por un circuito de valor absoluto de gran simplicidad (y por tanto de alta fiabilidad), un ejercicio de selección estadística

de la conformación de tramas digitales optimas, un procedimiento de toma de la misma señal de dos puntos complementarios para auto-corrección en la señal de conductividad y una selección del factor de amplificación de la señal de fluorescencia.

- b. *Componente de procesamiento:* programas residentes en un host (un equipo terminal que puede ser un pc, tablet, smartphone, etc) que reciben e interpretan la información digital por medio de transmisión inalámbrica (sin restricción al uso de tecnología bluetooth). Estos permiten, entre otras actividades: organizar, procesar y presentar la información proveniente de los sensores. Toman información básica como el ancho de la sección y la distancia entre el punto de inyección y el punto de medición, la transforma gradualmente presentando información de diferentes maneras, especificidad y exactitud según necesidad del usuario, es decir, la velocidad, caudales, coeficientes y/o longitud de mezcla. Estos programas son elementos auxiliares al cálculo.
- c. *Metodología:* Es una aplicación sucesiva de diferentes procedimientos, que se origina en la interpretación diferencial del comportamiento de los flujos. derivados de las observaciones y leyes derivadas de la innovación teórica conceptual desarrollada. Esta metodología ofrece una descripción novedosa y detallada de fenómenos hidráulicos y dispersivos que al integrarse al dispositivo de captura de información permiten una medición eficaz de las variables asociadas a los mismos. Al ser en tiempo real, se hacen mediciones rápidas y confiables a bajo costo. La metodología se compone de tres etapas principales:
 - i. Labor pre-campo y planeación logística: en la cual se identifica y evalúa la información necesaria para la ejecución de las siguientes etapas del método.
 - ii. Levantamiento de la información en campo: en la cual se realizan actividades de identificación y definición del área de estudio, determinación de datos de entrada, uso de insumos y demás condiciones y especificaciones técnicas, así como la obtención de datos primarios mediante el uso del dispositivo.
 - iii. Análisis y procesamiento de la información: una vez la información es levantada en campo se realiza el análisis y determinación de las

características hidráulicas, geomorfológicas y de transporte dispersivo. Dependiendo del tipo de estudio se debe aplicar un procedimiento u otro para obtener el tiempo de viaje final y su velocidad representativa asociada.

4.2. Desarrollo de la interacción de los componentes.

Los componentes interactúan entre sí de la siguiente manera:

- a. *Dispositivo A/D*: permite obtener la información a través de sensores (entre otros de: temperatura, conductividad y fluorescencia), cuyos datos análogos son procesados por la interfaz que los transforma en digitales, mismos que a su vez son enviados de forma inalámbrica a una terminal con capacidad de procesamiento y comunicación (entre otros PC o tableta) que trabaja con un sistema operativo. El elemento de inteligencia integra los datos obtenidos a través de los sensores (micro- controladores).
- b. *Componente de procesamiento*: de tipo modular (capacidad de separar funciones), realiza entre otras las siguientes actividades: integra medición y calibración, reporta información a través de curvas de comportamiento de flujo y cuenta con una interfaz de visualización gráfica de fácil comprensión para el usuario. Se reciben los datos de entrada en tiempo real a través del componente de comunicación del dispositivo A/D albergándolos y facilitando el acceso remoto o no, a los datos recolectados. Por medio de los diferentes módulos, el usuario puede ingresar datos de entrada, consultar mediciones almacenadas y visualizar los resultados obtenidos en cada curva guardada, entre otras acciones.
- c. *Método*: a partir de una serie de pasos y procedimientos integrados con el uso de funciones matemáticas (representaciones teóricas de formas convencionales y novedosas de entender el fenómeno), facilitan la descripción general de las características hidráulicas y dispersivas de los cauces mediante la interpretación de medidas locales; permitiendo la caracterización de todo tipo de cuerpo de agua, pues al extrapolar información específica local (tomada en la orilla, en el centro o en ambos) se puede determinar el estado del flujo en general (o sea **no-local**), utilizando novedosas formulaciones termodinámicas. Al sumar

diferentes teorías y formulaciones, la presente tecnología permite obtener resultados precisos y rápidos mediante la representación de los fenómenos descritos. Así pues, en la etapa de análisis y procesamiento de información, los datos levantados con el dispositivo A/D mediante la técnica de trazadores son validados para hallar la velocidad representativa y haciendo uso de la función de estado (φ) determina otros parámetros hidráulicos y dispersivos.

El método o metodología se compone de tres etapas principales:

- i. Labor pre-campo y planeación logística: consiste en identificar mediante información secundaria los puntos de interés (los puntos de vertimiento o los puntos de monitoreo). Se evalúan los accesos internos y externos al cauce en los sitios de toma de datos y se realiza la planeación logística de la labor de campo (transporte, características climáticas, condiciones de seguridad, orden público, entre otras).
- ii. Levantamiento de la información en campo: etapa en la cual se realizan actividades como definición del tramo de estudio (que depende del tipo de estudio a elaborar), determinación de los datos de entrada, determinación de la masa de trazador, ubicación de los sensores, inyección del trazador, levantamiento de las curvas y finalmente actividades de cierre.
- iii. Análisis y procesamiento de la información: una vez la información es levantada en campo por el instrumento en tiempo real, se realiza el análisis y determinación de los diferentes parámetros a estimar. Esta etapa está compuesta por tres grandes subprocesos: análisis de la hidráulica, análisis de la geomorfología y análisis de transporte dispersivo; algunos de estos procedimientos varían dependiendo del tipo de estudio a realizar.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción de la invención y facilitar la interpretación de sus características formales, estructurales y funcionales, se acompañan dibujos en los que se representan esquemáticamente sus diferentes aspectos.

6. CAPÍTULO REIVINDICATORIO

- (1) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real a partir del estudio de trazadores, comprendido por:
 - a. *Una carcasa de protección.*
 - b. *Sistema electrónico de conversión Análogo-Digital.* Que se acopla a los sensores externos, de fluorescencia, conductividad y temperatura.
 - c. *Un equipo terminal que hace tratamiento de información,* con capacidad de conectividad y de procesamiento, que se comunica con el sistema electrónico, el cual permite la interacción con el usuario.
 - d. *Componente de procesamiento:* comprendido por módulos residente en el equipo terminal, que recibe e interpreta la información digital por medio de transmisión inalámbrica. Responsable de organizar, procesar y presentar la información proveniente de los sensores, así como de interactuar con sistemas de información en la nube y a sistemas de internet.
- (2) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema electrónico de conversión análogo-digital está compuesto por: una *tarjeta electrónica de conversión análogo-digital*, unos *medios de acople* para sensores externos: mínimo un conector de fluorescencia y mínimo un conector de trazador iónico (conductividad)-temperatura, un componente de comunicación inalámbrica y un componente de alimentación de energía. Contiene mínimo dos indicadores LED de encendido/apagado y de conexión. Un interruptor y un conector USB.
- (3) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 1 y 2, en donde la tarjeta electrónica de conversión análoga-digital se caracteriza por albergar los siguientes sub-sistemas electrónicos:
 - a) Sistema de medición de conductividad (trazador iónico), usando generador de onda cuadrada saturada y su procesamiento mediante un circuito de valor absoluto de repetibilidad
 - b) Sistema electrónico de medición de la fluorescencia, c) Sistema electrónico de

medición de temperatura, d) Sistema de optimización de tramas digitales, e) Un esquema de alimentación de voltaje para los circuitos de la tarjeta electrónica y el sensor de fluorescencia externo y f) Un juego de conectores externos.

- (4) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 1, 2 y 3 caracterizado porque la tarjeta electrónica de la reivindicación 2 cuenta con un sistema electrónico (Microcontrolador PIC) tipo conversor de información analógica – digital. Contiene el soporte lógico para transmitir tramas operativas digitales por medio alámbrico e inalámbrico.
- (5) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 1, caracterizado porque el componente de procesamiento contiene un soporte lógico de diseño modular; para obtención, tratamiento y emisión de información, el cual opera en cualquier sistema operativo.
- (6) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 1, caracterizado porque el componente de procesamiento contiene mínimo 4 módulos: módulo de interacción con usuario, módulo de lógica, módulo de almacenamiento y módulo de comunicación.
- (7) Dispositivo A/D para el levantamiento y tratamiento de información de flujos, asociada a los parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 1, caracterizado porque el componente de procesamiento alberga datos en dispositivos remotos y en la nube.
- (8) Un método para el levantamiento y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real a partir del estudio de trazadores, que se compone de tres etapas: **a. labor pre-campo y de planeación logística, b. levantamiento de la información en campo y c. Análisis y procesamiento de la información.** Dicho método permite levantar y analizar información sobre cualquier tipo de flujo. El método incorpora varios procedimientos.

(9) Un método para el levantamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8 caracterizado porque la **etapa labor pre-campo y de planeación logística** comprende: identificar los puntos de vertimiento o los puntos de monitoreo. Evaluar los accesos internos y externos al cauce en los sitios de toma de datos y realizar la planeación logística de la labor de campo.

(10) Un método para el levantamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8 caracterizado porque la **etapa levantamiento de la información en campo** comprende:

a. *Definición de tramo de estudio*: Según el tipo de estudio:

- i. Estudios de vertimientos: verificar en campo las coordenadas del punto de vertimiento actual, proyectado o el punto de monitoreo asignado; para levantar datos preliminares de hidráulica y dispersión. A partir de este punto, se determinan las distancias hacia arriba y hacia abajo, para realizar los experimentos con trazadores como mínimo en dos puntos: el primero antes del vertimiento (A1, Aguas arriba) y el segundo después de la descarga (A2, Aguas abajo)
- ii. Estudios de tiempos de viaje y delimitación de rondas hídricas: consiste en segmentar el recorrido esperado en “trayectos locales”, de tal forma que se tengan datos secuenciales de la advección, representando los aspectos especiales de cada uno de los “trayectos locales”. Se definen segmentos secuenciales de tal manera que cada uno represente un patrón de advección propio, de forma que la suma sea representativa de todo el recorrido. Se empieza “aguas arriba” y se termina “aguas abajo”. Esta segmentación implica que se deben hacer pruebas de trazador en cada trayecto.
- iii. Estudios de fugas o filtraciones en sistemas de tuberías hidráulicas: El tramo de estudio se define según el diseño de la red de tuberías mínimo en dos puntos: punto de inicio y punto de medición. El punto de inicio es aquel en el que se sospeche que hay una posible fuga, o el punto en el que se presume que se mezclan aguas de naturaleza diferente. El punto de medición es

aquel en donde convergen las aguas que no pertenecen al sistema en condiciones normales.

iv. Estudios de dinámica fluvial en cuerpos lenticos: en este tipo de análisis el tramo de estudio corresponde a toda la sección transversal del cuerpo lentic, teniendo en cuenta que se deben realizar repeticiones de los experimentos con trazadores a lo ancho de los mismos, de tal forma que se pueda obtener información de los procesos advectivos a nivel general. Es necesario realizar repeticiones sucesivas de los ensayos de trazadores con el fin de caracterizar advectivamente la totalidad del cuerpo de agua.

v. Estudios de filtraciones en infraestructura de cuerpos lenticos o embalses: el tramo de estudio corresponde a la estructura en la que se presume la fuga, por ejemplo: galerías y pozos de nivelación, se realiza la inyección en donde se sospeche que se está presentando la filtración y se espera a que las partículas de trazador se dispersen de tal forma que, si existe alguna filtración o fuga, esta se observará a la salida de la estructura en evaluación.

b. *Determinación de los datos de entrada:* se determinan datos de entrada para cada experimento en cada punto de medición. Los datos a determinar son: El ancho de la sección, la distancia entre el punto de inyección del trazador y el punto de medición que se determinan directamente en campo. El procedimiento para su medición depende del tipo de cauce: en corrientes pequeñas se usa cinta métrica estándar realizando un alineamiento horizontal y repitiendo la medición en mínimo dos oportunidades para eliminar errores de alineamiento imperfecto, errores por variación de la tensión y errores accidentales. En ríos de mayor tamaño se determina el ancho por posicionamiento satelital.

La distancia entre el punto de inyección del trazador y el punto de medición depende del ancho de la sección, para tres tipos de cauce: angosto, medio y ancho. Para cauce angosto, el ancho es de 0 a 10 m y la distancia sugerida (inyección y medición) es de 0 a 30 m. Para cauce medio, el ancho es de 10 a 50 m y la distancia sugerida (inyección y

medición) es de 30 a 300 m. Para cauce ancho, el ancho es mayor a 50 m y la distancia sugerida (inyección y medición) es mayor a 300 m.

- a. *Determinación de la masa de trazador*: la masa de trazador se determina en función del caudal promedio, suficiente para ser detectado por el sensor sin afectar la biota del lugar. La presente tecnología permite levantar curva de tiempo vs concentración con cualquier tipo trazador. En caso de utilizar trazador fluorescente perceptible a primera vista, se apreciará una tenue coloración sobre el cauce, suficiente para ser detectada por los sensores en los puntos de medición seleccionados, para ser observada por el experimentador y tomar datos de respaldo y verificaciones manuales.
- b. *Ubicación de los sensores*: para detectar la masa de trazador es indispensable ubicar los sensores sobre el cauce. El sensor se ubica en el centro del cuerpo de agua o en el tubo de corriente representativo del mismo; cuando esto no es posible, podrá entonces ubicarse en la orilla. Se usa la cinta métrica para determinar la distancia a la cual se encuentra ubicado el sensor con respecto a la orilla (W_s). Con el dato obtenido, posteriormente se calcula o se valida el dato de velocidad representativa del cuerpo de agua.
Se realiza la ubicación de sensores de acuerdo a las siguientes consideraciones: en cauces poco profundos (≤ 30 cm) el sensor debe ubicarse en el fondo del cauce. En cauces de mayor profundidad (> 30 cm) el sensor se debe sumergir hasta una profundidad de 20 cm.
- c. *Inyección del trazador*, en cuerpos de agua angostos una inyección de trazador puede dar información completa, en la medida en que la distancia y el ancho sean suficientes para caracterizar la sección transversal en su totalidad. En ríos grandes, es necesario hacer mediciones en cada orilla, y otra más en la corriente central para determinar velocidad media. Se repite el levantamiento de información en mínimo dos inyecciones de tal forma que se obtengan datos comparables estadísticamente.

- d. *Levantamiento de curvas*. Los sensores detectan el paso del trazador por cada punto. Se determina la velocidad y el ancho de la sección.
- e. *Actividades de cierre*: Levantamiento de equipo, verificar el recaudo de la información, recoger todos los elementos y dejar el ecosistema en las mismas condiciones en que se encontró sin residuos sólidos o elementos que puedan afectar el mismo.

(11) Un método para el levantamiento y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8, caracterizado porque la **etapa *Análisis y procesamiento de la información*** comprende:

a. *Análisis de la hidráulica*, consistente en:

- i. La determinación de la velocidad y el tiempo de viaje: se debe contar con información de características locales o generales del flujo, obtenidos en la etapa levantamiento de la información en campo, de la reivindicación 10.
De manera general, se puede demostrar que el trazador alcanza el valor de la velocidad media del flujo ($\bar{U}$) cuando el ancho de la pluma (WL) $\approx 0,25$ del ancho total (W). En este caso la “velocidad local” del trazador se puede asimilar con la velocidad media.

(a) Procedimientos de determinación de la velocidad:

(a1) Estimación directa de la velocidad. En los cauces angostos en donde el ancho de la pluma de trazador (WL) es igual al ancho de la sección transversal del punto de interés, se acepta la velocidad en sitio, pues en la medida en que el trazador ocupa todo el ancho de la sección transversal, la velocidad es un dato confiable. La curva de trazador permite obtener los datos necesarios para conocer las características dispersivas y advectivas del flujo en examen y arroja el dato de tiempo de primeras partículas y el de tiempo de viaje durante la realización del experimento en campo. Al medirse el tiempo de viaje con un trazador vertido de forma súbita, se puede ver que el “tiempo del pico de la distribución” coincide con dicho tiempo de viaje. Es necesario que el trazador viaje adyacente a la orilla, de tal forma que la velocidad del

trazador corresponda a la velocidad del fluido en ese punto. La evolución de la pluma de trazador en el cauce es proporcional a los tiempos característicos del cauce.

(a2) Estimación con procesamiento de datos, mediante la metodología de distribución lateral de velocidades.

(a3) Estimaciones de la dinámica de la pluma mediante observación directa o método cualitativo, usado como medio de verificación complementario. Se levantan entre dos y tres datos de tiempo de viaje mediante observación directa, de tal forma que el promedio de las mismas pueda ser comparable estadísticamente.

(b) Aplicación específica de los procedimientos de estimación de tiempos de viaje y velocidades. Según el tipo de cauce se aplican procedimientos para la estimación del tiempo de viaje y la velocidad, los cuales se describen a continuación:

(b1) Cauce angosto (ancho menor – menos de 10 m) cuando el trazador cubre bien toda la sección transversal, no se utiliza la distribución lateral. Son aquellos casos en los que, debido al estado de su evolución, el tubo de corriente del trazador cubre enteramente la sección transversal del cauce, A , es decir el “ancho de la pluma de trazador”, WL , es igual al ancho del cauce propiamente dicho, W .

En los ríos estrechos se toman varios datos para el levantamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real (se toman mínimo dos) y se realizan mediciones con el cronómetro (simultáneamente), con el fin de verificar y complementar la información. Se escoge un tramo relativamente recto y homogéneo, de tal forma que la distribución lateral de velocidades no se distorsione. El sensor se ubica en el centro (punto ideal de velocidad máxima) y la inyección de trazador se hace a una distancia que permite la ocupación del ancho completo por el trazador (en una distancia de mínimo 10 veces el ancho).

Cuando el sensor no puede ponerse en la zona central se dispone en la orilla a una distancia intermedia conocida (W_s), de tal forma que sea posible estimar su ubicación dentro de la distribución lateral de velocidades. El dato estimado arroja la velocidad media del flujo y el cual se verifica a partir del dato cualitativo levantado.

(b2) Cauce medio (Ancho medio – entre 10 m y 50 m)_Son aquellos casos en los que, debido al estado de su evolución, el tubo de corriente del trazador cubre parcial (y no completamente) la sección transversal del flujo. Se realiza un muestreo combinado de mediciones, con mediciones adicionales de cronómetro, de tal forma que se aumente el número de mediciones “n” obteniendo un valor promedio que represente bastante bien el valor de la velocidad medida en el flujo (UL), con este valor se aplica la metodología de distribución lateral de velocidades.

(b3) Cauce ancho (ancho mayor a 50 m) en casos de ríos anchos es necesario establecer mediciones aparte, tanto en las orillas como en el centro y posteriormente aplicar la metodología de distribución lateral de velocidades en cada experimento y realizar un análisis estadístico de los datos.

(c) Análisis de los resultados empíricos en comparación con los modelos teóricos. Se verifica que el modelo teórico a utilizarse para caracterizar el transporte de masa, en el cauce de estudio, se acopla bien a los datos experimentales.

ii. *Determinación de Caudal.*

iii. Cálculo del radio hidráulico.

b. *Análisis de la geomorfología:* A partir de las observaciones de campo y las mediciones con trazador se realizan los cálculos de geomorfología, aplicando el siguiente procedimiento:

i. Estimación de la rugosidad: Para efectos de los estudios con trazadores se estima la rugosidad por alguno de los siguientes métodos dependiente del tipo de cauce:

(a) Estimación de la rugosidad de Manning por el método de Cowan

(b) Estimación de la rugosidad por el método de resistencia en flujo para cauces de montaña.

- ii. Estimación de la pendiente: conociendo el radio hidráulico promedio para los dos puntos, la velocidad media y la estimación de la rugosidad, se debe calcular la pendiente de fricción, asumiendo flujo uniforme y utilizando la relación de flujo uniforme.
- iii. Cálculo del coeficiente de Chezy – Manning , se calcula el coeficiente de resistencia de Chezy.

c. *Análisis del transporte dispersivo*

(12) Un método para el levantamiento y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8, caracterizado por contener un procedimiento para obtener el análisis del transporte dispersivo que se conforma por los siguientes cálculos: a) cálculo del coeficiente longitudinal de dispersión, b) cálculo del coeficiente transversal de difusión, c) cálculo del ancho de la pluma y d) cálculo de la longitud de mezcla.

a. *Cálculo del coeficiente longitudinal de dispersión*: se usa la fórmula que se muestra a continuación

$$E \approx \frac{\varphi^2 * U^2 * \beta * tv}{2}$$

En donde:

E: Coeficiente Longitudinal de dispersión

φ : Función de estado (describe la evolución del trazador)

U: Velocidad

β : Constante que vale 0.215

tv: Tiempo de viaje

La ecuación anterior se basa en el uso de la función de estado (φ).

Adicionalmente, se realiza la validación del coeficiente longitudinal de dispersión, E, mediante las fórmulas hidráulicas existentes, para la efectiva confirmación de los datos a validar.

- b. *Cálculo del coeficiente transversal de difusión:* para el coeficiente transversal de difusión, ε_y , el cual se usa para cálculos posteriores del transporte de masa en los flujos turbulentos, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon_y \approx \frac{1}{0.215 * tv} * \frac{A^2 * 1.16^2}{8\pi^2 h^2}$$

En donde:

ε_y : Coeficiente transversal de difusión

Tv: Tiempo de viaje

A: Área de la sección transversal

h: Profundidad

Se realiza el cálculo con la ecuación anterior derivada de la fórmula de trazador y se valida mediante la fórmula que se presenta a continuación, para cada una de las variaciones del coeficiente longitudinal de dispersión.

$$\varepsilon_y \approx \frac{E}{\left(\frac{5.93}{0.60}\right)} \approx \frac{E}{9.9}$$

En donde:

ε_y : Coeficiente transversal de difusión

E: Coeficiente Longitudinal de dispersión

- c. *Cálculo del ancho de la pluma:* el ancho local de la pluma, WL se halla conociendo que $U=X/tv$, se usa

$$WL \approx \sqrt{\frac{1}{k} * tv * \varepsilon_y}$$

En donde:

WL: Ancho local

k: Constante que le da consistencia al cálculo (función del ancho y de la distancia)

tv: Tiempo de viaje

ε_y : Coeficiente transversal de difusión

- d. *Cálculo de la longitud de mezcla:* la Longitud de mezcla, "Lm", o sea cuando el trazador cubre homogéneamente la sección transversal, A, se obtiene cuando el "ancho local de la pluma", WL, iguala al ancho total del flujo, W:

$$Lm \approx \frac{k * U * W^2}{\varepsilon y}$$

En donde:

Lm: Longitud de mezcla

W: Ancho

k: Constante que le da consistencia al cálculo (función del ancho y de la distancia)

L: Velocidad

εy : Coeficiente transversal de difusión

- (13) Un método para el levantamiento y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8, caracterizado por contener un procedimiento de estimación con, que implementa la metodología de distribución lateral de velocidades. Para esto se debe establecer el cálculo de la razón de la distancia a la cual se ubica el sensor con respecto a la orilla (W_s) y el ancho total de la sección transversal del cauce (W); es decir, W_s/W . El valor que se obtiene al aplicar la ecuación anterior se introduce en la fórmula que se presenta a continuación:

$$\frac{UL}{U_{Max}} = 0.25 \ln \left[1.73 \left(\frac{W_s}{W} \right) - 0.00012 \right] - \left[0.235 \left(\frac{W_s}{W} \right) \right] + 1.1$$

Obteniendo así la relación de la velocidad local (UL), y la velocidad máxima (U_{max}), es decir, UL/U_{max} ; de lo anterior se despeja U_{max} . Finalmente se aplica la fórmula que se muestra a continuación para obtener la velocidad media representativa del cauce:

$$\bar{U} = 0.953 * U_{max}$$

La ubicación del sensor de luminiscencia define " W_s ", mientras que el trazador inyectado en la orilla en su paso revela la velocidad del flujo " UL " en ese punto.

Entre más cerca al centro se encuentre el sensor, más quedará ubicado en la zona "plana" de la distribución.

Al dejar que evolucione la pluma de trazador en el flujo, la velocidad local medida por el sensor será cada vez más cercana a la velocidad media del cauce. Solo en los cauces anchos este proceso tomará mucho tiempo, y en estos casos para conocer la velocidad máxima (en el centro) y la velocidad media habrá que utilizarse la curva para hacer su cálculo.

- (14) Un método para el levantamiento y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8, caracterizado por contener un procedimiento para el análisis de los resultados empíricos en comparación con los modelos teóricos, donde se usa el coeficiente longitudinal de dispersión como función del tiempo a través del uso de la función de estado $\varphi(t)$, que representa la evolución energética de la pluma de trazador.

El modelo teórico queda de acuerdo a la ecuación:

$$C = \frac{M}{Q * \varphi * t * 1.16} e^{\frac{-(X-Ut)^2}{2\beta(t*U*\varphi)^2}}$$

Para calcular la función de estado en cada punto, $\varphi(t)$ a partir de los datos experimentales se utiliza la siguiente ecuación donde t_{pp} es el tiempo de las primeras partículas y t_v es el tiempo de viaje que se obtienen del examen de las curvas experimentales:

$$\varphi(t) \approx \frac{1}{2\sqrt{\beta}} * \left(1 - \frac{t_{pp}}{t_v}\right) \approx \frac{1}{0.93} * \left(1 - \frac{t_{pp}}{t_v}\right)$$

Un tiempo adicional que se caracteriza en las curvas de trazador es el llamado tiempo del centroide (t_s), definido mediante la siguiente ecuación:

$$t_s \approx \frac{\sum_i (C_i * \Delta t_i) * t_i}{\sum_i (C_i * \Delta t_i)}$$

Este valor se verifica mediante la siguiente ecuación;

$$t_s \approx r_q(\varphi) * t_v$$

En donde r_q es la relación entre el caudal local y el caudal total del flujo (haciendo uso de φ).

- (15) Un método para el levantamiento y tratamiento de parámetros hidráulicos y dispersivos en tiempo real de la reivindicación 8, caracterizado por contener un procedimiento para la determinación de caudal, donde se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{m}{\int_a^b C(t) dt}$$

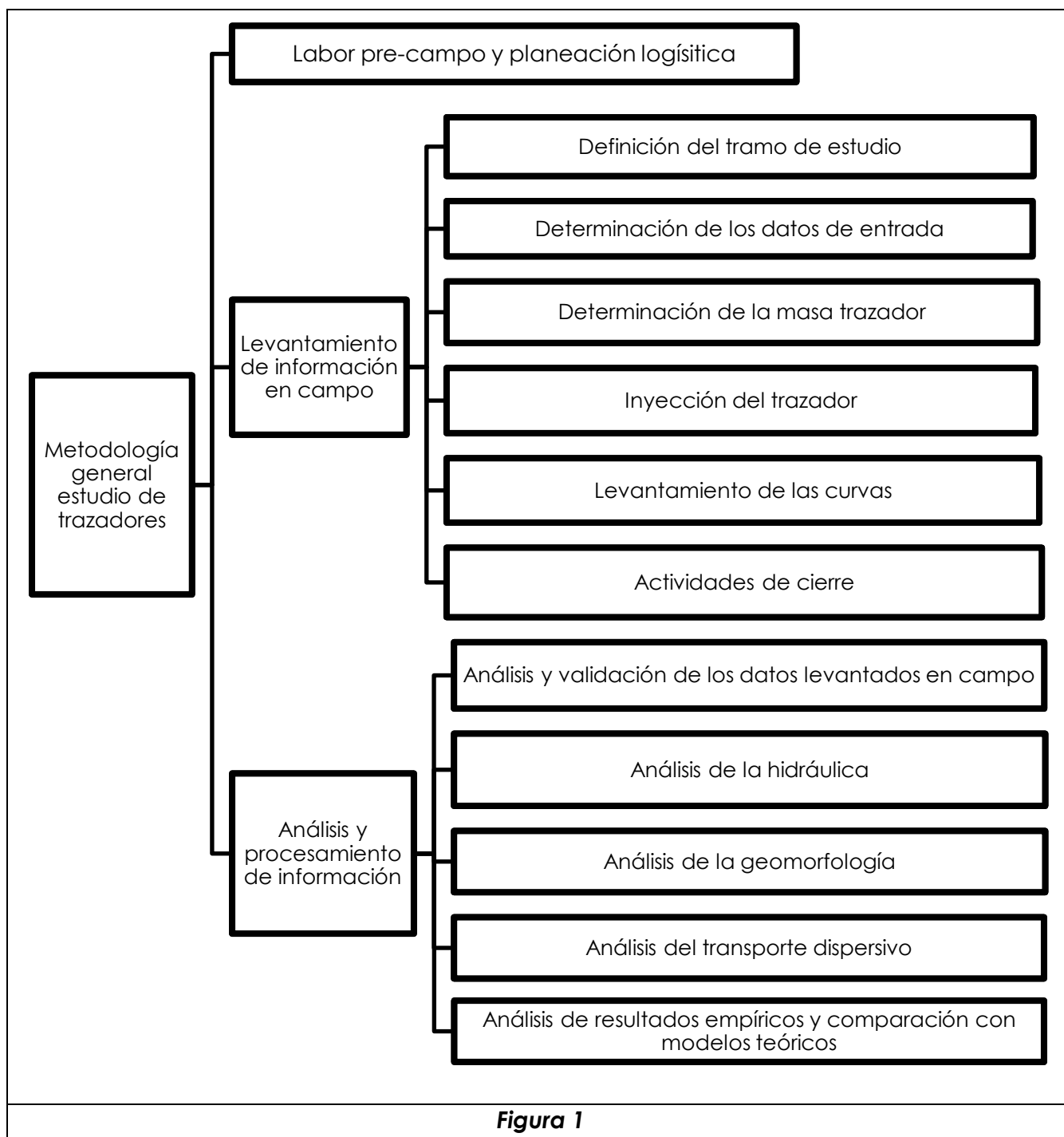
En donde m corresponde a la masa, C es la concentración de trazador (que se obtiene de la curva) y t es el tiempo.

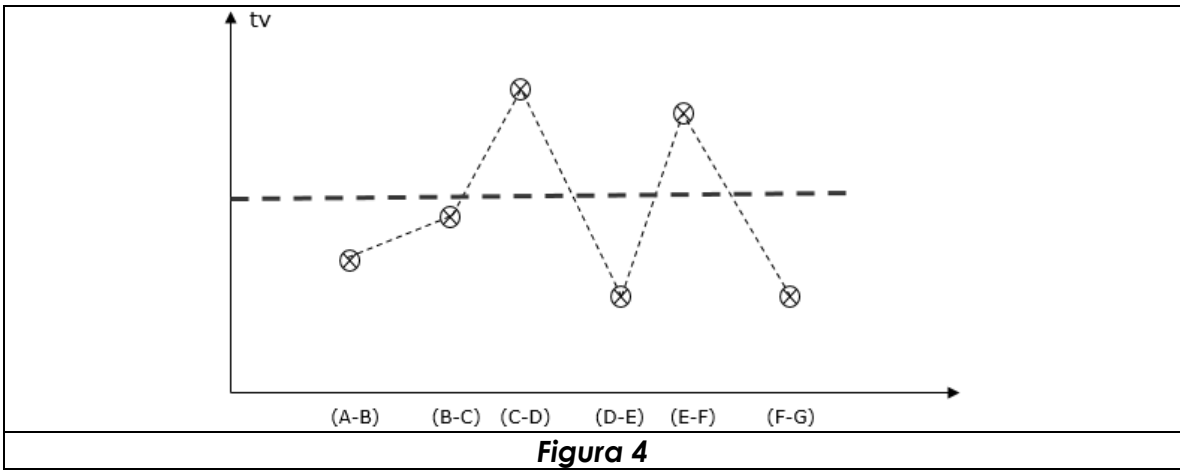
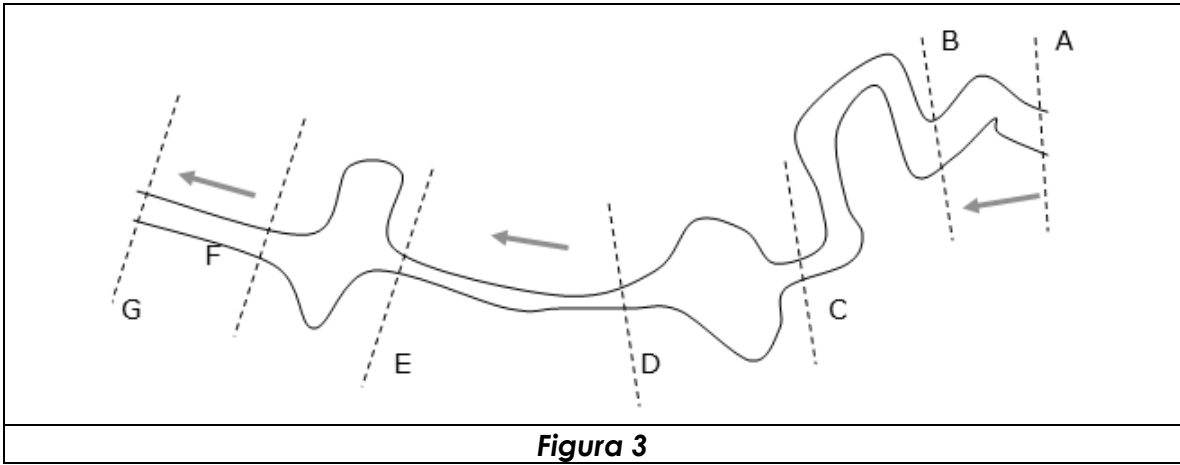
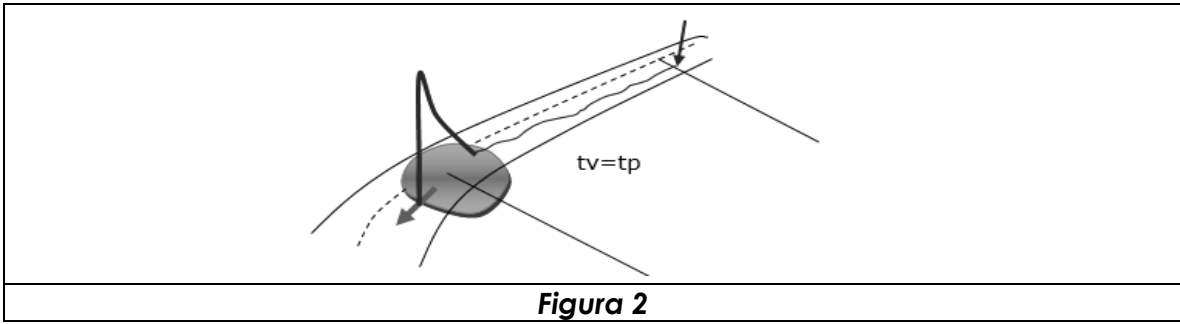
7. LISTADO DE FIGURAS:

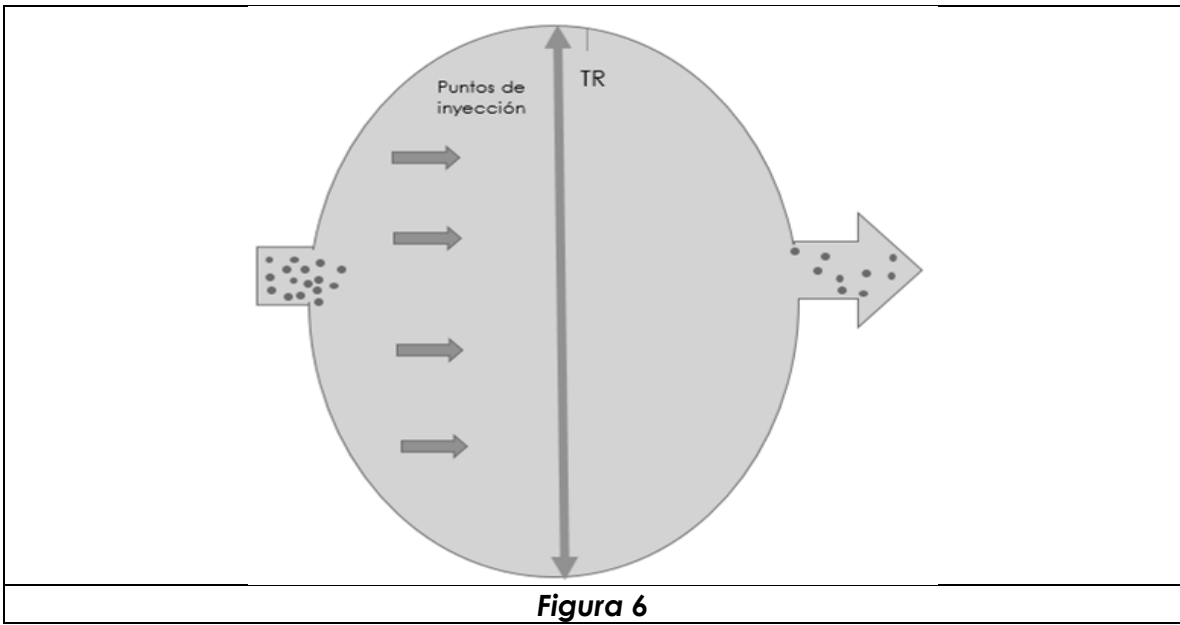
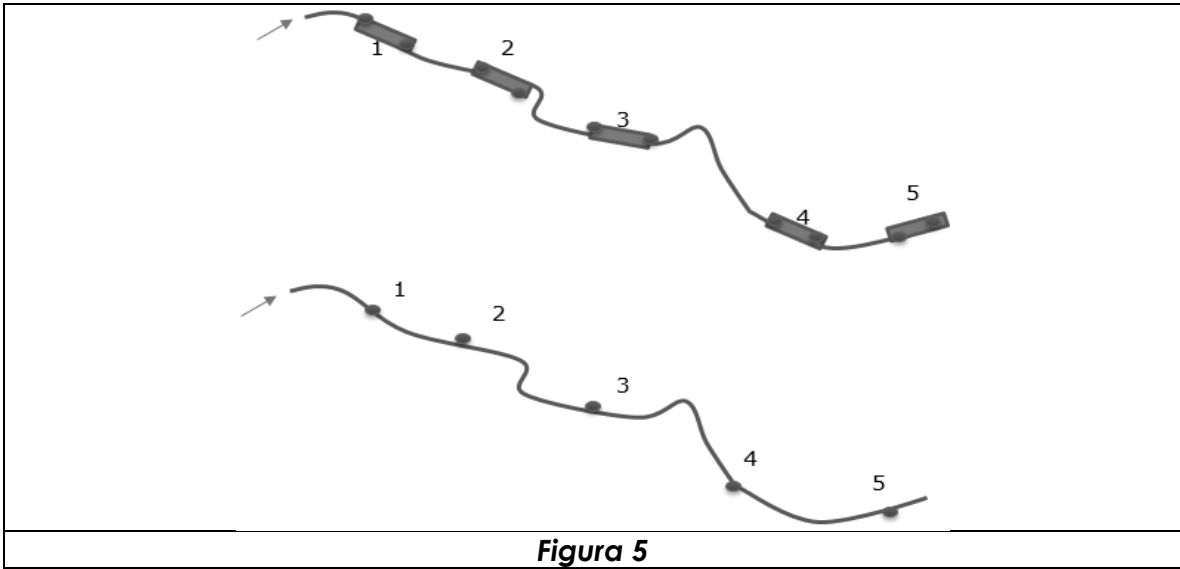
- FIGURA 1: ESQUEMA DEL MÉTODO PARA EL LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y DISPERSIVOS EN TIEMPO REAL.
- FIGURA 2: TIEMPO DE VIAJE Y TIEMPO DE PICO DE LA PLUMA DE TRAZADOR.
- FIGURA 3: SEGMENTACIÓN DE UN CAUCE PARA SU REPRESENTATIVIDAD EN ADVECCIÓN.
- FIGURA 4: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES SEGMENTADAS DE ADVECCIÓN EN EL RECORRIDO.
- FIGURA 5: SIMPLIFICACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTREOS EN FUNCIÓN DE LAS LIMITACIONES.
- FIGURA 6: DISTRIBUCIÓN DE INYECCIONES DE TRAZADOR FLUJOS LENTICOS.
- FIGURA 7: DISTRIBUCIÓN DE INYECCIONES DE TRAZADOR FLUJOS LENTICOS.
- FIGURA 8: CURVA DE TRAZADOR.
- FIGURA 9: DEFINICIÓN DEL TIEMPO DE VIAJE POR TRAZADORES
- FIGURA 10: TIEMPO DE PRIMERAS PARTÍCULAS Y TIEMPO DE VIAJE REVELADOS POR EL TRAZADOR
- FIGURA 11: PROGRESIÓN LOCAL - GENERAL DE LA PLUMA DE TRAZADOR.
- FIGURA 12: CURVA DE DISTRIBUCIÓN LATERAL DE VELOCIDADES.
- FIGURA 13: VELOCIDAD LATERAL REVELADA POR EL TRAZADOR.
- FIGURA 14: UBICACIÓN DEL SENSOR Y LA VELOCIDAD LOCAL MEDIDA.
- FIGURA 15: MEDICIÓN CUALITATIVA DE LA PLUMA DE TRAZADOR.
- FIGURA 16: TRAZADOR CUBRIENDO EL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.

- FIGURA 17: CAUCE ANCHO Y EVOLUCIÓN DEL TRAZADOR.
- FIGURA 18: CURVA DEL MODELO TEÓRICO PARA CALCULAR "TS".
- FIGURA 19: TRAZADORES REVELANDO LOS PATRONES DINÁMICOS DE FLUJO LENTICO.
- FIGURA 20: ADVECCIÓN Y DISPERSIÓN.
- FIGURA 21: PATRONES DINÁMICOS Y CONDICIONES DE LA ECOLOGÍA.
- FIGURA 22: USO DE TRAZADOR PARA DETECTAR Y CARACTERIZAR AGUAS.
- FIGURA 23: ESTRUCTURA DEL SOPORTE LÓGICO.

8. FIGURAS







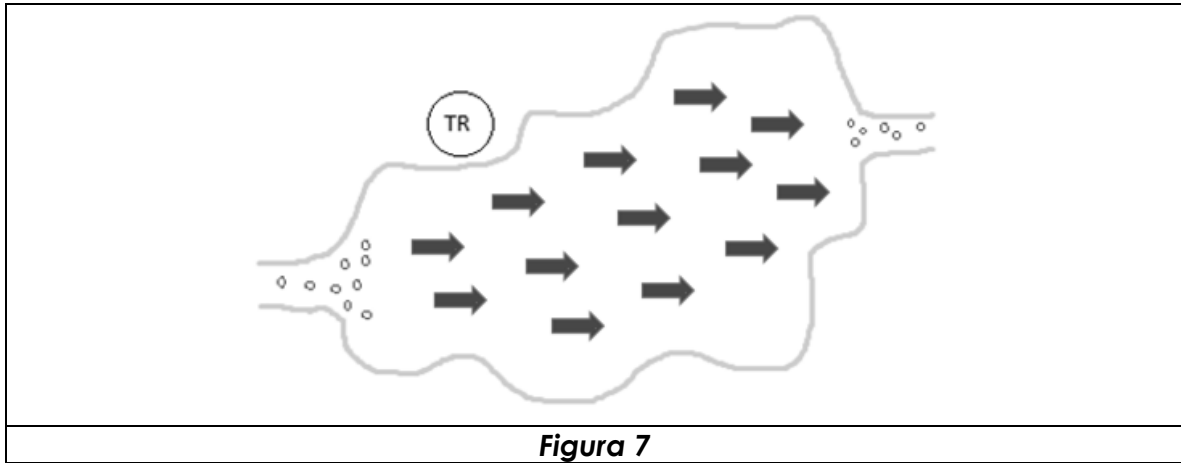


Figura 7

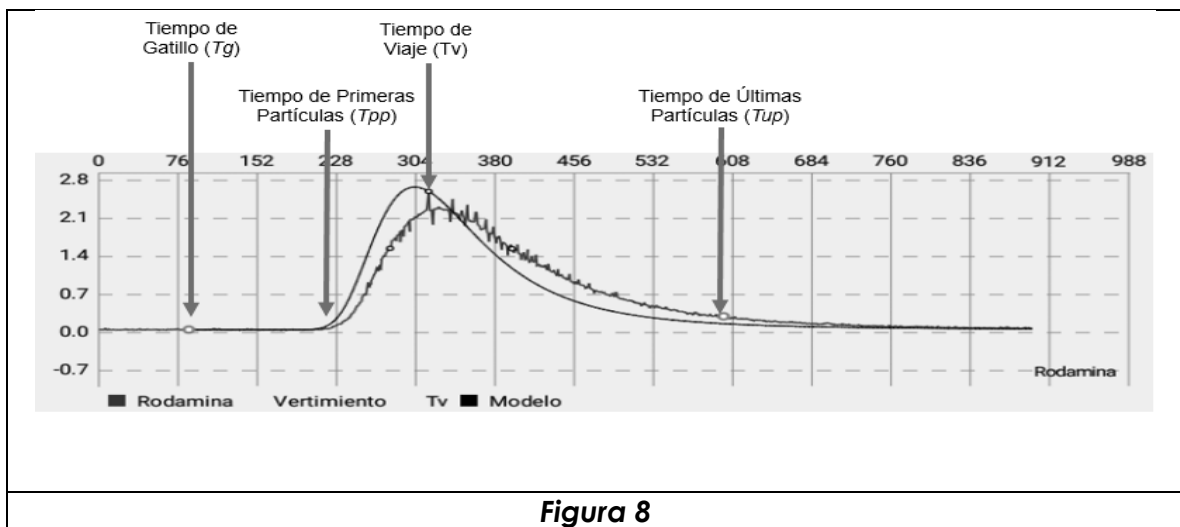


Figura 8

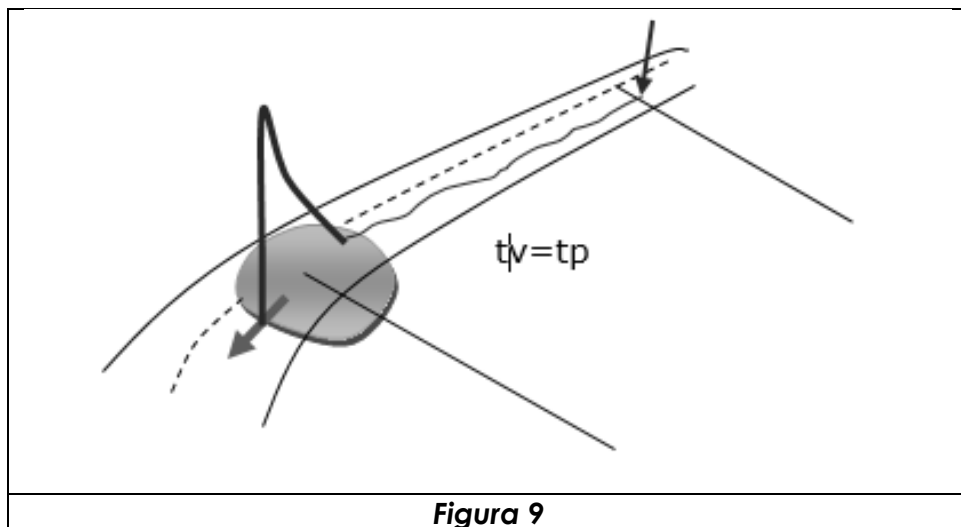
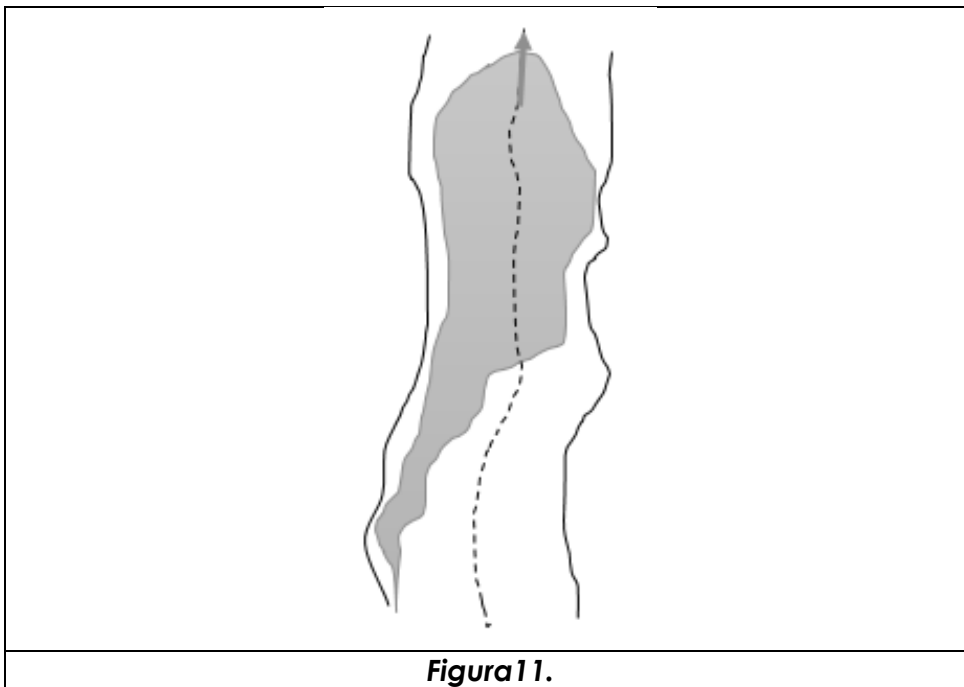
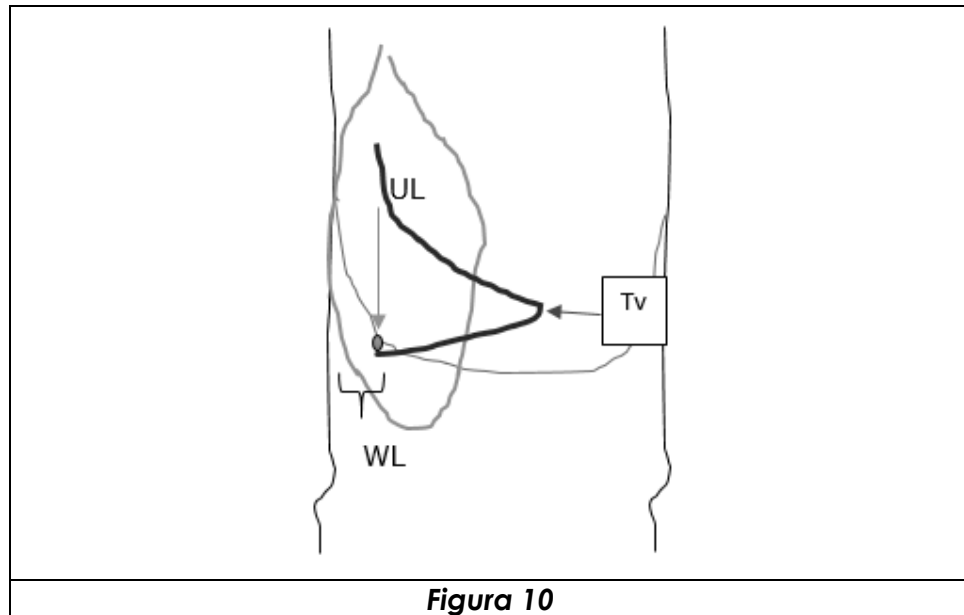
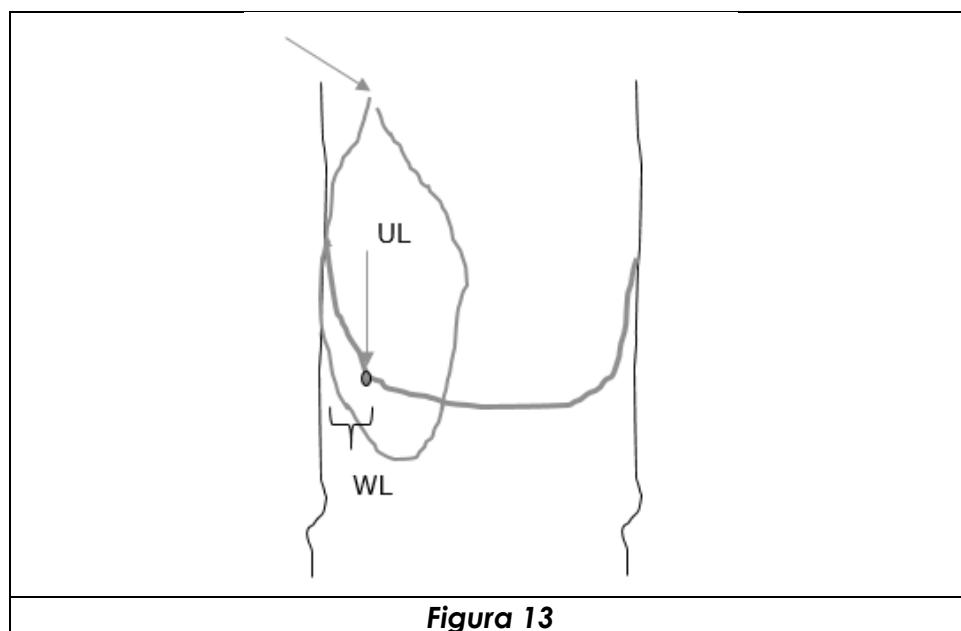
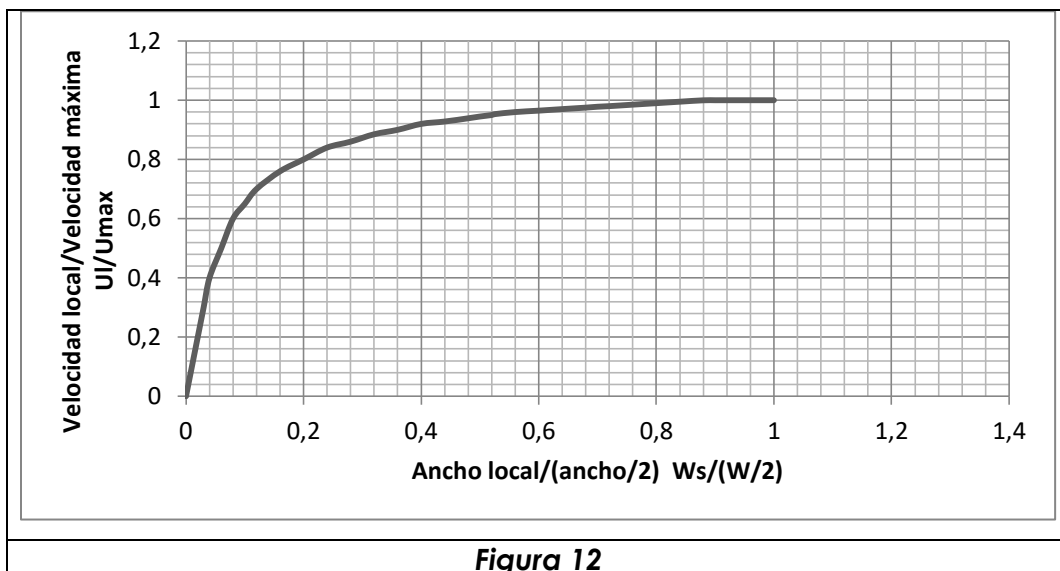
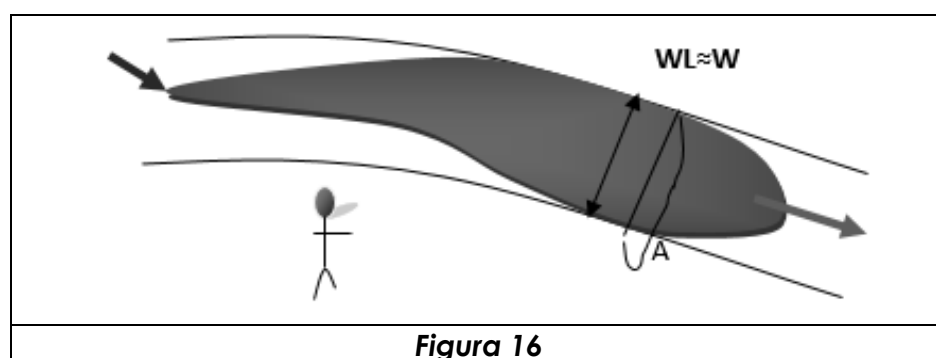
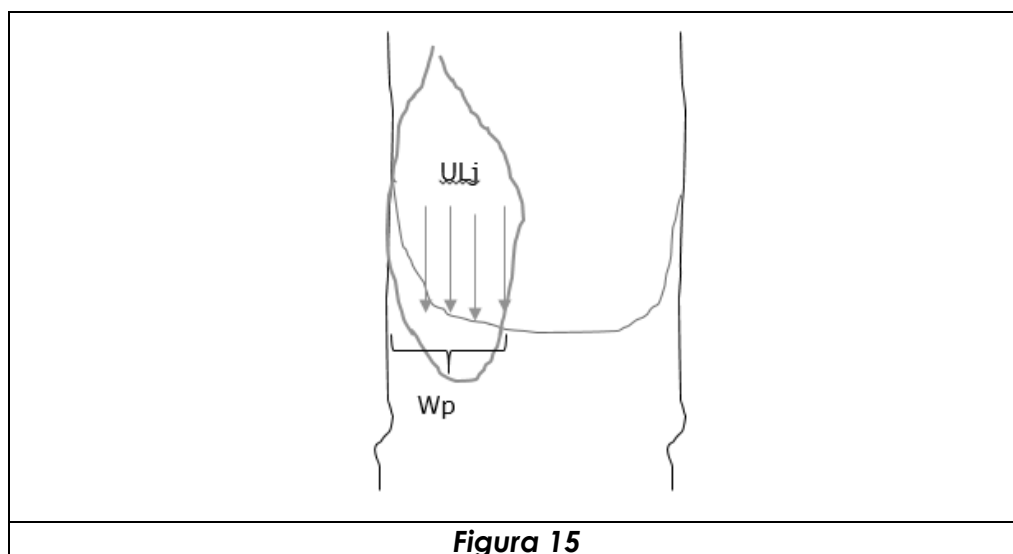
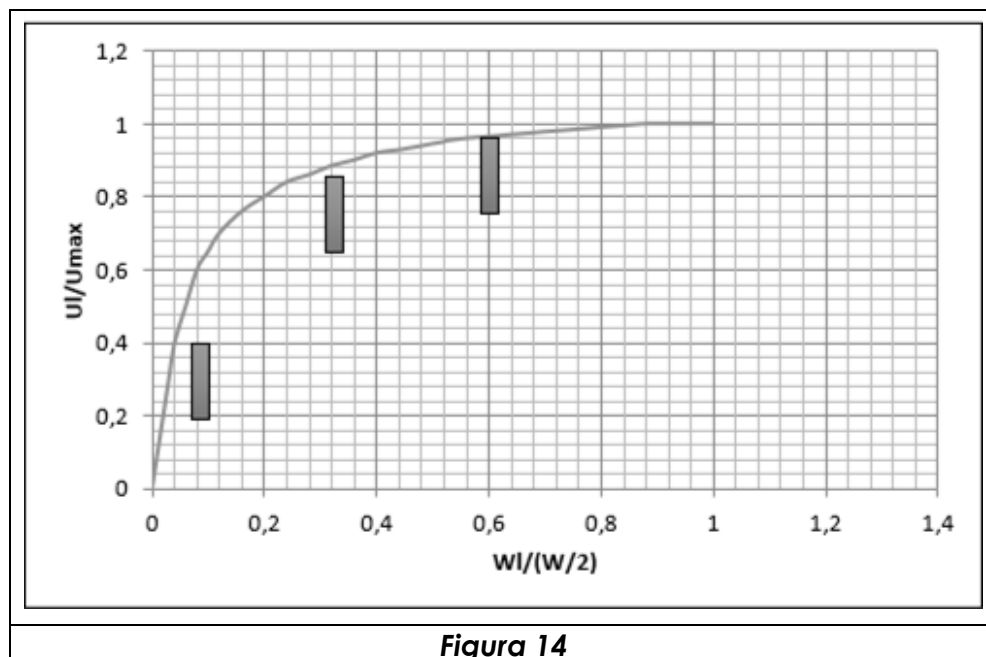


Figura 9







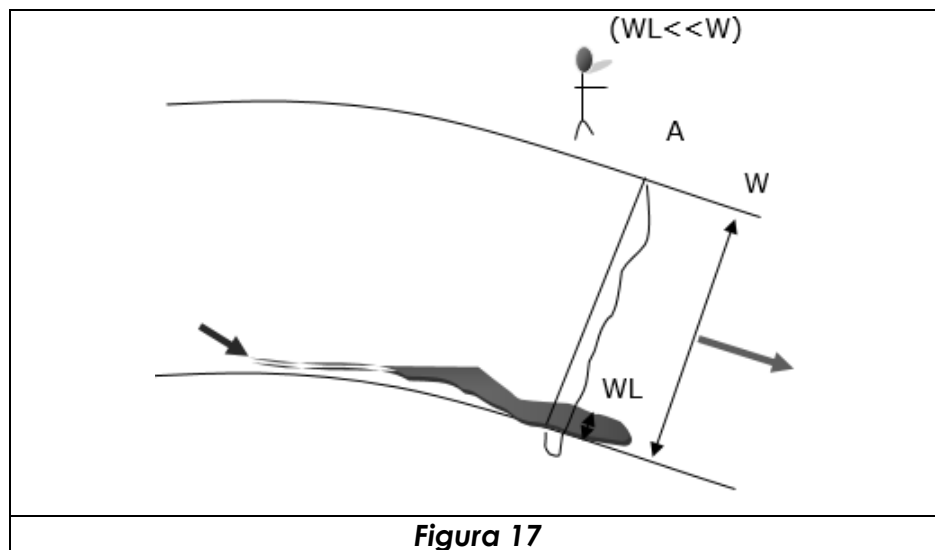


Figura 17

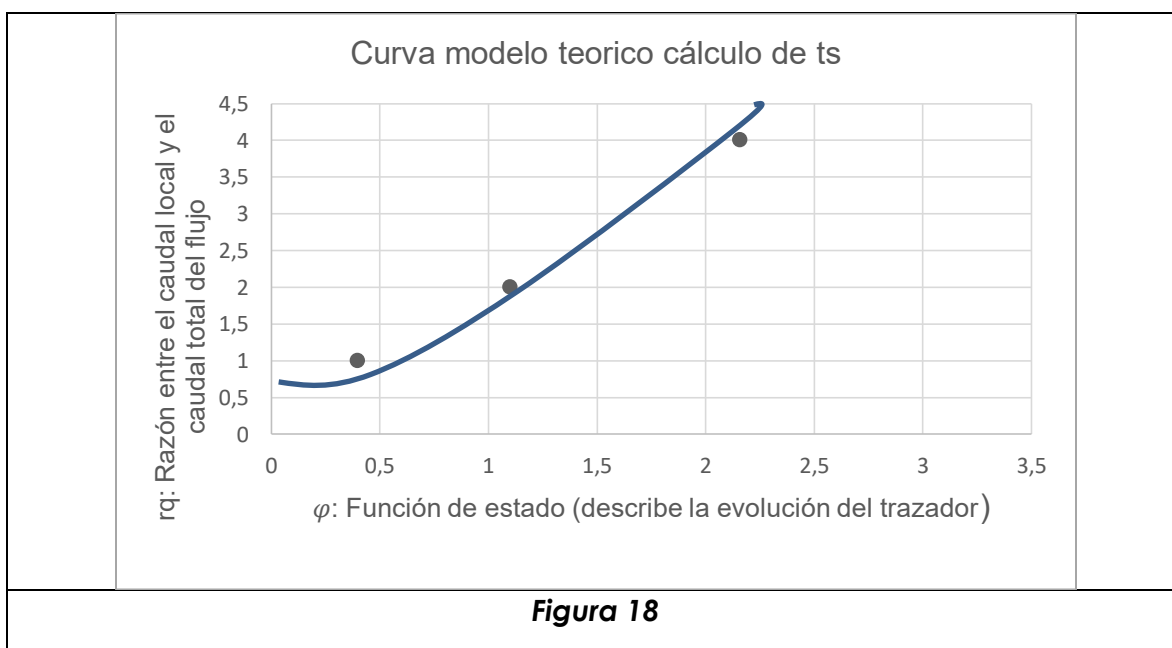
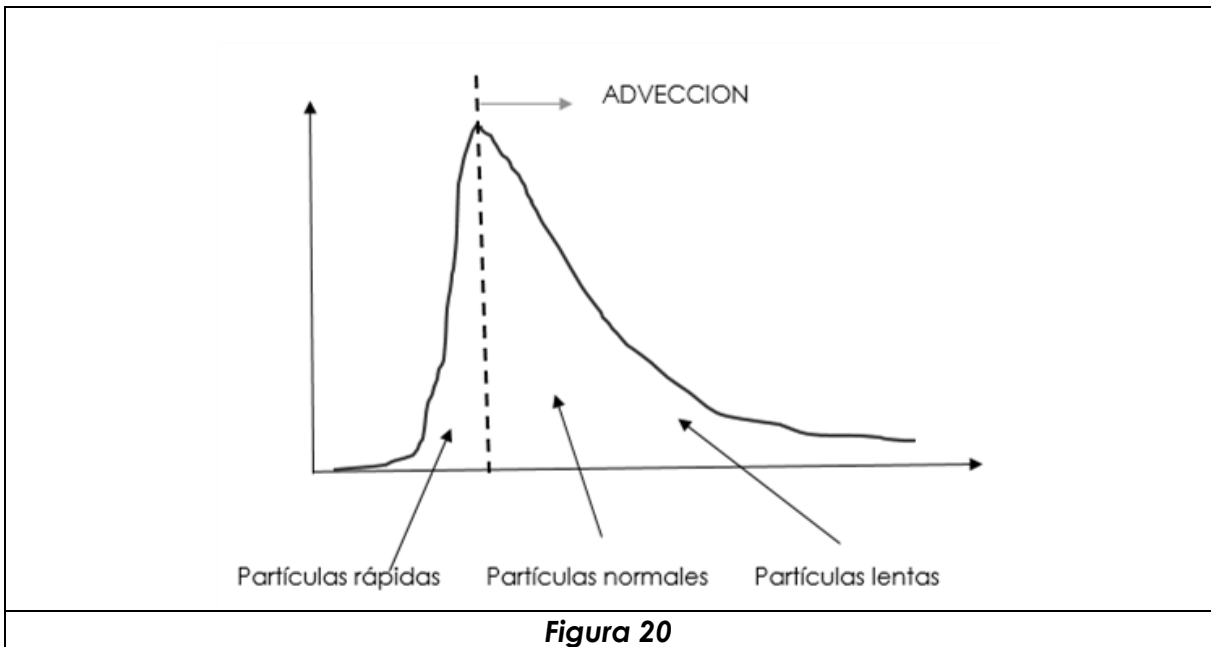
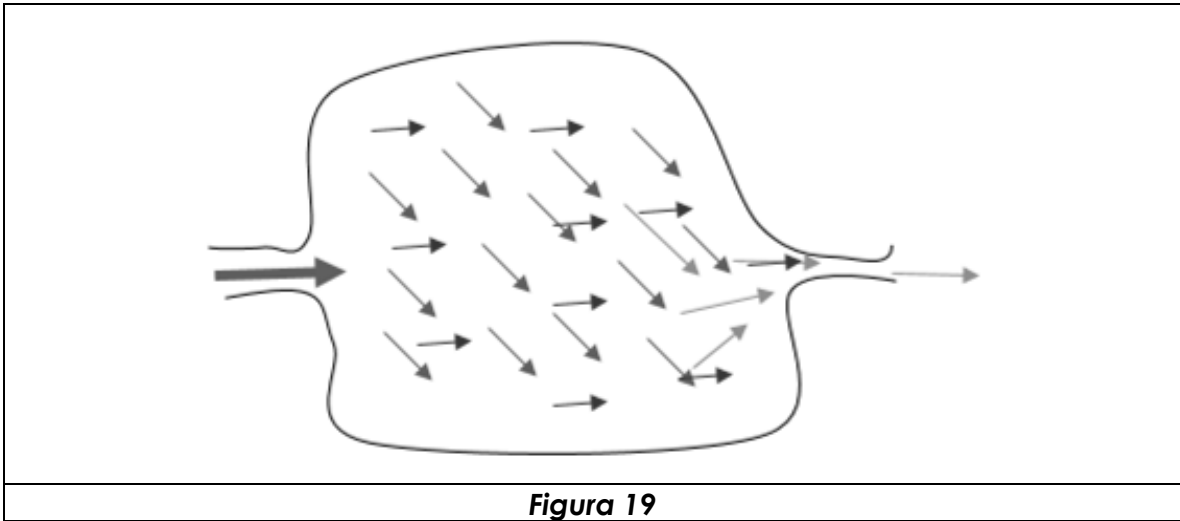
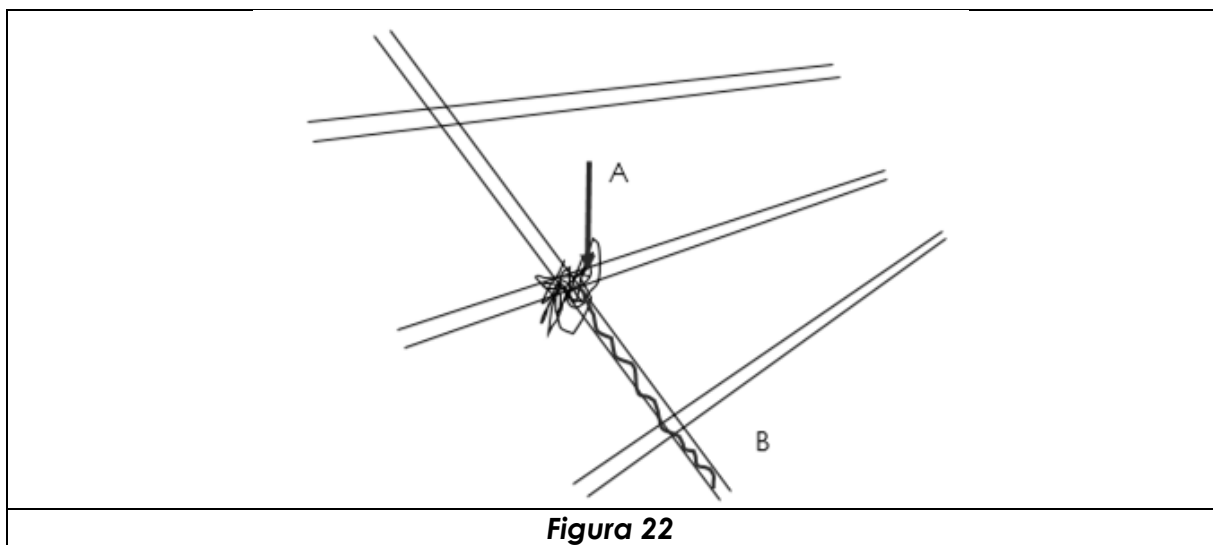
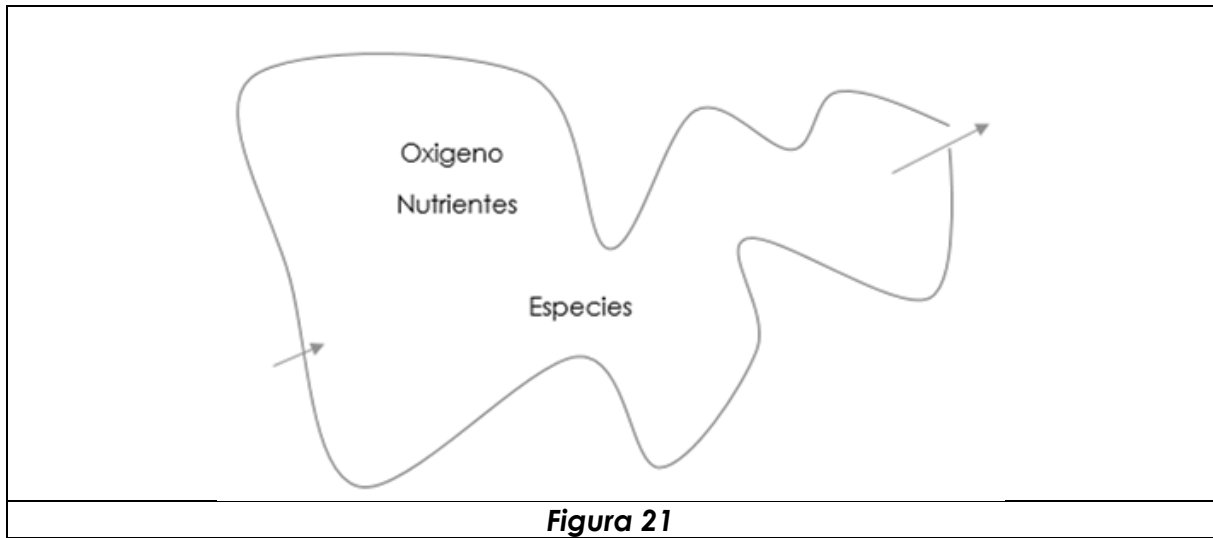


Figura 18





composite structure Estructuras internas

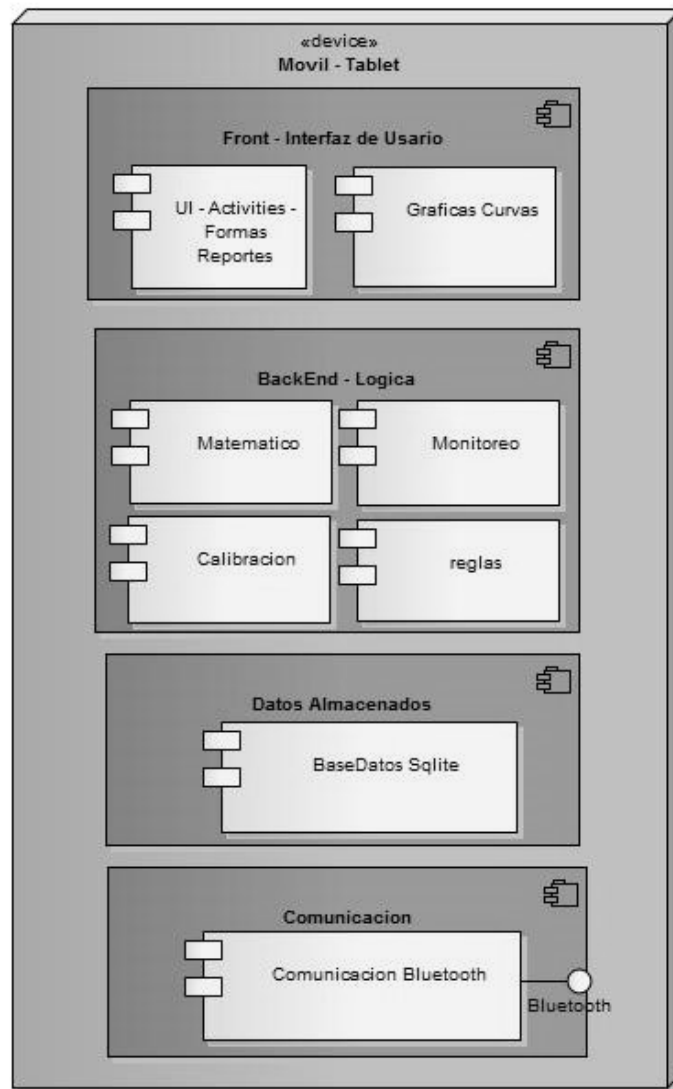


Figura 23