

[illegible]

**PROTOCOLO APLICABLE POR LAS EMPRESAS DEL
SECTOR DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOBRE LA
NORMA DE VERTIMIENTOS A CUERPOS DE
AGUAS SUPERFICIALES PARA LA
DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA
TÉRMICA**

Propuesta preparada por ANDEG

2025

Esta propuesta es presentada con base en el estudio realizado para ANDEG en el año 2015 por parte de:

CARLOS ALBERTO SIERRA RAMÍREZ
M.Sc. Water Resources Engineering

NORA ELENA VILLEGAS JÍMENEZ
M.Sc. Ingeniería Ambiental

ESNEDY HERNÁNDEZ ATILANO
Ph.D. Biología

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Objetivos específicos.....	5
1.2 Alcance.....	5
2. ZONA DE MEZCLA TÉRMICA Y ZONA DE MEZCLA	6
2.1 TEORÍA SOBRE VERTIMIENTO DE EFLUENTES.....	6
2.2 PROCESOS DE CAMPO CERCANO Y CAMPO LEJANO	9
2.3 ZONA DE MEZCLA	9
2.4 DEFINICIÓN DE ZONA DE MEZCLA Y ZONA DE MEZCLA TÉRMICA.....	13
2.5 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS ASOCIADOS A ZONA DE MEZCLA.....	16
2.6 DEFINICIÓN DEL PERIODO CLIMÁTICO Y CONDICIONES CRÍTICAS	18
2.7 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR ZONA DE MEZCLA TÉRMICA.....	22
3. PARAMETROS FISICOQUÍMICOS E HIDROBIOLÓGICOS.....	32
3.1 GENERALIDADES	32
3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	32
3.3 PARÁMETROS HIDROBIOLÓGICOS	34
4. PROGRAMA DE MONITOREO DE temperatura Y consideraciones para el monitoreo de PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS E HIDROBIOLÓGICOS	35
4.1 ALCANCE	35
4.2 FRECUENCIA DE MONITOREO	35
4.3 PROGRAMA DE MONITOREO PARA LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA	35
5. FORMATO O FORMA PARA ENTREGA DE INFORMACIÓN	38
6. GLOSARIO.....	41
7. REFERENCIAS.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del régimen hidrológico en las zonas hidrográficas del país y localización de las centrales termoeléctricas	20
---	----

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diferentes formas de realizar la descarga de un vertimiento	8
Ilustración 2 Ejemplo de zona de mezcla según USEPA, 1991	10
Ilustración 3 Esquema de zona de mezcla según Murte, 2013.....	11
Ilustración 4 Ilustración de Jet o chorro y pluma.....	16
Ilustración 5 Esquema ilustrativo de la zona de mezcla térmica	23
Ilustración 6 División en verticales para medición de la temperatura en la sección transversal	25
Ilustración 7 Puntos de lectura de la temperatura en el proceso de determinación de la zona de mezcla	26
Ilustración 8 Procedimiento determinar la zona de mezcla térmica y la zona de mezcla aplicable a los componentes físicoquímicos e hidrobiológicos	31
Ilustración 9 Secciones y puntos de medición de temperatura	36
Ilustración 10 Esquema de puntos de medición de las variables in situ	37

Siglas, abreviaciones y símbolos

ACC	Autoridad Ambiental Competente
AV	Sitio o estación de monitoreo ubicada antes del punto de vertimiento
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
D_L	Coefficiente de dispersión del agua en el sentido del flujo
D_y	Coefficiente de dispersión del agua en función de la profundidad
DV	Sitio o estación de monitoreo ubicada después del punto de vertimiento
FD	Factor de dilución
L_{ZMT}	Distancia en el sentido lateral hasta donde se extiende la zona de mezcla térmica
L_{ZM}	Distancia en el sentido lateral hasta donde se extiende la zona de mezcla aplicable a los componentes físicoquímicos e hidrobiológicos
L_v	Distancia a la cual se presenta un vertimiento significativo, medida a partir del punto de la descarga del efluente
ICA	Índice de calidad del agua
NT	Nitrógeno total
PT	Fósforo total
k_a	Constante de reaeración
SST	Sólidos suspendidos totales
T °C	Valor de la temperatura medida en grados centígrados o Celsius
UFT	Unidades nefelométricas de turbiedad
W_{mezcla}	Distancia en el sentido lateral hasta donde se extiende la zona de mezcla

1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta una propuesta para ser incluida en la actualización del protocolo de monitoreo de vertimientos a las aguas superficiales y al alcantarillado que se encuentra en consulta, para que pueda ser ejecutado por Autoridades Ambientales Competentes ACC y por las empresas de generación de energía eléctrica asociadas en ANDEG, de conformidad con lo establecido en la Resolución MADS 631 de 2015 y que les permita producir un documento sobre los monitoreos en cuerpos de agua superficiales receptores para presentar ante la autoridad ambiental competente.

Todo lo anterior de conformidad con lo establecido en el artículo 5 de la Resolución MADS 631 de 2015.

1.1 Objetivos específicos

- Establecer la definición de los términos zona de mezcla térmica, zona de mezcla, mezcla homogénea, instantánea o completa, periodos climáticos y aspectos a tener en cuenta para su evaluación.
- Diseñar un formato para entregar los resultados de las mediciones de temperatura y los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos.

1.2 Alcance

De acuerdo con las características de las descargas de las diferentes centrales térmicas asociadas en ANDEG, el presente protocolo aplica para vertimientos o descargas:

- Superficiales, no sumergidas
- Descargas hechas desde la orilla
- Efluentes descargando en corrientes de agua superficiales

2. ZONA DE MEZCLA TÉRMICA Y ZONA DE MEZCLA

2.1 TEORÍA SOBRE VERTIMIENTO DE EFLUENTES

El proceso de mezcla de un vertimiento o descarga de un efluente en un cuerpo de agua superficial depende de varios factores, entre ellos factores hidrodinámicos (caudal, viento y otros), fenómeno de dispersión/difusión, balance de temperatura, decaimiento generado por descomposición de las sustancias presentes, entre otros. El proceso que se genera cuando el vertimiento entra en contacto con el cuerpo receptor es un fenómeno de mezcla. Dependiendo de varias circunstancias este proceso puede simplificarse o llegar a ser demasiado complejo. Dado el alcance del presente protocolo, en esta parte se quiere presentar al lector de la manera más práctica posible, un resumen simplificado del fenómeno de mezcla y dilución de efluentes.

En resumen, el comportamiento del proceso de mezcla de un vertimiento o descarga de un efluente en una fuente hídrica se ve afectado por dos aspectos: *i)* las características de la descarga y, *ii)* las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua receptor.

Recopilando y conscientes de la complejidad del tema, en esta sección se presenta a nivel introductorio una recopilación teórica de los principios hidrodinámicos aplicables a la descarga de efluentes en cuerpos de agua superficiales, especialmente aplicables a corrientes de agua.

En el análisis hidrodinámico por tratarse de corrientes de agua superficiales, se ignoran los efectos del viento, así como el flujo de calor a la atmósfera por superficie libre.

2.1.1 Generalidades

En la región de la descarga de un efluente en un cuerpo de agua puede identificarse cuatro zonas.

- La primera zona es la región donde se localiza la descarga y el flujo es tridimensional; en este caso dominan los efectos de inercia y de flotación del chorro y puede presentarse recirculación.
- La segunda zona se inicia al final de la zona de recirculación a medida que el flujo de la descarga se va mezclando con la horizontal; en esta región el flujo todavía es tridimensional.

- En la tercera zona, los efectos de la descarga aún alteran el flujo, pero este se orienta de tal manera que puede considerarse bidimensional. Esta zona termina cuando el flujo de la descarga se ha mezclado totalmente en toda la sección es decir en la vertical.
- Para la zona cuatro, ya el flujo del río domina y la turbulencia se debe únicamente a la fricción, pues prácticamente ya no hay efecto de la descarga.

Las zonas uno a tres delimita lo que se conoce como procesos de campo cercano, mientras que la zona cuatro es a lo que se le denomina procesos de campo lejano.

En consecuencia, la formación de las cuatro zonas nombradas o los procesos de campo cercano y lejano están gobernados o dependen de la interacción de dos aspectos importantes: *i)* las condiciones de la fuente receptora, y *ii)* las características de la descarga.

2.1.2 Condiciones de la fuente receptora

Las condiciones de la fuente receptora ya sea una corriente, un lago embalse, estuario o mar están descritas por: *i)* La geometría: la sección transversal, la pendiente y la batimetría en la vecindad de la descarga, y *ii)* Las características dinámicas: la velocidad y la distribución de la densidad.

Las condiciones anteriores se pueden simplificar analizando la situación en condiciones de estado estable dado que la escala de tiempo del proceso de mezcla es usualmente del orden de minutos hasta tal vez unas pocas horas, lo que hace que el supuesto de flujo permanente o estable sea válido.

También es importante tener en cuenta que las corrientes de agua se pueden clasificar según la pendiente, a continuación, se presenta la clasificación sugerida en Colorado (2012).

- Corrientes de planicie: $s < 0,0018$
- Corrientes en transición, pendiente moderada: $0,0018 < s < 0,005$
- Corrientes de montaña: $s > 0,005$

2.1.3 Características de la descarga

Las características de la descarga están relacionadas con la geometría de la descarga, la forma de realizar la descarga (sumergida o superficial) y el régimen de flujo del efluente.

2.1.4 Geometría de la descarga

En los casos de una descarga superficial y puntual, la geometría queda definida por: el diámetro de la descarga, la elevación sobre el nivel del mar y la orientación de la estructura de entrega.

Para las otras situaciones son muchos más los factores que intervienen en el comportamiento de la descarga: el número de difusores, el diámetro, la orientación, entre otros.

2.1.5 El régimen de flujo

Son tres los factores principales a tener en cuenta con respecto al régimen de flujo de la descarga:

- El caudal y la velocidad del agua
- La boyancia

En la ilustración 1, se muestran diferentes formas en las que pueden realizarse la descarga de un efluente en un cuerpo de agua superficial.

Ilustración 1 Diferentes formas de realizar la descarga de un vertimiento



2. Efluente



1. Difusores



3. Difusores de emisarios submarinos

Fuente: Tomado de: 1. Wikipedia, 2023; 2. Las Ciencias del mar, 2013; AM Group, 2023

2.2 PROCESOS DE CAMPO CERCANO Y CAMPO LEJANO

La hidrodinámica de un efluente continuamente descargando en una fuente hídrica se puede describir como un proceso de mezcla que ocurre en dos regiones separables.

En la primera región, llamada procesos de campo cercano, las características de la mezcla están gobernadas principalmente por las condiciones de la descarga (geometría, caudal, entre otros).

A medida que la pluma se aleja del punto de descarga, las características de la descarga se vuelven menos importantes y el proceso de mezcla empieza a ser gobernado por las condiciones en la fuente receptora (condiciones del ambiente). A partir del punto donde se empiezan a dar estas condiciones se inicia lo que se conoce como un proceso de campo lejano.

Es importante resaltar y tener en cuenta que la distinción de estas dos regiones, campo cercano y campo lejano es puramente un criterio hidrodinámico y en la práctica no se acostumbra hacer distinción entre ellos, especialmente cuando de establecer o cumplir normas de vertimientos se trata.

2.3 ZONA DE MEZCLA

Cuando un efluente o vertimiento es descargado en una fuente de agua superficial, puede ocurrir que este no se mezcle completa e inmediatamente en el cuerpo de agua receptor en el punto de descarga. En los casos en que no se presenta la mezcla inmediata, el efluente aparece en la fuente receptora como una pluma. A medida que se avanza aguas abajo del punto de descarga, la pluma aparece menos visible o notoria, hasta que finalmente desaparece. El área sobre la cual la pluma puede distinguirse es a lo que se denomina zona de mezcla.

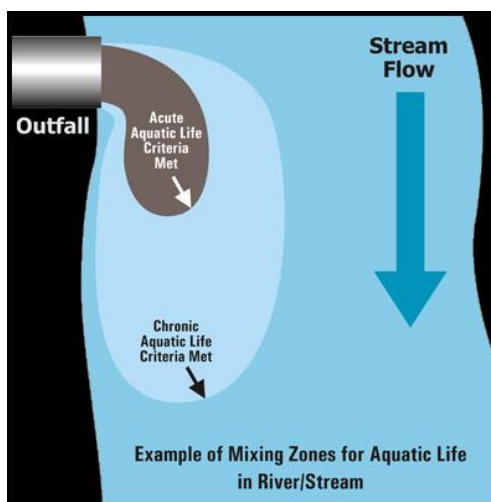
El fenómeno de mezcla de un efluente en un cuerpo de agua no es una ciencia exacta, es un proceso hidrodinámico complejo afectado simultáneamente por otras condiciones como son las características de la sustancia que se está dispersando, la sedimentación, la salinidad, la descomposición de la materia orgánica, entre otros. En consecuencia, no existe una definición estandarizada o unánime, a nivel internacional, sobre el término zona de mezcla; por tal motivo, para ilustrar al lector, a continuación, se hace una recopilación extraída de varias fuentes de información sobre el significado de la zona de mezcla.

a. Diferentes definiciones sobre zona de mezcla

- Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA)¹

La zona de mezcla es un área en un cuerpo de agua donde la descarga de un efluente o vertimiento es sometido a una dilución inicial y su efecto se extiende hasta cubrir la mezcla secundaria. La zona de mezcla es una región de impacto en la cual se permite sobrepasar los objetivos de calidad del agua, siempre y cuando se cumplan los criterios de toxicidad aguda. La definición anterior ha sido adaptada de la propuesta en EPA's Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control (TSD) (USEPA, 1991). En la ilustración se presenta un ejemplo en el cual se muestra un esquema de la demarcación de una zona de mezcla para una corriente de agua, según la referencia anterior.

Ilustración 2 Ejemplo de zona de mezcla según USEPA, 1991



Fuente: EPA, 1991

Como se puede apreciar se puede tener más de una zona de mezcla, para el caso de la figura anterior, existe una zona de mezcla inicial en la cual se deben cumplir los criterios de protección contra la toxicidad aguda y una zona de mezcla secundaria, más amplia, en la cual se deben cumplir los criterios de protección contra la toxicidad crónica.

- Según el Ministerio de Medio Ambiente de España (Ruza, 2007)

"En un principio la mezcla nunca es completa, sino que existe una zona alrededor del punto de vertido en la que las concentraciones de los contaminantes vertidos son más elevadas. Al aumentar la distancia al punto de vertido hacia aguas

¹ <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/mixingzones/about.cfm>

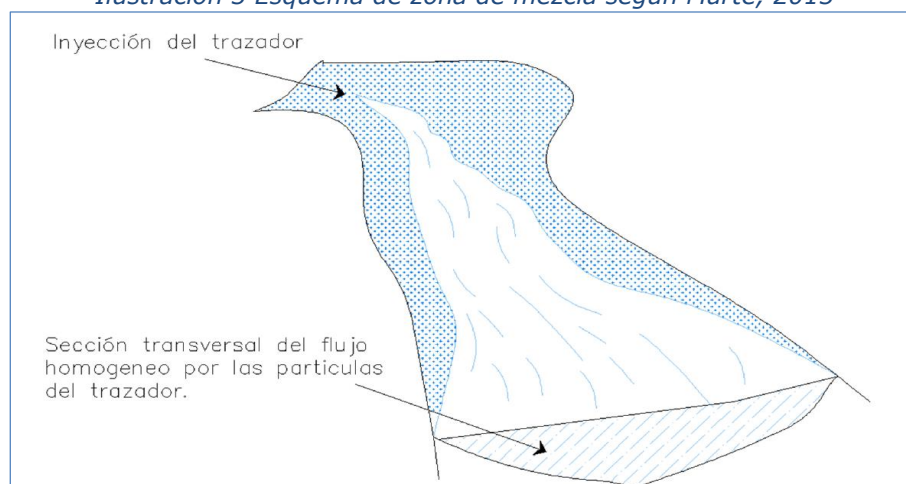
abajo, las concentraciones en el río tienden a homogeneizarse. En España no existe definición legal de hasta donde se extiende esta zona de mezcla, aunque como indicación puede considerarse que se ha producido la mezcla completa cuando la variación de concentraciones del parámetro considerado en una sección transversal del río es menor del 5%”.

- Según Murte (2013)

“Un parámetro de gran importancia en el transporte de solutos es la llamada longitud de mezcla (L_M), la cual es definida como aquella distancia a la cual la difusión lateral se ha completado totalmente y por lo tanto la concentración del trazador en la sección transversal es casi homogénea”

Teniendo en cuenta la definición anterior, la Ilustración 3 presenta un esquema del significado de zona de mezcla.

Ilustración 3 Esquema de zona de mezcla según Murte, 2013



Fuente: Murte, 2013

- Según Constaín (2005)

*“Aquella distancia a la cual la difusión lateral se ha cumplido significativamente y por lo tanto la concentración de trazador en la sección transversal es **casi homogénea**, dentro de una variación relativa aproximada del 5%”*

- Según Ministerio de Agricultura y Riego de la República del Perú (Perú, 2013)

“Es aquel volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y de dispersión, sin considerar otros

factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química."

- Según Ministerio de medio ambiente, Brasil (Brasil, 2011)

"XIV - Zona de mistura: região do corpo receptor, estimada com base em modelos teóricos aceitos pelo órgão ambiental competente, que se estende do ponto de lançamento do efluente, e delimitada pela superfície em que é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e os do corpo receptor, sendo específica para cada parâmetro".

- Según Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Colombia.

"Área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor; en la zona de mezcla se permite sobrepasar los criterios de calidad de agua para el uso asignado, siempre y cuando se cumplan las normas de vertimiento. (Artículo 2.2.3.3.1.3. Decreto 1076 de 2015)."

Como puede apreciarse existen infinitud de definiciones sobre zona de mezcla, anotando que en varias definiciones revisadas, en la zona de mezcla se permite sobrepasar los criterios de calidad de agua para el uso asignado, siempre y cuando se cumplan las normas de vertimiento.

El significado práctico de "*permitir sobrepasar*" depende del área sobre la cual la excedencia ocurre. Un área de excedencia que sea muy grande comparada con el tamaño de la fuente receptora, debería considerarse inaceptable y no se debería permitir sobrepasar los criterios de calidad porque se pondría en peligro el cumplimiento de los usos benéficos del agua fijados; mientras que un área de excedencia que sea muy pequeña comparada con el tamaño de la fuente receptora se puede considerar consistente con la protección de los usos benéficos porque su efecto es prácticamente despreciable en la calidad global del agua de la fuente receptora.

Con base en las diferentes definiciones revisadas, se pueden sacar conclusiones como las siguientes:

- La zona de mezcla puede ser diferente para cada contaminante o parámetro de calidad del agua
- En la zona de mezcla, se puede superar los criterios de calidad u objetivos establecidos para el tramo en estudio.

- La zona de mezcla queda delimitada cuando se presenta mezcla homogénea o completa
- Puede existir más de una zona de mezcla

b. Definición de mezcla completa

Teniendo en cuenta lo presentado en el numeral anterior, se hace necesario la delimitación del área aguas abajo de la descarga de un vertimiento donde se permita sobrepasar los criterios u objetivos de calidad del agua establecidos por la ley. Adicionalmente, la Resolución 0631 de 2015 del MADS, en el artículo 5, *"Del parámetro de temperatura y de la zona de mezcla térmica"*, introduce un término nuevo: zona de mezcla térmica.

En consecuencia, para el caso colombiano, según el decreto 3930 de 2010, la Resolución 0631 de 2015 y el decreto 1076 de 2015, existen dos tipos de zona de mezcla; *i)* zona de mezcla relacionada con los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos, y *ii)* zona de mezcla térmica. En consecuencia, el presente protocolo tiene en cuenta la existencia de estas dos zonas de mezcla.

Cabe resaltar que, actualmente, el MADS tiene definido el término zona de mezcla mas no la zona de mezcla térmica; y si bien para la primera se ha determinado que se podrá determinar aplicando los lineamientos establecidos en la Guía Nacional de Modelación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018), para el caso de la zona de mezcla térmica aún no ha publicado la metodología para su determinación.

Adicionalmente, los siguientes son aspectos generales a tener en cuenta en la definición de la zona de mezcla:

- No debe ser más grande de lo necesario
- Proteger los usos del agua como un todo
- Reducir la necesidad de excesivo tratamiento de aguas residuales

2.4 DEFINICIÓN DE ZONA DE MEZCLA Y ZONA DE MEZCLA TÉRMICA

Se proponen las siguientes definiciones a ser acogidas:

2.4.1 Zona de mezcla

Área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor; en la zona de mezcla se permite sobrepasar los criterios de calidad de agua para el uso asignado, siempre y cuando se cumplan las normas de vertimiento. (Artículo 2.2.3.3.1.3. Decreto 1076 de 2015).

2.4.2 Zona de mezcla térmica

Área hasta donde la temperatura en un cuerpo de agua receptor está influenciada por un efluente que descarga a una temperatura diferente. Es decir, el área técnicamente determinada a partir del punto de vertimiento, indispensable para que se igualen la temperatura del vertimiento con la temperatura del cuerpo de agua receptor. En la zona de mezcla térmica la diferencia de temperatura del vertimiento con el cuerpo de agua receptor en un punto de referencia antes del vertimiento puntual debe ser igual o menor a 5°C a una distancia de 100m desde el punto de vertimiento para todas las actividades industriales, comerciales y de servicio, excepto el sector termoeléctrico.

En el caso de la generación termoeléctrica, para las centrales que involucren sistemas de refrigeración con agua en un solo paso, la Autoridad Ambiental Competente definirá, aguas abajo del vertimiento, el delta máximo de temperatura permitido a 100 m y la distancia máxima donde se alcanza un delta igual a 5°C en la zona de mezcla térmica, considerando para esto los diseños de ingeniería de las centrales y el aporte de información de monitoreo de temperatura, componentes fisicoquímico e hidrobiológico que las empresas Termoeléctricas reporten en los próximos tres años a partir de la emisión del presente protocolo. En el caso de las determinaciones de las diferencias de los valores de temperatura en la zona de mezcla térmica del cuerpo superficial receptor se tomará como referencia las condiciones de temperatura del mismo antes del punto de vertimiento puntual y de acuerdo a las condiciones y características de cada cuerpo receptor.

Cuando se presente un vertimiento externo al del usuario, aguas abajo, que aporte temperatura y que incida en la definición de la zona de mezcla térmica, el usuario podrá realizar la caracterización de temperatura correspondiente en el tramo entre su vertimiento y el punto antes del vertimiento del tercero.

La zona de mezcla térmica aplica para las determinaciones de las diferencias de los valores de temperatura en el cuerpo de agua superficial receptor; mientras la zona de mezcla aplica para las determinaciones de los cambios de los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos.

Se recomienda que el Protocolo de lineamiento para que las Autoridades Ambientales Competentes, en función de las características del cuerpo de agua receptor, considere el método más adecuado para la determinación de la zona de mezcla térmica, a través de métodos simplificados, estudios de campo o modelos de simulación según su aplicabilidad, considerando lo enunciado en la sección 2.7, 3 y 4 del presente documento.

a. SITUACIONES EN QUE NO SE PRESENTA ZONA DE MEZCLA TÉRMICA

No siempre que se descarga un efluente en un cuerpo de agua se presenta una zona de mezcla térmica. Por ejemplo, se considera que no se presenta zona de mezcla en situaciones como:

- Cuando el volumen del vertimiento es muy grande comparado con el volumen de agua que trae la corriente receptora, la mezcla es instantánea. No hay zona de mezcla, en este caso el factor de dilución es mayor de 2:1 (Colorado, 2012).
- Cuando se presenta el caso contrario al anterior, el volumen de agua de la descarga es demasiado pequeño en relación con el volumen de agua trae la corriente, tampoco se presenta una zona de mezcla. En este caso el factor de dilución es menor de 1:20 (Colorado, 2012).
- Cuando la empresa de generación termoeléctrica utiliza tecnología de aerocondensadores, donde el medio de refrigeración es diferente al agua, por consiguiente, no se generan vertimientos asociados a un proceso de intercambio de calor en el ciclo térmico.
- Cuando la empresa de generación termoeléctrica cuenta con una configuración tecnológica de ciclo simple, dado que no hay un proceso de generación de vapor que requiera de condensación a través de un sistema de refrigeración.
- Cuando las características específicas del cuerpo receptor no permitan configurar una zona de mezcla, en casos en donde se presenta un cuerpo receptor con caudales intermitentes y/o altamente variables, y/o las características propias del cuerpo de agua inciden en sus condiciones térmicas, entre otros.
- Cuando el vertimiento no presente un diferencial de temperatura

De acuerdo con las definiciones adoptadas, surgen términos para los cuales la regulación colombiana no tiene definido su significado tales como mezcla homogénea y periodo climático (ver artículo 5 de la resolución 0631 de 2015).

2.5 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS ASOCIADOS A ZONA DE MEZCLA

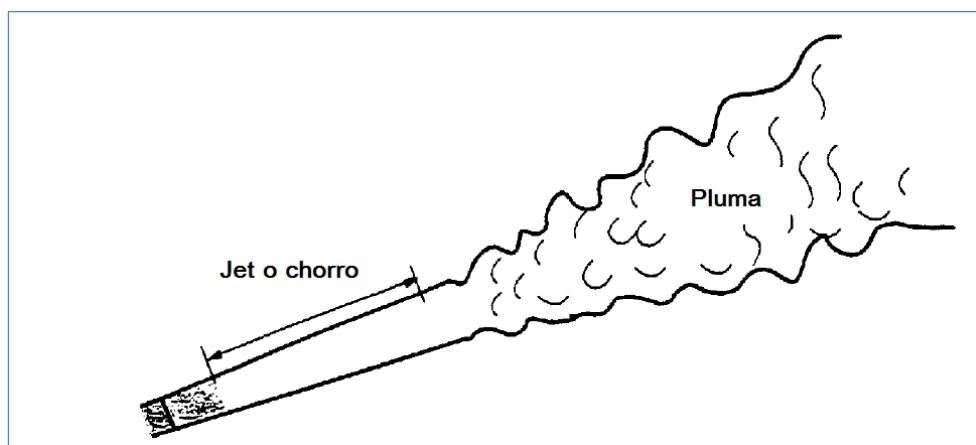
Con base en la revisión de la teoría sobre la descarga de efluentes y la definición de zona de mezcla, a continuación, se describe el significado de varios términos importantes a tener en cuenta en el análisis de vertimientos.

i) Chorro (jet) y pluma

En los análisis de vertimientos a cuerpos de agua superficiales, es necesario definir dos términos: chorro (jet) y pluma. Estos dos términos son a menudo usados indistintamente, pero para las discusiones relacionados con el vertimiento de efluentes en ambientes acuáticos, es necesario hacer distinción entre ellos. En la Ilustración 4 se puede apreciar la diferencia entre chorro y pluma.

Se entiende por jet o chorro en términos prácticos a la forma que toma el efluente una vez entra en contacto con el cuerpo de agua receptor. Un efluente se presenta en forma de chorro cuando al agua al dejar la estructura mantiene constante el área de la sección.

Ilustración 4 Ilustración de Jet o chorro y pluma



Fuente: adaptado de API, 1998

La pluma se forma cuando la sección empieza a variar; la pluma se forma principalmente debido a la boyancia mientras que el chorro se forma por la energía que posee el efluente al ser descargado en el cuerpo de agua receptor.

ii) Boyancia o flotación

Representa el efecto relativo de las diferencias de densidad del agua entre la descarga y la fuente receptora. Se puede definir como la tendencia que tiene un efluente de subir o bajar en la columna de agua cuando es descargado en una corriente.

iii) Mezcla completa u homogénea

Dado que en la definición de zona de mezcla establecida en el decreto 1076 de 2015, se introduce el término mezcla homogénea, sin que se defina su significado, a continuación, se establece como mezcla homogénea o completa lo siguiente: **Se considera que existe *mezcla completa u homogénea* cuando existe una diferencia no mayor al 10%, entre las concentraciones del parámetro** considerado en una sección transversal de la corriente hídrica. **Los términos *mezcla completa u homogénea* son utilizados indistintamente en este protocolo.** La anterior definición ha sido adaptada de la referencia (EPA, 1995).

iv) Factor de dilución

Así como existe diversidad de definiciones respecto al concepto de zona de mezcla, las hay para el término factor de dilución.

Varias publicaciones, entre ellas (API, 1998), (Puerto Rico, 2010), definen el factor de dilución utilizando la siguiente expresión:

$$\text{factor de dilución} = \frac{Q_a + Q_v}{Q_v} \quad (1)$$

Donde Q_v es el caudal del vertimiento y Q_a es el caudal de la corriente receptora antes del vertimiento.

Como ejemplo se puede presentar el siguiente: un río con un caudal de $9 \text{ m}^3/\text{s}$, recibiendo un efluente de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, el factor de dilución será 10.

Sin embargo, también hay quienes expresan el factor de dilución como el inverso de la ecuación (1), como es el caso de la publicación de la EPA región VIII, (USEPA, 1991). En estos casos, para el ejemplo citado, reportan el factor de dilución como $1/10$.

En Colombia, el ANLA (2013) define el factor de dilución en términos volumétricos, no químicos así: “razón entre el caudal vertido y el caudal de la corriente receptora”. De acuerdo con la anterior definición, el factor de dilución sería:

$$FD = \frac{Q_v}{Q_a} \quad (2)$$

Donde FD es el factor de dilución, Q_v es el caudal del vertimiento y Q_a es el caudal de la corriente receptora antes del vertimiento.

Para efectos del presente protocolo se acoge para **factor de dilución** la definición establecida en ANLA (2013): ecuación (2).

Para cualquiera de las expresiones que se use, el FD dependerá de las condiciones climáticas para la cual se calcule; en general el factor de dilución crítico estaría determinado por el caudal del vertimiento en condiciones máximas y el caudal de la corriente receptora en condiciones de caudal bajo o estiaje.

v) Períodos climáticos

La necesidad de definir este término surge porque en el artículo 5 de la resolución 0631 de 2015 se establece que, para la actividad de generación eléctrica por procesos térmicos, las determinaciones de las diferencias de temperatura, así como la de los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos deben efectuarse para diferentes períodos climáticos. Dado que el país presenta diferentes regiones climáticas y que el IDEAM ha dividido el territorio colombiano en regiones hidrográficas, que responden a la variabilidad climática, en la sección 2.6 se amplía la definición de periodo climático y condiciones críticas.

2.6 DEFINICIÓN DEL PERIODO CLIMÁTICO Y CONDICIONES CRÍTICAS

2.6.1 Definición de período climático

La Organización de las Naciones Unidas (Montealegre, 2009) define el clima de un lugar o región como “el conjunto de los elementos atmosféricos y sus variaciones en un periodo dilatado de tiempo”. Este periodo clásico propuesto por la Organización Meteorológica Mundial es de 30 años. El clima varía en el espacio en función de multitud de factores de carácter geográfico, tales como la latitud, la distancia al mar, la vegetación y la presencia o ausencia de sistemas

orográficos, entre otros. Y varía en el tiempo, de estación en estación, de año en año y en escalas temporales mayores.

Las fluctuaciones del clima durante determinados periodos de tiempo se denominan variabilidad climática. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal en cualquier variable meteorológica. La Normal Climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. (Montealegre, 2009).

Entre las variables que definen los periodos climáticos están la temperatura ambiente, la precipitación, la humedad relativa y la evapotranspiración. Sin embargo, para los fines de este protocolo, se considera que la escorrentía superficial o régimen de caudales corresponden con los periodos climáticos, con cierto rezago, dependiendo de la ubicación geográfica.

2.6.1.1 Caracterización del régimen hidrológico en el país como manifestación del régimen climático

Se define el régimen hidrológico, como la variación del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos. (Unesco, 2012 en IDEAM, 2014).

El IDEAM considera que el régimen hidrológico explica el comportamiento temporal de la oferta hídrica y describe la heterogeneidad en la respuesta hidrológica como resultado de la posición geográfica de nuestro país, el variado régimen de lluvias y las características de las cuencas.

Dada la variabilidad del régimen hidrológico sobre el territorio nacional, el IDEAM clasificó cinco áreas hidrográficas, 1. Caribe, 2. Magdalena-Cauca, 3. Orinoco, 4. Amazonas y 5. Pacífico. Así mismo, se mantiene la clasificación del ENA establecida en el 2013, utilizada al 2018 y actualizada para el 2022, con las ocho vertientes hidrográficas que representan regiones hidrográficas homogéneas: 1. Cuenca del río Cauca, 2. Cuenca alta del río Magdalena, 3. Cuenca media del río Magdalena, 4. Cuenca de la vertiente del Caribe, 5. Cuenca del Pacífico, 6. Cuenca del río Catatumbo, 7. Cuenca del río Amazonas, 8. Cuenca del río Orinoco.

El comportamiento de los caudales de los ríos, sintetiza en gran medida el régimen hidrológico de una corriente hídrica, como resultado de la interacción

del medio natural y la dinámica de los procesos del ciclo hidrológico y sus interacciones, (IDEAM, 2014), por lo tanto son la respuesta de la masa de agua bajo patrones de *régimen climático* establecido en tiempo y espacio en un territorio dado y por ello, se hablará de régimen hidrológico, como el término que representa el comportamiento o régimen climático de las diferentes regiones del territorio nacional.

2.6.1.2 Clasificación del régimen hidrológico en las zonas donde se localizan las centrales

Según el ENA (2022) el comportamiento de los caudales de los ríos colombianos se caracteriza a nivel interanual por periodos secos y húmedos, lo que se denominan régimen monomodal y bimodal, respectivamente. De tal forma que un régimen monomodal indica la existencia de un periodo seco y un periodo húmedo, en tanto que el régimen bimodal indica la existencia de dos periodos secos y dos periodos húmedos. De acuerdo con la clasificación del régimen hidrológico en Bimodal y Monomodal, el IDEAM construye las curvas de variación mensual multianual de caudales para las estaciones hidrológicas representativas de cada zona hidrográfica.

A continuación, se presentan las vertientes hidrográficas de interés para las centrales térmicas afiliadas a ANDEG.

Tabla 1 Clasificación del régimen hidrológico en las zonas hidrográficas del país y localización de las centrales termoeléctricas

Área hidrográfica	Tipo de régimen ²	Nombre de la central
CARIBE Corriente: Río Zulia Municipio: San Cayetano, Norte de Santander Corriente: Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta, Santa Marta, Magdalena	Bimodal	Termotasajero Termonorte
MAGDALENA - CAUCA CUENCA BAJA Corriente: Río Magdalena Municipio: Soledad, Atlántico;	Bimodal	TEBSA, Termoflores – EnfraGen Colombia Termocandelaria Proeléctrica

² En la actualidad se presentan variaciones significativas en los meses en los que se presentan temporadas húmedas y secas.

Área hidrográfica	Tipo de régimen ²	Nombre de la central
Cartagena, Bolívar;		TermoCartagena
MAGDALENA - CAUCA CUENCA MEDIA Corriente: Río Chicamocha Municipio: Paipa, Boyacá	Particularmente, Monomodal	Gensa Compañía Eléctrica Sochagota
MAGDALENA - CAUCA CUENCA ALTA: VALLE DEL CAUCA Corriente: Río cauca, Río Guachal Municipio: Palmira	Bimodal	Termovalle – EnfraGen Colombia Termoemcali
MAGDALENA - CAUCA CUENCA BAJA Corriente: Río San Jorge Municipio: Puerto Libertador, Córdoba	Monomodal	Gecelca
ORINOCO Corriente: Río Cravo Sur Municipio: Yopal, Casanare	Monomodal	Termoyopal Termomechero

En conclusión, se propone que los monitoreos de caracterización de los vertimientos o los efectos que éstos tienen en los cuerpos de agua en la zona de mezcla o zona de mezcla térmica, se realicen según los periodos climáticos que se describen y de acuerdo a las condiciones establecidas en los permisos de vertimientos y requerimientos estipulados por las autoridades ambientales competentes, en las épocas de caudales máximos y cuando se presenten condiciones de estiaje, según se establezca en cada zona.

2.6.2 Definición de condiciones críticas

El caudal en los cuerpos receptores varía de acuerdo principalmente con el período climático. Estas variaciones traen a su vez variaciones en el ancho y la profundidad del agua en el cauce. Por lo tanto, es establecer las condiciones más desfavorables bajo las cuales determinar la zona de mezcla. Generalmente, las condiciones más desfavorables ocurren cuando la corriente receptora se encuentra en condiciones de caudales bajos y el vertimiento en condiciones de caudal máximo.

Bajo condiciones de caudal bajos en la corriente, se puede considerar que se presentan condiciones de flujo constante, es decir, flujo permanente.

En consecuencia, para el desarrollo de este protocolo, se establecen las siguientes condiciones críticas como las condiciones bajo las cuales se determinará tanto la zona de mezcla térmica como la zona de mezcla aplicable a los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos:

- **Para la corriente receptora, el caudal bajo será el caudal ambiental.**
- **Para el vertimiento**, dada la particularidad de las centrales de generación térmica (capacidad de generación, localización geográfica, entre otras), en cada caso el generador del vertimiento determinará **el caudal del vertimiento por utilizar en la determinación de la zona de mezcla.**

2.7 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR ZONA DE MEZCLA TÉRMICA

Para las centrales térmicas que hayan presentado algún estudio o informe ambiental en el cual la autoridad ambiental competente les haya aprobado o delimitado una zona de mezcla térmica, se puede adoptar la zona de mezcla térmica ya establecida o calcular una nueva siguiendo los procedimientos propuestos en este protocolo. Cada central es libre de tomar la opción que más le sea conveniente.

Una vez seleccionada un área de influencia preliminar, se debe identificar las principales entradas y salidas en el tramo preliminar afectado directamente por el vertimiento. Un criterio para considerar como significativo un elemento o afluencia (vertimiento o tributario) y/o una abstracción será el propuesto en el ANLA (2013), que establece como significativas afluencias o abstracciones que tengan factores de dilución mayores a 1/10, en términos de caudal promedio. ***En consecuencia, cuando a una distancia menor a 100 m aguas abajo del punto de vertimiento se encuentre una afluencia o abstracción significativa, la longitud (L_v) de la zona de mezcla, será longitud a la cual se encuentre dicho elemento.***

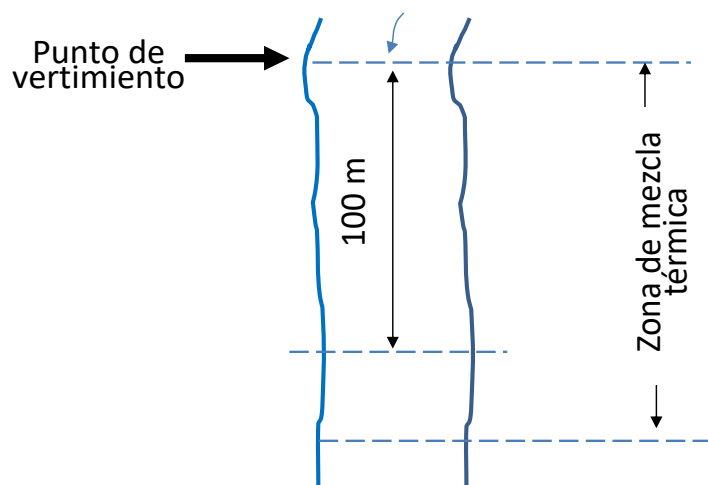
2.7.1 Aplicación de métodos simplificados

La primera actividad por realizar en la determinación de la zona de mezcla térmica o la zona de mezcla para los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos, es establecer si se presentan o no.

Cuando ocurre mezcla instantánea no se presenta zona de mezcla alguna. Se considera que existe mezcla instantánea cuando el volumen de agua del vertimiento es muy grande comparado con el volumen de agua de la corriente receptora, en estos casos el $FD > 2:1$, o cuando el volumen de agua del vertimiento es muy pequeño comparado con el volumen de agua de la fuente receptora, en estos casos $FD < 1:20$. Este criterio para definir la ocurrencia de mezcla instantánea ha sido adaptado de la referencia: Colorado Mixing Zone Implementation Guidance, Colorado (2002).

Adicionalmente, para la zona de mezcla térmica, los 100 m a que se refiere el artículo 5 de la resolución 0631 de 2015 se tomarán aguas abajo a partir del punto de vertimiento tal como lo ilustra la Ilustración 5.

Ilustración 5 Esquema ilustrativo de la zona de mezcla térmica



Fuente: elaboración propia

Tanto la zona de mezcla térmica como la zona de mezcla para los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos se determinarán una sola vez bajo las condiciones más desfavorables para la calidad del agua en la corriente las cuales corresponden a las condiciones críticas. Estas serán las áreas en la fuente receptora para realizar las comparaciones de que trata el artículo 5 de la resolución 0631 de 2015.

2.7.2 Procedimiento para determinar la zona de mezcla térmica

I. Calcular el factor de dilución (FD)

El factor de dilución se determina empleando la ecuación (2): $FD = \frac{Q_{\text{vertimiento}}}{Q_{\text{aguas arriba}}}$

II. Establecer la existencia de la zona de mezcla térmica

A. Si $FD < 0,05$ o $FD > 2$: No hay zona de mezcla, se presenta mezcla instantánea.

En este caso, no se presenta zona de mezcla térmica porque se considera que existe mezcla instantánea.

a. No existe una afluencia o abstracción significativa en una longitud menor a 100 m.

Para este caso se establece como longitud de mezcla (L_{ZMT}) una distancia de 100 m aguas abajo del vertimiento.

$$L_{ZMT} = 100 \text{ m}$$

b. Existe una afluencia o abstracción significativa en una longitud menor a 100 m

En este caso se mide la longitud a la que se presenta el elemento más cercano, longitud que se nombra L_v .

La L_{ZMT} se limita hasta antes del elemento significativo y se establece como longitud de mezcla térmica la siguiente:

$$L_{ZMT} = L_v \leq 100 \text{ m}$$

B. Si el $0,05 < FD < 2$: Existe zona de mezcla

Cuando este caso se presente, se presenta zona de mezcla térmica porque se considera que no hay una mezcla instantánea del vertimiento con la corriente receptora; es decir, el efluente se dispersa formando una pluma. En consecuencia, la zona de mezcla térmica se determinará utilizando un método de campo que consiste en lo siguiente:

1) Se realiza la medición de temperatura a lo largo de la corriente antes y después del punto de vertimiento.

- Puntos de medición de temperatura en las secciones aguas arriba y aguas abajo.

Los puntos de medición de temperatura coincidirán con los puntos de medición de la velocidad de un aforo típico. La sección escogida se divide en franjas verticales de igual ancho (b) y se tomará la temperatura a una profundidad a $0,2h$, a $0,6h$ y a $0,8h$, donde h es la profundidad de la vertical dada.

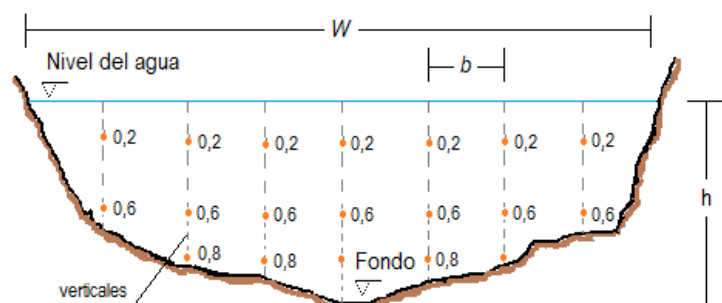
El ancho de las franjas verticales b , dependerá del ancho total W de la sección transversal. Para $W \leq 5$ m, el ancho de las franjas verticales será $b = W/3$; si $W > 5$ m, el ancho de las franjas será $b = W/10$. Cada franja delimita una subárea de influencia A_i como lo ilustra la figura 2.8.

En cada vertical, se procede a determinar la temperatura media a las profundidades: $0,2$, $0,6$ y a $0,8$ de la profundidad total (h) utilizando la siguiente expresión:

$$(T^{\circ}\text{C})_{\text{media en cada vertical}} = \frac{T_{0,2} + T_{0,6} + T_{0,8}}{3}$$

Donde $T_{0,2}$, $T_{0,6}$ y $T_{0,8}$ son las temperaturas medidas a las respectivas profundidades

Ilustración 6 División en verticales para medición de la temperatura en la sección transversal



Fuente: elaboración propia

- Puntos de medición de temperatura a lo largo del cuerpo receptor

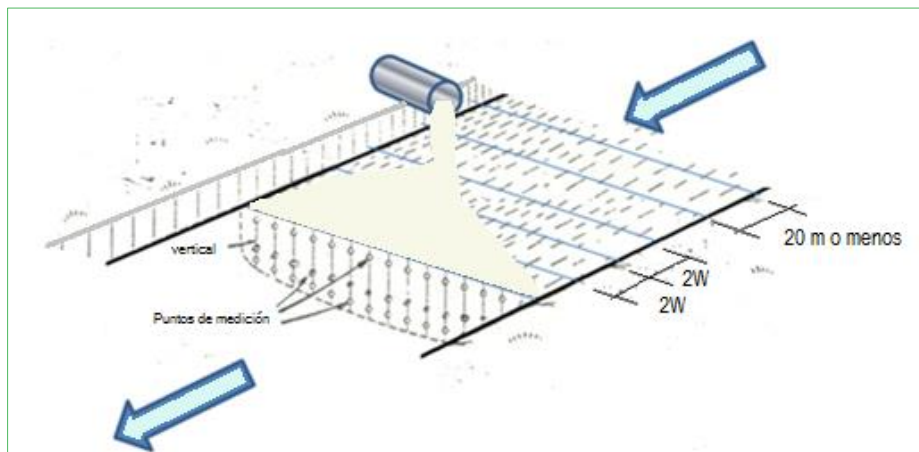
Las lecturas de temperatura en la sección aguas arriba del vertimiento se tomarán a una distancia del punto de vertimiento de aproximadamente 20 m o menor, dependiendo de las características propias del sitio de toma de muestras.

Las lecturas de temperatura en las secciones aguas abajo del punto de vertimiento se harán a una distancia no mayor a dos veces el ancho de la sección ($2*W$).

Se tomarán mínimo lecturas en dos secciones; una aguas arriba y otra aguas abajo del vertimiento.

La Ilustración 7 es un esquema en el cual se muestran los puntos de medición de la temperatura en el tramo en estudio.

Ilustración 7 Puntos de lectura de la temperatura en el proceso de determinación de la zona de mezcla



Fuente: elaboración propia

2) Longitud de la zona de mezcla térmica

Se calcula la temperatura promedio en cada la sección como el promedio de la temperatura media en cada vertical.

$$(T^{\circ}\text{C})_{\text{promedio en cada sección}} = \sum_i^n \frac{(T^{\circ}\text{C})_{\text{media en cada vertical}}}{n}$$

Donde, n es el número de verticales en las cuales se mide la temperatura.

Cuando la diferencia de la temperatura promedio en la sección en el punto aguas arriba y la temperatura promedio en la sección aguas abajo sea mayor a 2°C , se considera que hasta ese punto se prolonga la longitud de mezcla térmica.

Si la distancia a la cual se alcanza un gradiente mayor a 2°C es menor a 100 m, la longitud de mezcla térmica será de 100 m.

3) Ancho o amplitud de la zona de mezcla (W_{mezcla})

Si el ancho de la sección es mayor a 20 m, deberá calcularse el ancho de la pluma. Para ello se aplicará el siguiente criterio: La zona de mezcla se extenderá en el sentido lateral hasta la distancia en que exista una diferencia no mayor al 10%, entre la temperatura media de dos verticales consecutivas.

Resumen de variables a ser consideradas para la determinación de la zona de mezcla térmica

Parámetros meteorológicos:

- Temperatura (°C),
- Velocidad del viento (m/s),
- Dirección del viento,
- Humedad relativa (%),
- Precipitación (mm), p
- Presión barométrica (mBar).

Parámetros físicos:

- Caudal del vertimiento
- Caudal del río
- Secciones
 - Longitud del perfil
 - Área total
 - Profundidad promedio
 - Anchos promedios
- Pendiente del río
- Batimetrías
- Velocidades lineales

Cálculo de parámetros:

- Calculo factor de dilución
- Coeficiente de dispersión transversal
- Longitud zona de mezcla
- Medición de temperatura del agua aguas arriba y aguas abajo

2.7.3 Procedimiento para determinar zona de mezcla para componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos

Cuando sea necesario determinar la zona de mezcla para componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos, se propone utilizar un método simplificado utilizando alguno de los métodos descritos según lineamientos establecidos en la Guía Nacional de Modelación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). La Ilustración 8 presenta un esquema que ilustra la serie de pasos a seguir en la determinación de la zona de mezcla térmica y la zona de mezcla aplicable a los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos.

Un aspecto importante por resaltar es que por motivos prácticos, el procedimiento adoptado en este protocolo para determinar la zona de mezcla solamente considera métodos que únicamente tienen en cuenta las características de la corriente receptora y del vertimiento, sin considerar fenómenos de sedimentación, descomposición de la materia orgánica o las sustancias que se puedan estar dispersando.

I. Calcular el FD

Se determina el factor de dilución empleando la ecuación (2): $FD = \frac{Q_{\text{vertimiento}}}{Q_{\text{aguas arriba}}}$

II. Establecer la existencia de la zona de mezcla

A. Si $FD < 0,05$ o $FD > 2$: No hay zona de mezcla, se presenta mezcla instantánea.

En este caso, no se presenta zona de mezcla porque se considera que existe mezcla instantánea.

a. No existe una afluencia o abstracción significativa en una longitud menor a 100 m.

En este caso se determina como longitud de mezcla (L_{ZM}) una distancia de 100 m aguas abajo del vertimiento.

$$L_{ZM} = 100 \text{ m}$$

b. Existe una afluencia o abstracción significativa en una longitud menor a 100 m

Se mide la longitud a la cual se presenta el elemento más cercano y se le denomina L_v.

La L_{ZM} se limita hasta antes del elemento significativo y se establece como longitud de mezcla térmica la siguiente:

$$L_{ZM} = L_v \leq 100 \text{ m}$$

B. Si el $0,05 < FD < 2$: Existe zona de mezcla

I. Longitud de la zona de mezcla

En este caso, se presenta zona de mezcla porque se considera que no hay una mezcla instantánea del vertimiento con la corriente receptora; es decir, el efluente se dispersa formando una pluma.

Cuando se tiene esta situación se calcula la L_{ZM} utilizando las ecuaciones descritas en el numeral 2.3.1 PARTE I de este documento. El cálculo de la L_{ZM} debe hacerse bajo las condiciones críticas definidas en el numeral 2.4.2 PARTE I de este documento; es decir, todas las variables incluidas en las ecuaciones simplificadas deben ser medidas bajo las condiciones más desfavorables de calidad del agua en el cuerpo receptor.

Con el valor de L_{ZM} se procede a hacer la siguiente comparación:

- a. Si el valor calculado de la L_{ZM} es mayor a 500 m.

En este caso la L_{ZM} se asume igual 500 m tal como se proponen en (Perú, 2013).

$$L_{ZM} = 500 \text{ m}$$

También se puede aplicar el criterio propuesto en (USEPA, 2015) de que la longitud de mezcla no debe ser mayor a 10 veces el ancho W (a banca llena) la sección.

- b. Si el valor calculado de la L_{ZM} es menor a 500 m o $10 \cdot W$

En este caso la L_{ZM} será igual al valor calculado con las ecuaciones simplificadas (numeral 2.3.1 PARTE I de este documento).

$$L_{ZM} = \text{Valor calculado con las ecuaciones simplificadas}$$

- c. Si en la L_{ZM} establecida se presenta una afluencia o una abstracción significativa

La L_{ZM} se limita hasta antes del elemento significativo y se establece como longitud de mezcla térmica la siguiente:

$$L_{ZM} = L_v$$

II. Ancho o amplitud de la zona de mezcla (W_{mezcla})

El ancho o amplitud de la zona de mezcla será la misma distancia que se determine para el ancho de la zona de mezcla térmica calculada en el numeral anterior.

2.7.4 Aplicación de un modelo de simulación

La central de generación térmica que quiera determinar la zona de mezcla ya sea térmica o la asociada a los componentes fisicoquímicos y biológicos podrá emplear un modelo de simulación tales como los descritos en este documento.

Cuando se utiliza un modelo de simulación para analizar el comportamiento de la descarga del efluente, no será necesario distinguir entre zona de mezcla para componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos y la zona de mezcla térmica dado que el modelo simula el comportamiento tanto de temperatura como de los componentes fisicoquímicos.

Descripción y selección del software

En el informe por presentar ante las AAC, se debe hacer una descripción de las principales características del modelo, así como justificar las razones para su selección. En esta parte se debe incluir información relevante sobre el software tal como la versión utilizada, el desarrollador, las ventajas y desventajas que ofrece el programa, el grado de complejidad requerido, entre otros datos.

Análisis de los resultados

Los resultados del ejercicio de modelación deben ser discutidos y se debe incluir tanto los archivos o la base de datos de entrada así como los de salida. Tanto los archivos o base de datos de entrada como los de salida se deben entregar a la AAC en forma digital y física.

El análisis de resultados debe básicamente enfatizarse en:

- La descripción de la pluma que forma el efluente, tratando de distinguir, si se puede, la dilución inicial (procesos de campo cercano) de la pluma en general.
- Analizar si se presenta algún grado de estratificación en la pluma o si ocurre o presenta boyancia
- Describir la forma de la pluma
- Analizar los resultados de las concentraciones de temperatura, y componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos en la zona de mezcla
- Determinar el área cubierta por la pluma.

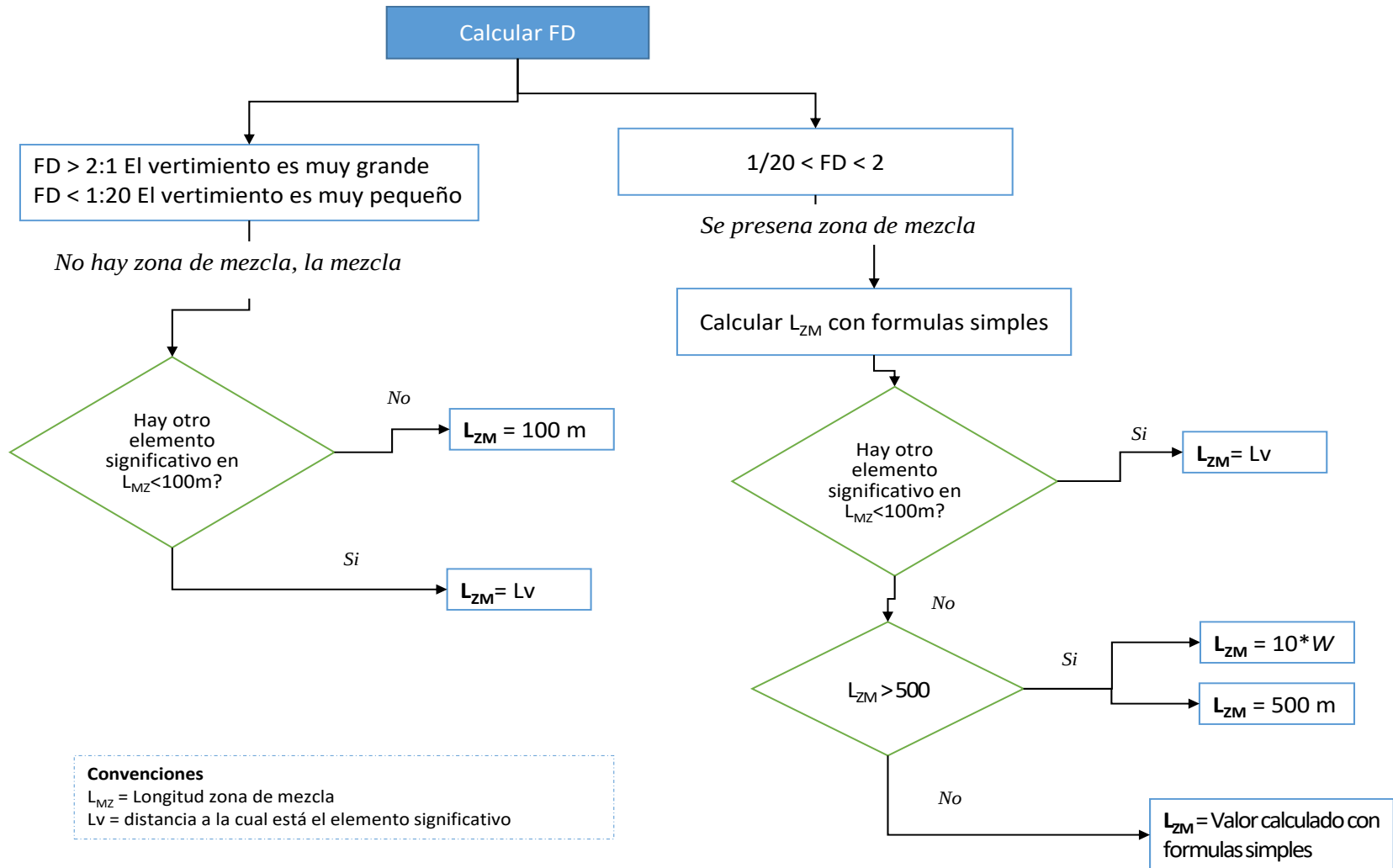


Ilustración 8 Procedimiento determinar la zona de mezcla térmica y la zona de mezcla aplicable a los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos

3. PARAMETROS FISICOQUÍMICOS E HIDROBIOLÓGICOS

3.1 GENERALIDADES

Tal como lo establece la resolución 0631 de 2015 en el apartado 2 del artículo 5, para las actividades de generación eléctrica por procesos térmicos (termoeléctricas), que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales se debe realizar monitoreos que permitan determinar los cambios de los componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos en el **cuerpo de agua** receptor.

3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

La operación de una central termoeléctrica tiene como fundamento la conversión de energía térmica en energía mecánica, y esta a su vez, en energía eléctrica. La energía térmica conseguida en el proceso de combustión, es transformada en energía mecánica, a través de un fluido, que al expandirse produce trabajo en las turbinas. La conversión de la energía mecánica en eléctrica se efectúa a través del accionamiento mecánico de un generador eléctrico acoplado al eje de la turbina (Mastrángelo, 2002). Las tecnologías para generación de energía, a través de procesos térmicos más usadas en Colombia son las turbinas a vapor en ciclo Rankine; turbinas a gas, en ciclo simple y en ciclo Stig y ciclo combinado.

Las del ciclo combinado, consisten en la combinación de dos ciclos actuando en forma acoplada; el primero es el ciclo simple de gas (Brayton) y el segundo es un ciclo Rankine, en donde el calor de los gases de escape de la turbina de gas se aprovecha en la formación de vapor que mueve una turbina, y ésta un generador. El ciclo combinado actúa bajo los principios termodinámicos, donde se puede observar la transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua.

En cuanto a la relación con el medio ambiente, cabe mencionar que los principales impactos al cuerpo de agua receptor se relacionan con alteraciones al ecosistema acuático por la descarga de aguas calientes (descarga térmica) y de aguas residuales que se originan en distintos procesos o actividades de la central térmica, siendo el volumen de las primeras, mucho mayor que el de las segundas.³

³ http://www.sma.gob.cl/index.php/documentos/documentos-de-interes/documentos/guias-sma/doc_download/217-guia-sma-termoelectricas

Las descargas térmicas son el producto del agua utilizada para el enfriamiento de los equipos, a una temperatura mayor a la del cuerpo receptor, debido a lo cual, dependiendo de la hidrodinámica de éste, se generan plumas de aguas cálidas en la zona aledaña a la descarga y su efecto más significativo se podría relacionar con la alteración de los aspectos funcionales de las comunidades bentónicas que crecen adheridas en un sustrato (como pastos y ciertas especies de macroinvertebrados que habitan los fondos de las corrientes). También, puede suceder que algunas especies oportunistas, que tiene mayor capacidad de adaptación, lleguen a predominar y desplazar a las comunidades originales. Este impacto, puede ocasionarse en los alrededores inmediatos a la descarga hasta incluso cientos de metros, sin embargo, de acuerdo con los monitoreos realizados por las centrales, no se ha evidenciado ningún impacto significativo asociado.

Dado que la normatividad actual (decreto 631 de 2015, MADS) contempla parámetros que dan cuenta de las sustancias originadas en los procesos anteriormente enunciados y que debe cumplirse con esta norma de vertimiento, ***se considera que en la fuente propiamente dicha, el monitoreo se debe enfocar en variables que sean indicadoras del estado ambiental de la corriente, especialmente afectadas por la temperatura,*** y que permitan comparar una variación entre la condición que trae la fuente (antes del vertimiento) y el cambio de esta condición por efecto del vertido (después del vertimiento), según lo establezca la autoridad ambiental competente.

Para el caso, de la determinación de la zona de mezcla térmica, resulta pertinente considerar el parámetro de temperatura:

Temperatura, profundidad, velocidad de la corriente

Las características locales del cauce receptor como la profundidad y el ancho de la sección, así como el flujo volumétrico (caudal) son factores que determinan el calor residual que puede producir la carga térmica proveniente de la termoeléctrica, manifestándose en un aumento de la temperatura del agua en la corriente. En las zonas tropicales, a lo largo del año se presentan variaciones importantes en los caudales y por ende en la profundidad y el ancho de la sección. Con ellos se dan cambios en las condiciones de calor residual, por ejemplo, en época de bajo caudal el aumento en la temperatura puede producir un descenso en la concentración de oxígeno, causado en parte por el estímulo

del metabolismo de los seres vivos y en parte por la menor disolución de oxígeno en el agua más caliente. Esta escasez puede provocar problemas para los organismos acuáticos.

3.3 PARÁMETROS HIDROBIOLÓGICOS

Todos los aspectos del metabolismo de los organismos, por ejemplo, la fotosíntesis, la respiración, crecimiento, entre otros, son más o menos dependientes de la temperatura. El aumento de la temperatura da como resultado un incremento en las tasas de metabolismo y la respiración, así como una mayor actividad y consumo de alimentos. La temperatura puede afectar a la reproducción y la longevidad de los organismos. La naturaleza de la dependencia varía entre las diferentes especies y entre organismos con diferentes niveles de adaptación y posición en la red trófica, así como también a la composición genética.

Organismos individuales y especies muestran la capacidad de adaptarse o aclimatarse a los cambios estacionales en la temperatura o en intervalos de cambios de temperatura que pueden encontrar cuando el período de aclimatación se extiende por un período de tiempo adecuado. Como resultado de la aclimatación, el impacto de los cambios de temperatura se calma durante algún intervalo a la que el organismo se "adapta".

Los grupos de biota acuática o aspectos hidrobiológicos que podrían datar los efectos y consecuencias de los vertimientos térmicos en aguas continentales son: el fitoplancton, algas perifíticas, vegetación acuática o macrófitas, zooplancton, invertebrados bentónicos, peces.

En general, los efectos térmicos podrían ser distinguibles si los cambios estacionales o espaciales son constantes, si los cambios de temperatura son de corta duración no serán ni letales ni causarán cambios duraderos en la producción debido a que las tasas de reproducción de las algas son tan rápidas que las células perdidas serán reemplazadas rápidamente.

4. PROGRAMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y CONSIDERACIONES PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS E HIDROBIOLÓGICOS

4.1 ALCANCE

El programa de monitoreo incluido en este protocolo tiene como propósito responder a los requerimientos nombrados en el artículo 5 de la resolución 0631 relacionado con los efectos de la temperatura en los vertimientos de las centrales generadoras de energía. En consecuencia, se debe tener en cuenta:

- En el protocolo, no se enfatiza en el método de análisis de laboratorio, toda vez que los encargados de realizar la toma y análisis de muestras tanto para análisis fisicoquímicos como hidrobiológicos, deberán ser entidades y/o laboratorios acreditados por el IDEAM y por tanto los protocolos de toma, preservación, transporte y análisis de muestras están bien establecidos en los protocolos acreditados.
- Este programa de monitoreo no aplica para la definición de la zona de mezcla térmica y la zona de mezcla para componentes fisicoquímicos e hidrobiológicos.

4.2 FRECUENCIA DE MONITOREO

La frecuencia de monitoreo tanto para los componentes fisicoquímicos como hidrobiológicos será:

- 1) De acuerdo con lo establecido en los permisos de vertimientos y lo definido por las Autoridades Ambientales Competentes, se realizará **un muestreo** en la época más desfavorable en términos de dilución del vertimiento. Esto es, **en época de caudales bajos**.
- 2) Fecha de monitoreo: Cada central de generación térmica, determinará de acuerdo a sus características, en la época de caudales bajos, la fecha de monitoreo

4.3 PROGRAMA DE MONITOREO PARA LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA

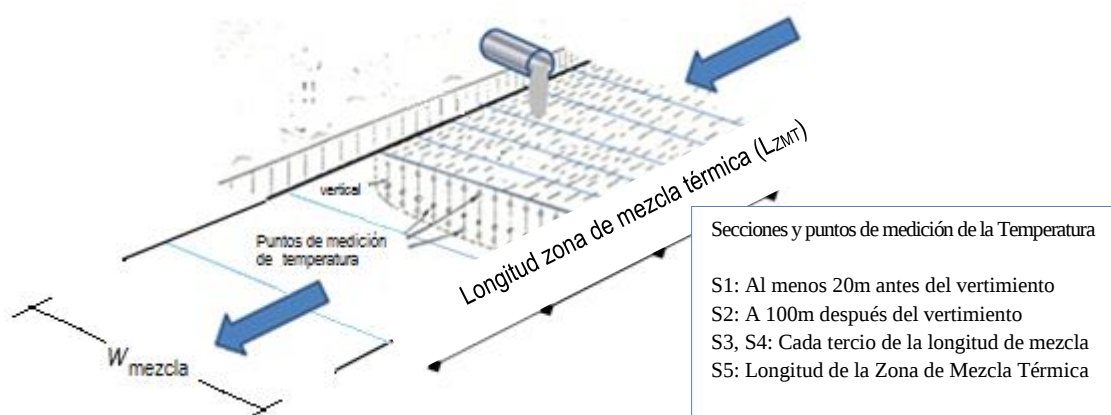
Sitios de monitoreo (secciones)

Las mediciones de temperatura en el eje longitudinal de la corriente se realizarán en la zona de mezcla térmica establecida: largo L_{ZMT} y ancho W_{mezcla} . (Ver sección 3.6). La temperatura se medirá en los siguientes sitios o secciones:

Sección transversal donde se realizará la medición	Código de la sección	Localización
1	S1	20 m antes (aguas arriba) del punto de vertimiento
2	S2	100 m en la L_{ZMT}
Otras secciones	S3...S5	Si la $L_{ZMT} > 100$ m, cada tercio de la zona de mezcla ($L_{ZMT}/3$)

En consecuencia, se realizarán mediciones de temperatura dentro de la zona de mezcla térmica en máximo cinco secciones, como se ilustra en la siguiente ilustración.

Ilustración 9 Secciones y puntos de medición de temperatura



Fuente: elaboración propia

Por ejemplo, si se determina como L_{ZMT} un área de 450 m de largo, se tomarán mediciones de temperatura en las siguientes secciones: sección 1 (S1): 20 m aguas arriba de la descarga y sección 2 (S2) a 100 m aguas abajo de la descarga. Ahora, como $L_{ZMT} > 100$ m, se tomará la temperatura cada 150 m a partir del punto de vertimiento, así: sección 3 (S3) a 150 m, sección 4 (S4) a 300 m y sección 5 (S5) a 450 m aguas abajo del vertimiento.

Puntos de toma de datos de temperatura en las secciones

En las secciones establecidas en el numeral anterior, las mediciones de temperatura se realizarán en los siguientes puntos:

- En la sección 1 (S1): Se medirá la temperatura a lo ancho de la sección a distancias desde la orilla separadas cada $W/3$ y a profundidades de $0,2h$; $0,6h$ y $0,8h$ en cada vertical establecida, donde h es la profundidad de la vertical dada.
- En las demás secciones establecidas, según el numeral anterior (S2...), las lecturas de la temperatura se realizarán en los siguientes puntos:

Con respecto al ancho W de la sección:

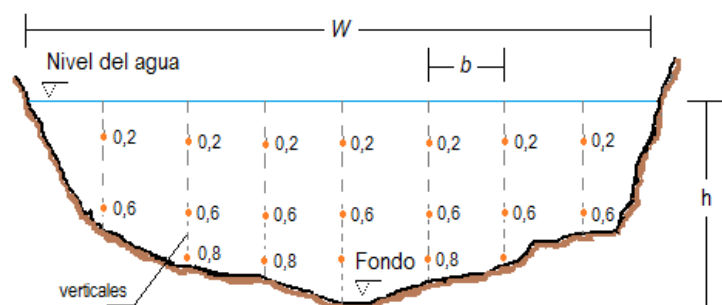
- Si $W < 20$ m: Se medirá la temperatura a lo ancho de la sección a distancias desde la orilla separadas cada $W/3$.
- Si $W \geq 20$ m: La sección se divide en franjas de ancho (b) iguales a $W/10$.

Con respecto a la profundidad (h):

- Si la profundidad en la sección es menor de 1m, se hace una sola medición de a 20 cm de la superficie.
- Si la profundidad es mayor a 1m, se tomará la temperatura en tres puntos: a $0,2h$, a $0,6h$ y a $0,8h$, donde h es la profundidad de la vertical dada.

La Ilustración 10 ilustra los puntos donde se medirán los datos de temperatura y demás parámetros *in situ*.

Ilustración 10 Esquema de puntos de medición de las variables in situ



Fuente: elaboración propia

5. FORMATO O FORMA PARA ENTREGA DE INFORMACIÓN

Con el propósito de entregar a la autoridad ambiental competente la información de que trata la resolución 0631 de 2015, se diligenciará el formato que se anexa a continuación.

El formato se compone de los siguientes anexos:

- **Anexo I: Información general – Información sobre el vertimiento y estructura de entrega – Información sobre la fuente receptora.** En la parte inferior se anexa una muestra del formato en el cual se la información por ingresar en esta hoja.
- **Anexo II: Mapa o plano cartográfico.** Se debe incluir un plano o mapa en el que se pueda ver la entrada o captación del agua y la salida o descarga al cuerpo de agua receptor
- **Anexo III. Registro fotográfico.** Anexar al menos una foto que ilustre la localización de la estructura de descarga y su relación con el cuerpo de agua receptor

INFORMACIÓN GENERAL

Identificación de la central				
Nombre y/o razón social				
Ciudad		Departamento		
Dirección				
# Teléfono	Móvil		# Fax	
	Fijo			

Identificación del contacto				
Nombres			Apellidos	
Cargo				
# Teléfono	Móvil		Correo electrónico	
	Fijo			

INFORMACIÓN SOBRE EL VERTIMIENTO Y LA ESTRUCTURA DE DESCARGA

Información sobre el vertimiento a la fecha del muestreo

Caudal (L/s)				
Información sobre la estructura de entrega				
Coordenadas	Norte		Sistema de coordenadas	Origen único
	Este			
Margen sobre la cual descarga en el sentido del flujo		<i>Por ejemplo: izquierda</i>		
Tipo de descarga		<i>Por ejemplo: Por debajo del nivel del agua en la fuente receptora</i>		
Geometría				
Tubería	Diámetro (mm)		Difusores	SI/NO
Información sobre los difusores (si existen):				
Canal	Ancho (m)		Profundidad (m)	
Información adicional sobre la descarga:				

INFORMACIÓN SOBRE LA FUENTE RECEPTORA

Nombre				
Código IDEAM				
Calidad fisicoquímica del agua: Para los puntos seleccionados: aguas arriba y aguas abajo del vertimiento, anexar la lista de parámetros y concentraciones de las variables de calidad fisicoquímica del agua monitoreadas				
Fecha de monitoreo (mes/día/año)			Hora	
Mediciones de temperatura				
	Distancia (m)		Temperatura máxima (°C)	Lugar en la sección donde se presenta la T °C máxima
Punto 1	20	Antes del vertimiento (AT)		
Punto 2	100	Después del vertimiento (DT)		

Punto 3		Después del vertimiento (DT)		
Punto 4		Después del vertimiento (DT)		
Punto 5		Después del vertimiento (DT)		
Componente fisicoquímico*			unidades	Resultado de laboratorio o dato de campo
				Punto antes del vertimiento (AV)
				Punto después del vertimiento (DV)
Componente hidrobiológico*				
Índice de calidad del agua (ICA_{ANDEG}) ⁴			AT	DT
		AV		Observaciones:
		DV		
		AV		
		DV		
Información adicional sobre la fuente receptora				

*Parámetros a monitorear de acuerdo a lo establecido en los permisos de vertimientos y lo determinado por la AAC

ESTUDIOS E INFORMACIÓN ADICIONAL

En una hoja adjunta, anexar información adicional no incluida en este formato
Incluir copia de estudios adicionales relacionados con el tema tales como estudio de trazadores, modelación del comportamiento de la pluma en la zona de mezcla, análisis estadísticos, entre otros

FORMATO DILIGENCIADO

POR:

Nombre		Fecha	
--------	--	-------	--

⁴ ANDEG propone sugerir un índice de calidad del agua con base en determinantes de las autoridades ambientales competentes

6. GLOSARIO

Ancho o amplitud de zona de mezcla: Distancia en el sentido lateral hasta donde se extiende la zona de mezcla

Boyancia: Relacionado con descarga de efluentes, se refiere a la tendencia que tiene una pluma formada por un vertimiento a subir o bajar en la columna de agua.

Caudal ambiental: Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas.

Columna de agua: Un hipotético cilindro de agua desde la superficie de un cuerpo de agua hasta el fondo en el cual se miden los parámetros fisicoquímicos del agua

Corriente de agua superficial: Se refiere a ríos, quebradas, canales que transportan agua dulce

Cuerpo de agua receptor: Recurso hídrico sobre el cual se vierte el efluente producto de una actividad industrial, comercial o doméstica

Dilución inicial: Mezcla que se presenta en el área inmediata al sitio de la descarga que ocurre debido o controlada por las características de la descarga. Se puede asimilar a lo que se conoce como procesos de campo cercano

Dilución final: Mezcla que ocurre fuera del área de la dilución inicial y es controlada básicamente por fenómenos ambientales como difusión o dispersión, sedimentación, entre otros aspectos.

Efluente: Volumen de agua descargado a un cuerpo de agua receptor efluente producto de una actividad industrial, comercial o doméstica. Sinónimo de descarga o vertimiento

Factor de dilución: Una medida del grado de mezcla entre un vertimiento y el cuerpo de agua receptor en el punto en que se juntan.

Fuente de agua receptora: ver cuerpo de agua receptor

Longitud de mezcla: Distancia aguas abajo, medida en el sentido del flujo, hasta donde se extiende la pluma generada por un vertimiento.

Qx%: Caudal que es excedido el x% de las veces; por ejemplo, Q95% significa que el 95% de las veces se presenta un caudal mayor

7Q10: Caudal mínimo promedio durante siete días consecutivos que se presenta mínimo una vez cada 10 años.

Vertimiento: ver efluente

7. REFERENCIAS

American Petroleum Institute (API, 1998). *Mixing zone modeling and dilution analysis for Water-Quality-Based NPDS permits limits*. Ann Arbor, Michigan (USA).

American Public Health Association (APHA). 1998. American Waterworks Association (AWWA). Water Pollution Control Federation (WPCF). *Standard Methods for Examination of Water and Sewage and Wastewater*. 20a. ed. New York (USA). pp. 31.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2013), Subdirección de instrumentos, permisos y trámites ambientales. Bogotá D.C. Anexo 3, Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial. Bogotá D.C., Colombia.

Betancourt F. Liliana, *et al*. Estándares de calidad del ambiente marino de la República Dominicana: <http://programaecomar.com/ESTANDARES.pdf> consultado 07/10/ 2015

Colorado Department of Public Health and Environment Water Control Division (Colorado, 2012). *Colorado Mixing Zone Implementation Guidance*. Colorado (USA).

Constaín, Alfredo, *et al* (2006). *Nuevo método de cálculo de la longitud de mezcla en cauces naturales con trazadores conservativos*. Ingeniería del agua, Vol. 13 No. 3. Colombia.

CORPOBOYACÁ, 2006. Plan de Manejo y ordenación de la cuenca hidrográfica del río Chicamocha, cap 1. Diagnóstico. Tunja, Colombia.

Coutant, C.C. 1970a. Biological aspects of thermal pollution. 1. Entrainment and discharge canal effects. *CRC Critical Reviews in Environmental Control* 1: 341-381.

Coutant, C.C. 1970b. Thermal Resistance of Adult Coho (*Oncorhynchus kisutch*) and Jack Chinook (*O. tshawytscha*) Salmon, and Adult Steelhead Trout (*Salmo gairdneri*) from the Columbia River. Battelle Mem. Inst., Richland, Washington, B.N.W.L.-1508: 24 p.

Chapra, Steven (1997). Surface Water-Quality Modelling, McGraw-Hill, New York (USA).

Dames & Moore. 1979. Environmental Criteria for the Siting of Thermal Power Plants. Report to Environment Canada, Environmental Protection Service. 74 p.

Donato J. 2001. "Fitoplancton de los Lagos Andinos del Norte de Sudamérica (Colombia). Composición y Factores de Distribución". Rev. Acad. Colomb. De Cienc. Exact. Fís. Nat. Colección Jorge Álvarez Lleras. Vol. 19. pp. 20-27.

EPA's Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control (TSD) (USEPA, 1991).

Granero Castro, J. et al (s.f). Estudio y modelación del vertido térmico de Hidro_Nitro Española sobre el río Cinca en Monzón (Huesca, España).

Gregor J, Marsálek B. 2004. "Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll a: A Comparative Study of in vitro, in vivo and in situ Methods". Water Res.Vol. 38. 2004. pp. 517-522.

Hart, J.S. 1947. Lethal temperature relations of certain fish of the Toronto region. Trans. Roy. Soc. Can. 151: 57-71.

Hasler, A.D. and E. Jones. 1949. Demonstration of the antagonistic action of large aquatic plants on algae and rotifers. Ecology 30: 359-364.

Howell, F.G. and J.B. Gentry. 1974. Effect of thermal effluents from nuclear reactors on species diversity of aquatic insects, pp. 562-571. In: J.W. Gibbons and R.R. Sharitz [Eds.]. Thermal Ecology. U.S. Atomic Energy Commission, Technical Information Center, Oak Ridge,

Tennessee. CONF-730505, National Technical Information Service, Springfield, Virginia.

IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá, Colombia.

IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de indicadores ambientales de Colombia- Indicadores de calidad del agua superficial. Bogotá, Colombia.

ISO 10260. 1992. Water quality - Measurement of Biochemical Parameters - Spectrometric Determination of the Chlorophyll a Concentration. pp. 4-6.

Jiménez, M.A, *et al.* (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. Avances en recursos hidráulicos, Número 14. Medellín, Colombia.

Mastrángelo, Sabino (2002). Conceptos de Generación Termoeléctrica: Combustibles Utilizados e Impactos Ambientales. Primera parte. Boletín energético de la comisión nacional de energía atómica Argentina: <http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/Boletin-11.pdf>.

McKee, D., D. Atkinson, J.E. Collings, J.W. Eaton, A.B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes, D. Wilson and B. Moss. 2003. Response of freshwater microcosm communities to nutrients, fish, and elevated temperature during winter and summer. *Limnol. Oceanogr.* 48: 707-722.

Ministerio de Agricultura y Riego (Perú, 2013). Lineamientos para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales a un cuerpo de agua natural de agua. Lima, Perú.

Ministerio de Ambiente (1999). Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido Versión 01 Enero de 1999. Bogotá, Colombia.

Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente
Resolução No, 430, de 13 de maio de 2011. Brasil.

Montealegre, E. (2009). Estudio de la Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Nota Técnica IDEAM, IDEAM -METEO/022-2009, Bogotá D.C.

Murte, Leonardo (2013). Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de trazadores. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10143/2/MurteGalloLeonardo2013.pdf>

Patrick, R. 1969. Some effects of temperature on freshwater algae, pp. 161-185. In: P.A. Krenkel and F.L. Parker [Eds.]. Biological Aspects of Thermal Pollution. Proc. Nat. Symp. Thermal Pollution. Vanderbilt University Press, Portland, Oregon (USA).

Puerto Rico (2010), Departamento de Estado. Reglamento de Estándares de Calidad del Agua. San Juan Puerto Rico.

Ramírez J., H. Alcaráz. 2002. "Dinámica de la Producción Primaria Fitoplanctónica en un Sistema Eutrófico Tropical: Laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia". Caldasia. Vol. 24. 2002. pp.411-423.

Ramírez, R. Restrepo y M, Cardaños (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos, formulaciones. CT&F – Ciencia, Tecnología y Futuro – Vol. 1, Num 5. Bucaramanga, Colombia.

Rasmussen, J.B. 1982. The effect of thermal effluent, before and after macrophyte harvesting, on standing crop and species composition of benthic macroinvertebrate communities in Lake Wabamum, Alberta. Can. J. Zool. 60: 3196-3205.

Rivera C., A. Zapata, G. Pinilla, J. Donato, J. Chaparro, P. Jiménez. 2005. "Comparación de la estimación de la clorofila-A mediante los métodos

espectrofotométrico y fluorométrico". Acta Biológica Colombiana. Vol. 10. pp. 95-103.

Rowan K. 1989. Photosynthetic Pigments of Algae. 1st ed. Ed. Cambridge University Press USA. New York. 1989. pp. 20-22.

Ruza, Javier, *et al.* (2007). Manual para la gestión de vertidos. Ministerio de Medio Ambiente, España.

Sartory D. P., Grobelaar J. U. 1984. "Extraction of Chlorophyll a from Freshwater Phytoplankton for Spectrophotometric Analysis". Hydrobiologia. Vol. 114. pp. 177-187.

Schnurbusch, Stephen A. (2000). *A mixing zone guidance document prepared for the Oregon Department of Environmental Quality*. Portland State University, Portland, Oregon (USA).

SNET-Servicio Nacional de Estudios Territoriales (s.f). Índice de calidad del agua general "ICA". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. San Salvador, El Salvador.

Superintendencia de Medio Ambiente (SMA, 2014). Guía de aspectos ambientales relevantes para las centrales termoeléctricas. Santiago, Chile.

Sweeney, B.W. 1984. Factors influencing life-history patterns of aquatic insects, pp. 56-100. *In*: V.H. Resh and D.M. Rosenberg [Eds.]. The Ecology of Aquatic Insects. Praeger Publishers, New York, New York.

U.S. Environmental Protection Agency, Region VIII (USEPA, 1995). Mixing Zones and Dilution Policy, Denver, Colorado (USA).

Ward, J.V. and J.A. Stanford. 1982. Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. Ann. Rev. Ent. 27: 97-117.