



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**FUENTES ABASTECEDORAS DE AGUA Y  
ESPECIFICACIONES PARA SU EMPLEO EN  
LA ELABORACIÓN DE FLUIDOS PARA LA  
PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA PETROLERA**

PRESENTA:

**NATHALY NAVA GARCÍA**

DIRECTORA DE TESIS:

**QUIM. ROSA DE JESÚS HERNÁNDEZ ÁLVAREZ**



C.D. UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. JUNIO 2014



## Índice

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	3
<b>Capítulo I: El Agua</b>	<b>4</b>
1.1 Ciclo Hidrológico	4
1.2 Fuentes de abastecimiento de agua y limitaciones para el consumo humano y en la perforación de pozos petroleros	6
1.3 Distribución y disponibilidad del agua	27
<b>Capítulo II: Clasificación del agua y limitaciones para su empleo</b>	<b>29</b>
2.1 Dulce	29
2.2 Mar	30
2.3 Potable	31
2.4 Residual	32
2.5 Tratada	34
2.6 De formación ó fósil	34
<b>Capítulo III: Fluidos de Control</b>	<b>37</b>
3.1 Definición	37
3.2 Clasificación de acuerdo a las etapas operativas	38
3.3 Clasificación de acuerdo a su medio portador, Reológico y Tixotrópico	44
<b>Capítulo IV: Normas de calidad empleadas para la evaluación y abastecimiento de agua para el consumo humano y para las descargas de aguas residuales</b>	<b>50</b>
4.1 Agua para consumo humano	50
4.2 Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994	50
4.3 Calidad del agua para usos industriales	54
4.4 Norma Oficial Mexicana NOM 001-SEMARNAT-1996	55
4.5 Norma Oficial Mexicana NOM 002-ECOL-1996	58
<b>Capítulo V: Técnicas específicas para evaluar y controlar el agua en la elaboración de fluidos de control</b>	<b>60</b>
5.1 Análisis Stiff and Davis	60
<b>Conclusión</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>68</b>



---

---

## Agradecimientos

### **A Dios,**

*Por estar conmigo en todo momento, por la fé mutua que nos tenemos y por poner en mi vida personas maravillosas que han de algún modo contribuido a que esta meta se lograra, gracias por darme días malos porque solo así supe lo que soy capaz de superar, gracias por los días buenos porque me permiten compartir lo que soy con las personas que quiero, gracias por darme una familia maravillosa, una pareja amorosa y amigos sinceros, gracias Dios por enseñarme lo humana que puedo ser al darme una mascota que me permites cuidar y amar. Gracias Dios por un día más de vida*

### **A mis padres María Luisa García e Isaac Nava Herrera,**

*Por haberme dado la vida, porque sin su apoyo incondicional no podría haber logrado esta meta, por todo lo que he aprendido de ustedes y por todo lo que me han enseñado, gracias por estar conmigo incluso cuando eran noches de desvelo, por los valores que me han enseñado y que me han guiado de la mejor manera, por enseñarme a soñar y a nunca rendirme, por darme la fuerza, la confianza y el valor para luchar por lo que quiero. Gracias papá y mamá por darme la mejor familia, una sonrisa y una bendición todos los días.*

### **A mis hermanos, Alberto, Leticia, Viviana, Antonieta,**

*Porque han sido mis principales guías, consejeros y confidentes, son cómplices de mi felicidad, alegría, risas, lágrimas, tristezas, gracias por brindarme su apoyo y confianza, por darme siempre cariño y a la vez corregirme cuando lo necesité. Cuentan con mi apoyo incondicional a pesar de que nuestros caminos tomen rumbos diferentes, siempre que me necesiten ahí estaré de alguna manera. Gracias por siempre estar al pendiente de mí siempre cuidando de que tuviera lo mejor, los amo con toda mi alma.*

### **A mi novio Christian,**

*Por estar a mi lado en esta etapa tan importante, por brindarme tu ayuda en los momentos difíciles, por ser la luz que iluminaba mi camino cuando todo se ponía oscuro, gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado y por siempre estar ahí en el momento indicado, gracias por tomar mi mano juntos superar todos los retos que se nos han presentado, gracias por permitirme sonreír y soñar a tu lado*

### **A mis sobrinos, Tonatiuh, Eduardo, Rodrigo, Mónica, Azul, María, Isaac, Matías, Leonardo,**

*Por ser mi motivación diaria para ser una mejor persona, por ayudarme a preservar esa niña que aún vive en mí, gracias por creer en mí y regalarme esas sonrisas que cambian mi día. El ser su tía ha sido la mayor alegría y bendición, ustedes, son el mejor regalo que mis hermanos me han dado y es con ustedes con quien quiero compartir mis éxitos y a quienes se los dedico.*



**A mis primos,**

*Por darme los mejores recuerdos de infancia, por tantas aventuras y por crecer juntos conviviendo y compartiendo cada momento, aunque ahora estamos más alejados, esa distancia no ha impedido que nos unamos en los malos y en los buenos momentos.*

**A mi Abuela María de Jesús García Estrada, †**

*Por ser un ejemplo de fortaleza, esfuerzo y amor, porque a pesar de que Dios te llevo a mi temprana edad nunca te olvidaré y te llevaré en el corazón toda la vida.*

**A mis Abuelos Cruz Nava Ramírez † y Antonia Herrera Romero,**

*Por ser mi ejemplo de unión, amor, fortaleza, por ser las raíces de mi árbol y enseñarme que no importa lo que pase, siempre y cuando tengas a tu familia las cosas saldrán bien. Gracias por nunca rendirse*

**Al ing. Jaramillo,**

*Por haber creído en mí, por su confianza y apoyo, por darme todo en cada cátedra, gracias a usted comprendí la importancia de amar lo que se hace, porque usted es un claro ejemplo de dedicación y entrega.*

**Al Ing. Israel Castro Herrera,**

*Por haberme elegido para hacer el servicio social, porque gracias a eso tuve el gran gusto trabajar con usted, gracias por su apoyo y confianza*

**A Irene Lazcano,**

*Por su apoyo, confianza, consejos, gracias por haber consolidado una amistad que quisiera preservar en adelante para seguir sonriéndole a la vida. Gracias Irene por tu sinceridad, tu entrega al trabajo y tu compromiso. Eres una mujer maravillosa y una madre ejemplar.*

**A mis amigos y compañeros: Cesar Martínez Santos, Lorena Rojas Meza, Susana García Campos, Lizeth Gonzales Luna, Cardenas Aranda Francisco Javier, Joseph Reyna Torres, Roberto Alejandro Gómez Hernández, Iván Pérez, Adolfo Ojeda Bustamante, Edgar Jesús Lopez Caudillo, José Cesar Contreras Sánchez y a todos mis compañeros y amigos de la facultad,**

*Porque con su apoyo pude lograr esta meta, por enseñarme a trabajar en equipo, por ser mis confidentes y promotores de retos, gracias por estar presentes en todo momento, por sus consejos, por permitirme conocerlos y aprender de ustedes, pero sobre todo por brindarme su ayuda cuando lo necesite, sepan que de igual manera estaré apoyándolos.*



---

**Al Ing. Alejandro Cortes,**

*Por compartirme su pasión por la carrera y su lealtad a la Universidad, por motivarme a nunca rendirme ni conformarme.*

**Al Ing. Gomez Cabrera,**

*Porque en sus cátedras compartía con nosotros toda su experiencia y me dejaba conocer lo que era el verdadero trabajo de campo.*

**Al Ingeniero Jose Carlos Delgado Chong y al M.A. José Manuel Bahamonde Pelaez,**

*Por enseñarme la importancia de estar bien informado, por demostrarme que los Ingenieros no debemos encerrarnos en literatura técnica siendo de igual importancia de la literatura clásica.*

**Al M.I. Jorge Federico Paniagua Ballinas, al Dr. Edgar Ramirez Jaramillo y al M.I. Felipe de Jesús Lucero Aranda,**

*Por enseñarme la importancia de llevar una secuencia y orden en todo lo que quiera resolver, por enseñarme la disciplina que se requiere para ser un buen Ingeniero*

**A mis sinodales: Ing. Agustín Velazco Esquivel, Ing. Mario Becerra Zepeda, Ing. María Cristina Avilés Alcántara y al Ing. Alberto Arias Paz,**

*Por tomarse un momento de su tiempo para corregir, aclarar y ampliar este trabajo, por todo lo que me han enseñado por sus consejos y apoyo.*

**A mi Directora de Tesis, Quim. Rosa de Jesús Hernández Álvarez,**

*Por compartir conmigo sus experiencias personales, por ser un ejemplo de entrega, amor, sacrificio y constancia, por convertirse en mi guía para la realización de esta Tesis, gracias por dedicarme este tiempo y por permitirme conocer otra faceta de usted. Me llevo sus palabras que han dejado marcado mi camino y que formaran parte en mi toma de decisiones.*



---

## Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar la importancia que tiene el agua en la elaboración de fluidos para la perforación de pozos petroleros y en el consumo humano, así como también dar a conocer pruebas físicas y químicas que se realizan al agua a emplear y analizar las consecuencias que se pueden tener no realizarle o practicarle un análisis previo. Se presentará la normatividad oficial que existe para las descargas de agua y el aprovechamiento de las fuentes abastecedoras de agua para que proporcionen las condiciones de operación óptimas en la perforación de pozos petroleros. La posibilidad de recurrir a estas fuentes abastecedoras es muy importante dada la problemática actual a la que nos enfrentamos que es la escases del agua y por lo tanto a la factibilidad de su disponibilidad donde se va a perforar.

Durante la perforación de pozos se requiere de la elaboración de fluidos de control, los cuales se clasifican dependiendo de las operaciones requeridas en la construcción de un pozo petrolero como son: perforación, terminación, cementación. Este trabajo se abocará solamente a los fluidos de perforación, los cuales requieren para su preparación grandes volúmenes de agua, misma que puede proceder de: ríos, mares, acuíferos y estuarios. Dichos fluidos requieren para su empleo de propiedades específicas del agua para que cumplan con funciones y propiedades para la perforación de pozos

La importancia de hablar solamente de la perforación se relaciona con la etapa operativa más importante en la construcción de un pozo petrolero dado que nos permite hacer la conexión de la superficie con el yacimiento productor.

Una prueba presentada en el siguiente trabajo es el Método de Stiff y Davis para predecir la tendencia de la depositación de carbonato de calcio del agua de formación en yacimientos de aceite, esta prueba es importante debido a que en las incrustaciones de carbonato de calcio presentan frecuentemente problemas y de no tratarse a tiempo pueden provocar serios daños en la tubería afectando la producción, por lo que es importante tener un monitoreo continuo del agua y estudiarla para que brinde las condiciones de operación apropiadas.



---

## Introducción

Durante la perforación de pozos se requiere de la elaboración de fluidos de control, los cuales se clasifican dependiendo de las operaciones requeridas en la construcción de un pozo petrolero como son: perforación, terminación, cementación. Este trabajo se abocará solamente a los fluidos de perforación, los cuales requieren para su preparación grandes volúmenes de agua, misma que puede proceder de: ríos, mares, acuíferos y estuarios. Dichos fluidos requieren para su empleo de propiedades específicas del agua para que cumplan con funciones y propiedades para la perforación de pozos

La posibilidad de recurrir a estas fuentes abastecedoras es muy importante dada la problemática actual a la que nos enfrentamos que es la escases del agua y por lo tanto a la factibilidad de su disponibilidad donde se va a perforar.

Es importante conocer las especificaciones del agua, sus componentes y especificaciones incluso la legislación previo a su empleo para seleccionar los materiales con los cuales se podrán usar los diferentes tipos de agua para la elaboración de los fluidos de perforación y para consumo humano.



---

## Antecedentes

El agua es fundamental para todas las formas de vida conocidas, cubre tres cuartas partes de la superficie de la tierra y aproximadamente el 97% del volumen de agua es salada misma que está contenida en océanos y mares; el otro 3% restante corresponde a agua dulce o con una baja salinidad. El volumen total de agua dulce, según la CONAGUA<sup>1</sup> es de aproximadamente 38 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales el 75% se encuentra en los casquetes polares<sup>2</sup>, nieves eternas<sup>3</sup> y glaciares<sup>4</sup>; el 21% está en el subsuelo y el 4% restante corresponde a los lagos y ríos.

Dada esta información es importante considerar que los fluidos de control han requerido a nivel mundial en su elaboración grandes volúmenes de agua por lo que se hace necesario que se optimice este recurso para que se puedan seguir elaborando fluidos que permitan la perforación de pozos no sólo petroleros sino de otras alternativas energéticas como es la geotermia.

---

<sup>1</sup> Comisión Nacional del Agua

<sup>2</sup> Es una masa de hielo que cubre terrenos, islas y mares en altas latitudes ,tanto en el Artico como en la Antártida

<sup>3</sup> Se encuentran en montañas muy altas, no se derriten debido a que el sol no llega con el mismo impacto.

<sup>4</sup> Masa de hielo acumulada en las zonas altas de las cordilleras



---

## **Capítulo 1**

### **El Agua**

El agua no se encuentra en la naturaleza en estado químicamente puro, su calidad depende de su origen e historia. Según sea su procedencia, puede contener gran diversidad de sustancias, como sales minerales y otros compuestos en distintas proporciones, las aguas naturales muestran, en general, las calidades más características de sus fuentes. Sin embargo, muchos factores producen variaciones en la calidad de las aguas obtenidas del mismo tipo de fuente. Estas variaciones provienen de la oportunidad que tiene el agua para absorber sustancias en forma de solución o tenerlas en suspensión. Las condiciones climatológicas, geográficas y geológicas son factores importantes para determinar la calidad del agua. En el camino que el agua recorre a través del aire o del suelo se le adicionan, por ejemplo, ácidos, sales, álcalis y compuestos orgánicos

El agua dio origen a la vida y la mantiene, es un factor que regula el clima del planeta, esculpe y permite la existencia de los ecosistemas y de la humanidad. En términos prácticos no hay proceso de producción que directa o indirectamente no tenga relación con el agua. Todos los productos y benefactores humanos están en relación directa con el agua ya que es indispensable; no tiene sustituto y no se conoce forma de vida que prescindiera de ella.

Para que el agua sea para el consumo humano a grandes rasgos deberá de tener aspecto agradable, y sustancias no perjudiciales a la salud, para el caso de los fluidos, si se capta en zonas contaminadas debe ser previamente tratada. La variación de estos factores afecta la calidad del agua aprovechable.

#### **1.1 Ciclo hidrológico**

La importancia de conocer el ciclo hidrológico radica en el consumo y la necesidad del hombre por buscar nuevas fuentes que le permitan abastecerse de este vital líquido en la elaboración de fluidos para la perforación, limpieza y enfriamiento de equipos

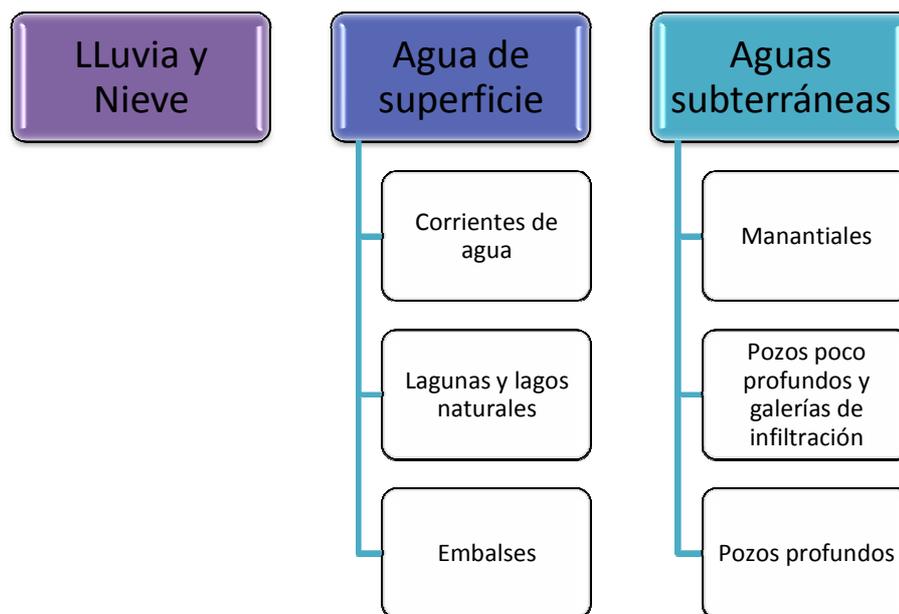
El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años.



Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo. La humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es precipitada a su vez en forma de lluvia, nieve y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y parte cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra parte corre hacia los océanos por conducto de corrientes de agua y lagos, el resto penetra en la tierra. El abastecimiento de agua para suministro se realiza mediante la intercepción de corrientes de superficie o por la captación del agua que se ha filtrado en la tierra.

Las condiciones hidrológicas relacionadas con la lluvia, con las corrientes de agua y con la infiltración, son factores de mucha importancia en la formación de depósitos de aguas de abastecimiento y en la purificación de estas aguas. Las variaciones de estos factores afectan no solo la calidad de agua aprovechable, sino también su cantidad. **Figura (1) Ciclo hidrológico**

Las fuentes aprovechables de agua en el ciclo hidrológico pueden clasificarse como sigue, **Cuadro (1) Clasificación de las fuentes aprovechables de agua**



**Cuadro (1) Clasificación de las fuentes aprovechables de agua**

Las ventajas y desventajas del agua superficial, entre otras, son:

- Ventajas: Por estar al exterior es más fácil su extracción para su uso.
- Desventajas: Por estar en el exterior tiene más componentes contaminantes, quitar organismos patógenos hace caro su tratamiento



Las ventajas y desventajas del agua subterránea, entre otras, son:

Ventajas: No está contaminada por basura, no entra en contacto con agentes externos que la ensucien

Desventajas: Al estar en el subsuelo es más difícil su extracción para su uso, y tratamiento.

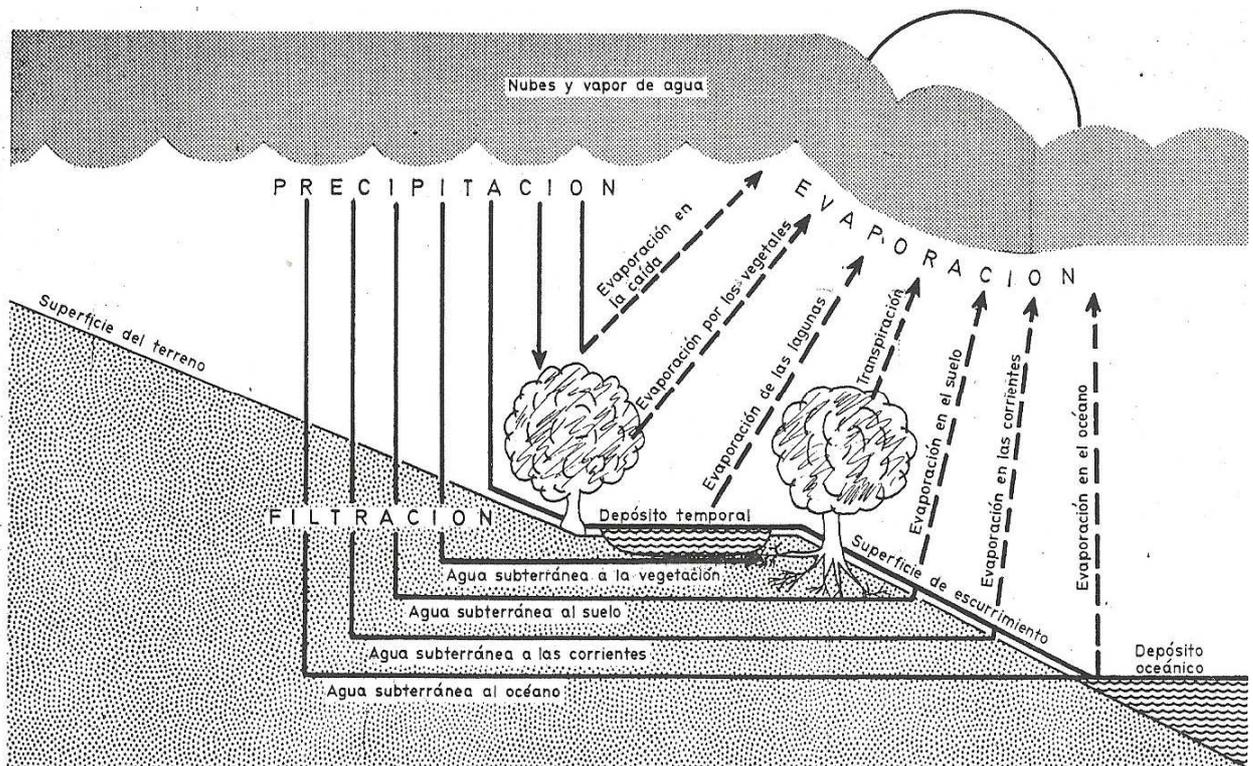


Figura (1) Ciclo hidrológico<sup>5</sup>

## 1.2 Fuentes de abastecimiento de agua y limitaciones para el consumo humano y en la perforación de pozos petroleros

Es de vital importancia conocer las fuentes de abastecimiento de agua para saber de dónde se podrá obtener el recurso cuando se necesite, teniendo en cuenta de donde proviene para conocer sus limitantes para su uso, podemos decir que el origen de la contaminación del agua se puede dividir en tres: Contaminación biológica: que por lo general produce microorganismos como bacterias y protozoarios. Contaminación física: La cual es producto de desechos sólidos que se

<sup>5</sup> American Water Works Association. Agua, su calidad y tratamiento. Centro regional de ayuda técnica, Agencia para el desarrollo Internacional (AID), México, 1968



---

vierten en las aguas como envases, plásticos y tierra y la contaminación química: se produce por metales pesados, detergentes, fertilizantes y plaguicidas.

### **Lluvia y Nieve**

El vapor de agua condensado en nubes o precipitado en forma de lluvia o nieve es prácticamente puro en altitudes muy grandes. A medida que caen, la lluvia y la nieve absorben oxígeno, dióxido de carbono y otros gases del aire, así como polvo humos y vapores. La lluvia o la nieve recogen también las bacterias y las esporas vegetales que se encuentran en el aire.

En general, la cantidad de esas impurezas es pequeña; mayor al principio de la precipitación y menor al final. La lluvia y la nieve que caen en las ciudades; y después de una sequía o en una región árida contiene más partículas de polvo que durante la temporada de lluvias o en un lugar sujeto a muchas precipitaciones. Generalmente estas impurezas tienen poco significado sanitario.

El agua de lluvia es blanda, saturada de oxígeno, pero insípida y un poco corrosiva. Con excepción de muy pocos lugares, como las Bermudas, y algunas casas aisladas en otras áreas, el agua de lluvia no se emplea para consumo doméstico. En los sitios donde se usa, su calidad esencial depende de la limpieza de la zona de recolección y de los sistemas de almacenamiento y distribución. Debido a su parcial dureza y corrosividad no debe entrar en contacto con tuberías o recipientes de plomo.

### **Agua de superficie**

Cuando la lluvia cae sobre la tierra, una parte corre al océano, a las corrientes de agua, lagunas o lagos. La nieve se evapora hasta cierto punto, pero en climas templados permanece casi en su totalidad para fundirse y correr en la primavera, contribuyendo con eso a las inundaciones en esta época del año.

En las regiones montañosas, la nieve, en las partes más elevadas, se funde lentamente con el tiempo caluroso y de esa manera mantiene las corrientes de agua y afecta en el verano la calidad y la cantidad.

La calidad del agua tomada de una fuente de superficie depende del carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de la extensión y naturaleza del desarrollo realizado por el hombre, de la época del año y de las condiciones del tiempo. La calidad del agua de las corrientes es generalmente más variable y menos satisfactoria que la de las lagunas y lagos. El agua de regiones calcáreas es más dura, pero menos corrosiva, que el agua de regiones graníticas. Las fuentes de superficie en zonas muy pobladas están afectadas por las aguas de alcantarilla y desperdicios industriales.



---

## **Corrientes de agua**

La formación de corrientes de agua se debe a los escurrimientos producidos por precipitaciones directas, que han corrido sobre la superficie de la tierra, al resbalamiento de lagos y pantanos y a la filtración del agua a través de la tierra de las regiones montañosas hacia los valles. La proporción del flujo de esas fuentes varía de una temporada a otra, según la geología y el desarrollo de la cuenca.

Durante los periodos de grandes precipitaciones, de nieve fundida e inundaciones, el caudal de las corrientes consta principalmente de agua de superficie. En esas temporadas el agua puede ser lodosa, relativamente blanda y con alto contenido de bacterias.

Durante grandes inundaciones, la dilución puede ser tal que el agua es menos lodosa y su contenido de bacterias menor que en aguas de inundaciones de magnitud moderada. En tiempos de sequía, el agua de las corrientes contiene una proporción relativamente grande de agua de subsuelo, por lo cual es más dura que en otras temporadas. Las corrientes sujetas a polución por el hombre o sus actividades pueden volverse sumamente defectuosas debido a la sobrecarga con materia orgánica putrescible. Finalmente, entre el caudal máximo y el mínimo puede haber importantes variaciones de calidad.

La calidad y clase de los aluviones de superficie llevados en las corrientes dependen del carácter del material de la superficie, de la inclinación de los declives del valle, del área y tipo de los bosques, pantanos, de la calidad y clase de cultivo. Los suelos arcillosos producen corrientes lodosas y las tierras pantanosas dan notable color al agua. Las pendientes con fuerte declive provocan corrientes rápidas cuyo resultado es la erosión y un cambio en la calidad del agua por el arrastre de limo. Por otra parte, los bosques retardan el escurrimiento y tienden a igualar el caudal de la corriente. Las otras condiciones siendo iguales, los escurrimientos que provienen de áreas con árboles de hojas caedizas son más subidos de color que los que provienen de áreas con árboles siempre verdes. Los escurrimientos que atraviesan tierras de cultivo llevan limo y partículas de fertilizantes, mientras que los escurrimientos de pastizales llevan estiércol y otros desechos orgánicos. En el otoño, mucha vegetación muerta es llevada por el viento o los escurrimientos en las corrientes de agua. Por lo tanto, es evidente que aún las corrientes de cuencas relativamente poco pobladas llevan considerable "polución natural".

Los minerales solubles de las corrientes proceden no sólo de los escurrimientos que absorben estas substancias en la superficie del suelo, sino también en la disolución del agua subterránea de estos minerales durante la percolación a través de la tierra. Estos minerales solubles aumentan la alcalinidad y la dureza del agua según las proporciones relativas del agua subterránea y del agua de superficie y el carácter de la formación geológica.

## **Lagunas y lagos naturales**

El agua que llega a las lagunas y a los lagos es la de las corrientes tributarias. En estos sitios de agua relativamente quieta, los notables cambios en la calidad se deben a las fuerzas de autopurificación. El grado y el carácter de estos cambios dependen del volumen del cuerpo de



agua en relación con su área de drenaje, de su forma y de las corrientes de aire. Un largo almacenamiento permite la sedimentación de las materias en suspensión, la aclaración del color y la remoción de bacterias. Por lo tanto, las aguas almacenadas son generalmente de calidad mucho más uniforme que las aguas tomadas directamente de las corrientes.

La acción de las olas produce aguas turbias en la orilla, y en algunos casos el crecimiento de organismos microscópicos puede ser considerable en estas aguas. En los grandes lagos, la mayor parte de la polución ocurre a lo largo de las orillas en la proximidad de los grandes centros de población. Las corrientes inducidas por los vientos, las avenidas de las corrientes tributarias y los témpanos de hielo pueden llevar la contaminación a muchos kilómetros en estos lagos. Generalmente, en los lagos grandes, la dilución y la autopurificación aseguran la buena calidad del agua que se encuentra lejos de las orillas, a menos que se produzca una contaminación localizada y pasajera debida al movimiento de los barcos.

En lagos más chicos, la autopurificación es generalmente menos completa que en los grandes. Además, la acción de corto circuito, que implica un flujo continuo de agua con menos del abasto normal, es un factor mayor. En pequeñas lagunas se produce, en particular, el crecimiento de algas. Y en los estados norteños, las lagunas y los pequeños lagos sufren unos “transtornos” de primavera y de otoño que revuelven temporalmente los sedimentos del fondo.

### **Embalses**

Los embalses, formados con diques a través de los valles cortados por corrientes, están sujetos a las mismas condiciones que las lagunas y los lagos naturales. Cuando se constituyeron los primeros depósitos, se arrancaba toda la vegetación del fondo y se quitaba la capa superficial de la tierra para evitar los efectos de la descomposición de las materias orgánicas. En los métodos más recientes se omite la remoción de la tierra y se confía en la elección del punto de admisión y en el tratamiento para asegurar la calidad satisfactoria del agua.

Normalmente, la mejor calidad de agua se encontrará a una profundidad mediana. El agua de la parte superior es propensa a desarrollar algas. El agua del fondo puede tener un alto contenido de dióxido de carbono, hierro, manganeso, y a veces, sulfuro de hidrógeno. En lagos y embalses profundos, el agua del fondo permanece fría durante todo el año porque se produce una zona permanente de relativa estancación a profundidades debajo de seis metros aproximadamente.

### **Agua subterránea**

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se filtra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas.

Algunas de estas sustancias son fácilmente solubles en agua. Otras, como las que causan alcalinidad y la dureza, son solubles en agua que contiene dióxido de carbono absorbido del aire o de las materias orgánicas en descomposición en la tierra. La descomposición de materias orgánicas quita también el oxígeno disuelto del agua que se filtra a través de ellas. Esta agua,



exenta de oxígeno y con un alto contenido de dióxido de carbono, disuelve el hierro y el manganeso del suelo.

En general, las aguas subterráneas de recarga son claras, frías, sin color y más duras que el agua de superficie en la región en la cual se encuentran. En formaciones calizas, las aguas subterráneas son muy duras, propensas a formar depósitos en las tuberías de agua, y son relativamente no corrosivas. En las formaciones graníticas las aguas subterráneas son blandas, con bajo contenido de minerales disueltos, un contenido relativamente alto de dióxido de carbono libre y son muy corrosivas. Con respecto a las bacterias, las aguas subterráneas son mucho mejores que las aguas de superficie, salvo en los lugares donde existe la contaminación subterránea. Aunque las variaciones de la extracción en los pozos pueden provocar cambios en la calidad del agua, las aguas subterráneas pueden provocar cambios en la calidad del agua, las aguas subterráneas tienen, en general, una calidad uniforme.

La temperatura del agua subterránea entre los 3 y 15 m debajo de la superficie equivale a la temperatura media atmosférica del lugar. Pasando los 15 m, la temperatura aumenta más o menos 1°C por cada 10 m de profundidad. La temperatura de las aguas subterráneas permanece bastante constante durante todo el año.

### **Manantiales**

El agua subterránea que corre en la parte superior de un estrato impermeable puede salir a la superficie en formas de manantial. Esto sucede generalmente cuando el estrato impermeable aflora debajo de una extensión elevada de material permeable.

Normalmente, la cantidad de agua que se obtiene de manantiales es limitada y por lo tanto, este modo de almacenamiento se aprovecha solamente para pequeñas poblaciones.

### **Pozos someros y galerías de filtración**

Los pozos someros son los que se forman en depósitos superficiales de material permeable encima de un estrato impermeable. Hay pozos someros de gran diámetro abiertos por excavación y los hay de pequeño diámetro abiertos por perforaciones y utilizado mediante tubería. Generalmente se extrae el agua por aspiración. El limitado descenso de nivel aprovechable reduce el tamaño del área de donde proviene el agua subterránea. Por lo tanto, la calidad del agua proveniente de un suelo de poca profundidad se determinará principalmente por el carácter de la zona vecina de captación. Los pozos someros debidamente protegidos con material permeable satisfactorio producirán agua de buena calidad.

Las galerías de filtración, como los pozos someros, se forman en capas someras de terreno, infiltradas con agua y cerca de corrientes o pantanos. En general, el agua proveniente de estas galerías tiene los mismos caracteres que la de los pozos someros de la región. A veces, su rendimiento aumenta inundando zonas de material permeable en su vecindad, técnica que puede modificar considerablemente el carácter del agua de galería.



## **Pozos profundos**

Los pozos profundos se perforan según los estratos de la región. Frecuentemente atraviesan capas impermeables antes de alcanzar el estrato acuífero deseado. Al igual que los pozos someros, las aguas provenientes de pozos profundos tienen los caracteres determinados por la naturaleza de la superficie de captación y las formaciones geológicas atravesadas por el agua.

Generalmente, el terreno de captación para pozos profundos es bastante extenso. Esto significa que el agua subterránea recorrerá largas distancias y tendrá amplio contacto con las formaciones rocosas y con la tierra.

Las aguas de pozos profundos son generalmente limpias y sin color, pero, contienen frecuentemente hierro o manganeso, o ambos.

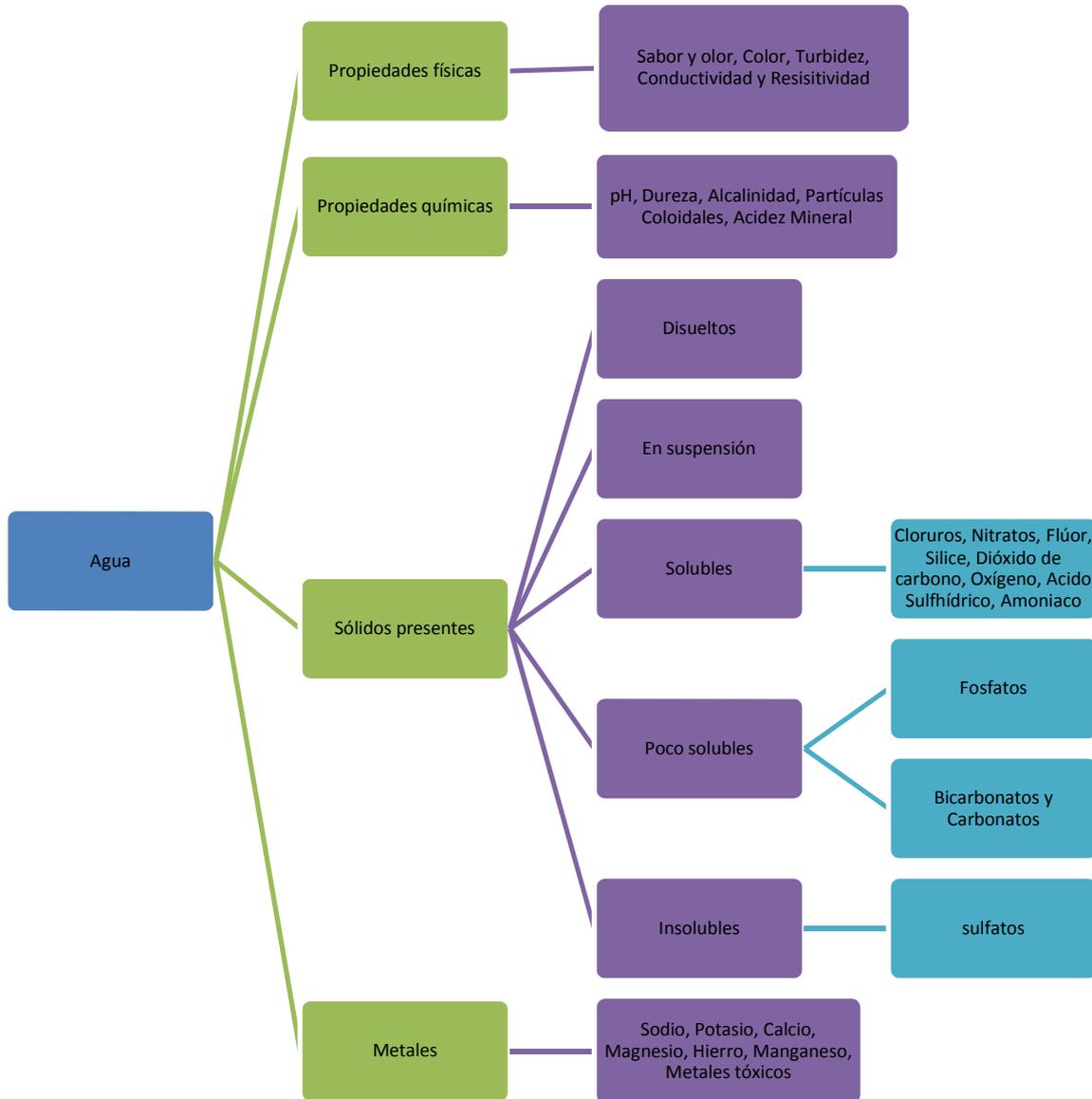
### **Limitaciones para el consumo humano y en la perforación de pozos petroleros**

Así como el agua para consumo humano debe cumplir ciertas características de calidad podemos decir que en la elaboración de fluidos de control como es el caso de los fluidos de perforación se requiere de cierto tipo de agua para que los materiales que lo integran impartan al fluido propiedades para que se realicen funciones específicas, mismas que más adelante se describirán; como en el caso de uno los mayores que integran los fluidos de perforación como son las arcillas

Uno de los mayores componentes como las arcillas montmorillonitas que se hidratan e incrementan su volumen en un medio acuoso el cual no debe contener acidez ni presencia de contenido de calcio y magnesio, para que le imparta propiedades y funciones específicas llevándose a cabo la operación de perforación, en caso de uso de agua de mar se debe prehidratar.

En el siguiente diagrama se muestra una síntesis de las limitaciones del agua.

**Diagrama (1)** *Limitaciones del agua*



**Diagrama (1)** Limitaciones del agua



---

## **Sabor y Olor**

El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tiene un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 p.p.m. de ión cloro, gusto salado y amargo con más de 450 p.p.m. de ión sulfato. El  $\text{CO}_2$  libre le da un gusto picante. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables.

## **Color**

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se pueden atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en algunas aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. El agua pura sólo es azulada en grandes espesores. En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia del hierro puede darle un color rojizo, y la del magnesio un color negro. El color afecta estéticamente la potabilidad de las aguas y se refleja también en la confianza que puede dar para su uso en la industria. Según el origen del color de las aguas, pueden ser utilizados diversos tratamientos para la eliminación de contaminantes.

## **Turbidez**

La turbidez es la dificultad del agua para pasar la luz debido a los materiales insolubles en suspensión de carácter coloidal o partículas muy finas, que se presentan prácticamente en las aguas superficiales. Son difíciles de detectar y filtrar, pueden dar lugar a depósitos de sedimentos en la conducción del agua a equipos de procesos. Además interfiere con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua.

## **Conductividad y Resistividad**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, sólo en caso de la presencia de iones debido a las impurezas presentes. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad. Para llevar a cabo la medición de esta propiedad en un pozo, se debe realizar mediante un sistema o un arreglo de electrodos que se introducen en el pozo, actuando el lodo como un medio conductor que liga los electrodos de las formaciones, por lo mencionado anteriormente, estos registros sólo pueden ser tomados en agujero descubierto y que se encuentren llenos de lodo o fluido de control que sea relativamente



conductor, los valores de resistividad que normalmente podemos encontrar varían del orden de 0.5 hasta 500 Ohms  $m^2/m$ <sup>6</sup>

## **pH**

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno, y se define como  $pH = \log 1/H^+$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos de la calidad del agua. La mayoría de las aguas dulces tienen un pH entre 6 y 8.

## **Dureza**

La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disuelto. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato de calcio. En función del pH y de la alcalinidad, una dureza del agua por encima de 200 mg/l aproximadamente puede provocar la formación de incrustaciones, sobre todo en las calefacciones. Las aguas blandas con una dureza menor que 100 mg/l aproximadamente tienen una capacidad de amortiguación baja y pueden ser más corrosivas para las tuberías

Varios estudios epidemiológicos y analíticos han demostrado la existencia de una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua de consumo y las enfermedades cardiovasculares. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza. No obstante, el grado de dureza del agua puede afectar a su aceptabilidad por parte del consumidor en lo que refiere al sabor y a la formación de incrustaciones

Para disminuir la dureza del agua se puede someter a un tratamiento de ablandamiento o desmineralización.

## **Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar los ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato  $HCO_3^-$  y carbonato  $CO_3^{2-}$ , pero también los fosfatos y los carbonatos silícicos u otros ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir  $CO_2$  en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado. También pueden producir espumas, provocar arrastre de sólidos con el vapor y fragmentar el acero de las tuberías.

La alcalinidad cáustica o de hidróxidos no existe en las aguas naturales, pero sí en aguas suavizadas mediante el proceso de cal o sosa, y, a veces, en aguas tratadas para prevenir la corrosión. No se ha logrado evidenciar un factor nocivo que se deba a la presencia de una alcalinidad cáustica moderada en aguas potables. Las aguas alcalinas tienen frecuentemente un sabor insípido, pero se necesitan de 50 a 100 p.p.m de alcalinidad cáustica para que se note un sabor bien definido a cal.

---

<sup>6</sup> Guillermo Guillot Merchand. Manual Básico para la interpretación de Registros Geofísicos de Pozo. Tesis. UNAM. México, D.F. Julio 2010.



Se recomienda que la alcalinidad total producida por el uso de cal y sosa en el proceso de ablandamiento no debe sobrepasar la dureza en más de 35 p.p.m.; que en las aguas tratadas químicamente la alcalinidad por la fenolftaleína no sea mayor de 15 p.p.m. más 0.4 veces la alcalinidad total, y, que la alcalinidad normal por carbonato no exceda las 120 p.p.m. Estos límites tienen una relación con el pH. Implican que la alcalinidad total no debe exceder las 400 p.p.m en aguas con un pH entre 8.0 y 9.6 y que no debe exceder de 160 p.p.m en aguas con un pH de 10.6

### **Partículas Coloidales**

Es una medida del material en suspensión en el agua, que por su tamaño alrededor de los  $10^{-4}$  ó  $10^{-5}$  mm, se comporta como una solución verdadera, por ejemplo, atraviesa el papel filtro. Los coloides pueden ser de origen orgánico, como macromoléculas de origen vegetal, o inorgánico, como óxidos de hierro y manganeso.

### **Acidez Mineral**

La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas dulces presenten acidez, sin embargo las aguas superficiales pueden estar contaminadas con ácidos de drenajes mineros o industriales. Pueden afectar a las tuberías u otros equipos hidráulicos por corrosión.

### **Sólidos**

#### **Disueltos**

Los sólidos disueltos o salinidad total es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por la evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. En los usos industriales la concentración elevada de sólidos disueltos puede ser objetable por la posible interferencia en los procesos de fabricación.

#### **En Suspensión**

Los sólidos en suspensión son una medida de los sólidos sedimentables no disueltos que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, tuberías, equipos, etc.

### **Solubles**

#### **Cloruros**

El ión cloruro  $\text{Cl}^-$ , forma sales en general muy solubles. Suele ir asociado al ión sodio,  $\text{Na}^+$ , especialmente en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 p.p.m. de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores. Las aguas salobres pueden tener centenares e incluso millares de p.p.m. El agua de mar contiene alrededor de 20,000 p.p.m.



El contenido de cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial en el uso industrial. A partir de 300 p.p.m. el agua empieza a adquirir un sabor salado, además que las aguas con cloruros suelen ser muy corrosivas debido al tamaño reducido del ión que puede penetrar en la capa protectora en la interface óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural.

El límite de de 250 p.p.m. para la concentración de cloruros en el agua potable fue establecido en 1925 y se ha mantenido hasta nuestros días. Para algunas personas, esta cantidad comunica un sabor salado al agua; otras personas afirman poder distinguir un contenido de cloruro de 100 p.p.m. Por otro lado, algunas aguas con 700 p.p.m. de cloruro no tienen sabor salado notable. Estas variaciones dependen de la combinación de cloruros con otras sales, y que los cloruros en asociación con la dureza pueden impartir sabor cuando su contenido combinado es aproximadamente 400 p.p.m. Las reacciones fisiológicas ocasionadas por los cloruros no se presentan hasta que se alcanzan concentraciones mucho más altas, próximas a las del agua de mar.

### **Nitratos**

El ión Nitrato,  $\text{NO}_3^-$ , forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno o amoníaco. Las aguas dulces contienen menos de 10 p.p.m., y el agua de mar hasta 1 p.p.m., pero las aguas contaminadas, principalmente por fertilizantes, pueden llegar a varios centenares de p.p.m.

Las concentraciones elevadas en las aguas pueden ser la causa de cianosis infantil, debido a que el jugo gástrico de los niños menores de 6 meses tienen el valor de pH de 4.0 o más, son más sensibles a esta enfermedad. Esta reducción del nitrato no ocurre en el intestino de niños más grandes y de adultos, porque la mayor acidez de su jugo gástrico permite la absorción de los nitratos como son y en esta forma no producen cambios en la hemoglobina de la sangre.

Industrialmente no tienen efectos muy negativos, e incluso es útil para controlar la fragilidad del material a temperaturas elevadas.

### **Flúor**

El flúor, como elemento puede encontrarse en los gases volcánicos; como fluorita o espato flúor se presenta en las rocas sedimentarias; o bien existe en forma de criolita en las rocas ígneas. Por lo tanto, los compuestos de flúor se hallan generalmente en cantidad mayor en las aguas del subsuelo que en las aguas superficiales. Las concentraciones varían desde indicios hasta un máximo de 30 p.p.m. aunque, por lo general, la concentración máxima es del orden de 4.0 p.p.m.

La presencia de Flúor con un contenido que sobre pase de 1.5 p.p.m. en el agua potable causa un esmalte moteado en los dientes conocido como Fluorosis dental. Sin embargo existen otros efectos tóxicos que ocurren con cantidades mucho más altas, puesto que se necesitan aproximadamente 230 mg de fluoruro de sodio como dosis subletal y 4,000 mg como dosis letal.



Suponiendo un promedio de consumo diario de 2 litros por persona, la dosis subletal exigiría 115 p.p.m. y la dosis mortal 2,000 p.p.m.; es decir, 2g de fluoruro de sodio por litro de agua.

Estudios epidemiológicos han demostrado de modo convincente que el Fluoruro es esencial para el sano desarrollo de los dientes, siempre y cuando se encuentre dentro de un rango de entre 0.6 p.p.m. y 1.5 p.p.m., motivo por el cual se añade al agua.

### **Sílice**

El sílice,  $S_1O_2$ , se encuentra en el agua disuelto como ácido silícico,  $H_4SiO_4$ , y como material coloidal. Contribuye ligeramente la alcalinidad del agua. Las aguas naturales contienen entre 1 y 40 p.p.m., pudiendo llegar a 100 p.p.m., especialmente si son aguas bicarbonatadas sódicas.

### **Dióxido de Carbono**

El dióxido de carbono,  $CO_2$ , es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua. Las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1,500 p.p.m., pero en las aguas superficiales se sitúa entre 1 y 30 p.p.m. Un exceso de  $CO_2$  ↑ hace al agua corrosiva, factor importante en las líneas de transporte de vapor y condensados.

### **Oxígeno**

El oxígeno,  $O_2$ , por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización o precipitación de iones que presentan una forma insoluble. Es el parámetro más importante en el control de la calidad de las aguas superficiales en causas naturales. Provoca la corrosión de los metales, de líneas y de equipos; pero su ausencia puede representar la presencia de otros gases objetables tales como el metano o el sulfhídrico

La demanda bioquímica de oxígeno,  $DBO_5$ , mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios. En general se refiere al oxígeno consumido en 5 días y se mide en ppm de  $O_2$ . Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm. Un contenido superior es indicativo de contaminación. En las aguas superficiales su contenido es muy variable. En las aguas domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En las aguas residuales industriales su concentración es totalmente dependiente del proceso de fabricación pudiendo alcanzar vario miles de ppm.

La demanda química de oxígeno,  $DQO$ , es un parámetro que mide la cantidad de sustancias disueltas o en suspensión susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa



---

en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ). **Tabla (1)** Escala de la clasificación de la calidad del agua,  $\text{DBO}_5$ <sup>7</sup>

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. La reproductividad de los resultados y su interpretación no pueden ser satisfechos más que en condiciones de metodología de ensayo bien definida y estrictamente respetada

La tabla muestra según la CONAGUA<sup>8</sup>, Indicadores de Calidad del agua. **Tabla (2)** Escala de la clasificación de la calidad del agua, DQO

### Ácido Sulfhídrico

El ácido sulfhídrico,  $\text{H}_2\text{S}$ , es un gas venenoso que se distingue por su olor a azufre, es causa de corrosión en tuberías y equipos.

### Amoniaco

El amoniaco,  $\text{NH}_3$ , es un indicador de contaminación del agua y en forma no iónica es tóxico para los peces. Al clorar el agua a partir del amoniaco se forman cloraminas, también tóxicas. Provoca la corrosión de las aleaciones de cobre y zinc formando un complejo soluble.

---

<sup>7</sup> Situación de la calidad del agua en México. Dulce

<sup>8</sup> CONAGUA. Subdirección General Técnica. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. Jefatura de Proyecto de Estudios de Calidad del Agua.



Escala de clasificación de calidad del agua Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>		
Criterio	Clasificación	Color
DBO <sub>5</sub> ≤ 3	<b>EXCELENTE.</b> No contaminada	Azul
3 < DBO <sub>5</sub> ≤ 6	<b>BUENA CALIDAD.</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
6 < DBO <sub>5</sub> ≤ 30	<b>ACEPTABLE.</b> Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
30 < DBO <sub>5</sub> ≤ 120	<b>CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DBO <sub>5</sub> > 120	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

**Tabla (1)** Escala de la clasificación de la calidad del agua, DBO<sub>5</sub>



Escala de clasificación de la calidad del agua Demanda Química de Oxígeno, DQO		
Criterio	Clasificación	Color
DQO≤10	<b>EXCELENTE.</b> No contaminada	Azul
10<DQO≤20	<b>BUENA CALIDAD.</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
20<DQO≤40	<b>ACEPTABLE.</b> Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
40<DQO≤200	<b>CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DQO>200	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

**Tabla (2)** Escala de la clasificación de la calidad del agua, DQO

### Poco solubles

#### Fosfatos

Los iones fosfato,  $PO_4^{-3}$ , en general son sales muy poco solubles y precipitan fácilmente como fosfato de calcio. Al responder a un ácido débil, contribuye a la alcalinidad de las aguas. En general no se encuentra en el agua más de 1p.p.m.

Se usan polifosfatos para prevenir la corrosión, estabilizar el agua ablandada o evitar la precipitación del hierro. Los polifosfatos en las concentraciones encontradas en el tratamiento del agua no tienen importancia fisiológica. Los fosfatos fomentan como sustancia nutritiva la proliferación de organismos en las tuberías principales.



---

---

## Bicarbonatos y Carbonatos

Existe una estrecha relación entre los iones bicarbonato,  $\text{HCO}_3^-$ , carbonato  $\text{CO}_3$ , el  $\text{CO}_2$  gas y el  $\text{CO}_2$  disuelto. A su vez el equilibrio está afectado por el pH. Estos iones contribuyen fundamentalmente a la alcalinidad del agua. Los carbonatos precipitan fácilmente en presencia de iones de calcio. Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 p.p.m. de ión bicarbonato, y si el pH es inferior a 8.3, no hay prácticamente ion bicarbonato. El agua de mar contiene unos 100 p.p.m. de ion bicarbonato.

### Insolubles

#### Sulfatos

El ión sulfato,  $\text{SO}_4^-$ , corresponde a las sales que van moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 p.p.m., y el agua de mar cerca de 3,000 p.p.m. Aunque en agua pura se satura a unos 1,500 p.p.m., como  $\text{CaSO}_4$ , la presencia de otras sales aumenta su solubilidad.

El radical sulfato tiene importancia sólo en aguas mineralizadas a tal grado que producen un efecto laxante, por lo que se sugiere una cantidad máxima de 250 p.p.m. de sulfato en el agua. El agua potable con sulfatos por encima y por debajo de este límite se emplea comúnmente sin que produzca efectos desagradables.

### Metales alcalinos presentes

#### Sodio

El ión sodio,  $\text{Na}^+$ , corresponde a las sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. Suele estar asociado al ion cloruro. El contenido en aguas dulces suele estar entre 1 y 150 p.p.m. El agua de mar contiene cerca de 11,000 p.p.m. Es un indicador potencial de corrosión.

El contenido de sodio en alimentos y el agua puede ser nocivo para los que sufren de alta presión sanguínea, por lo que, 200 mg de sodio pueden tener importancia. No existen datos analíticos que demuestren la presencia de esta cantidad de sodio en las aguas naturales, salvo los manantiales de agua altamente mineralizada que no se utilizan para el abastecimiento público de agua.

#### Potasio

El ión potasio,  $\text{K}^+$ , corresponde a las sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. Las aguas dulces no suelen contener más de 10 p.p.m. y el agua de mar contiene alrededor de 400 p.p.m., por lo cual es un catión mucho menos significativo que el sodio.



---

### Calcio

El ión calcio,  $\text{Ca}^+$ , forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ . Contribuye muy especialmente a la dureza del agua y a la formación de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 p.p.m., o incluso 600 p.p.m. El agua de mar contiene unas 400 p.p.m. El calcio junto con el Magnesio, es el componente que produce la dureza del agua. La cantidad de calcio en las aguas más duras es mucho menor que la necesaria para satisfacer la demanda nacional diaria, ya que el cuerpo humano requiere aproximadamente de 0.7 y 1.0 gramo calcio al día, cantidad que en su mayor parte se aprovecha al consumir los alimentos normales. Por otro lado, las investigaciones y estadísticas demográficas han demostrado en forma convincente que no existe ninguna relación entre la dureza del agua potable y las enfermedades de las arterias, de los riñones y de la vejiga.

### Magnesio

El ión magnesio,  $\text{Mg}^+$ , tiene propiedades muy similares a las del ión calcio, pero sus sales son, en general, más solubles de precipitar, por el contrario, su hidróxido  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , es menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 p.p.m., y el agua de mar contiene unos 1300 p.p.m. Cuando el contenido de agua alcanza varios centenares le da sabor amargo y propiedades laxantes, que pueden afectar su potabilidad. Contribuye a la dureza del agua y a pH alcalino. Puede formar incrustaciones de hidróxido.

El magnesio es uno de los minerales que producen la dureza del agua. Aunque no se sabe que cause efectos tóxicos, el magnesio ha sido restringido a una concentración máxima permisible de 125 p.p.m., esto se basa en que a altas concentraciones, las sales de magnesio tienen un efecto laxante. El cuerpo humano desarrolla una tolerancia que anula este efecto y permite el aprovechamiento de estas aguas para el servicio público. En los transportes públicos, sin embargo, los viajeros que normalmente consumen aguas de bajo contenido mineral y no han podido desarrollar la tolerancia necesaria se exponen a sufrir trastornos y, por lo tanto, es necesario tener un control.

### Hierro

El ión hierro se puede presentar como ión ferroso,  $\text{Fe}^+$ , o en la forma más oxidada de ión férrico,  $\text{Fe}^{+3}$ , la estabilidad de las distintas formas químicas depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras del medio, composición de la solución, presencia de materias orgánicas acomplejantes, etc. La presencia del hierro puede afectar la potabilidad del agua, y en general, es un inconveniente en aguas industriales por dar lugar a depósitos, incrustaciones y corrosión. La concentración de hierro no debe exceder 0.3 p.p.m. debido a que tiene efectos sobre la salud. El agua potable con hierro en cantidad de varias partes por millón es consumida sin efectos fisiológicos nocivos. Sin embargo, las aguas que contienen hierro no son aceptadas debido a su apariencia rojiza y a su capacidad de tinción.



---

## Manganeso

El ión manganeso se comporta en muchos aspectos de forma similar al hierro. Además de actuar con 2 y 3 cargas positivas, actúa con valencia +4 formando en MnO insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1p.p.m., adquiriendo entonces pH ácido.

No se han observado efectos fisiológicos después del consumo de aguas que contengan las concentraciones de manganeso ordinario en aguas naturales. El límite es de 0.3 p.p.m., este control se establece debido a que los compuestos de este elemento dejan manchas sanitarias y en la ropa de lavandería, también fomenta el crecimiento de ciertos organismos nocivos en la arena de filtración y en los sistemas de distribución de agua.

## Metales Tóxicos

Los más comunes son el arsénico, el cadmio, el plomo, el cromo, el bario y el selenio. Todos ellos deben ser estrictamente controlados en el origen de la contaminación.

El arsénico puede encontrarse en las aguas provenientes de manantiales termales calientes o en los desperdicios de ciertas industrias, en algunos países el límite permisible para el contenido de arsénico es de 0.05 p.p.m. Actualmente no hay indicios de muerte por envenenamiento debida al consumo de agua con contenido de arsénico, puesto que el arsénico se presenta en indicios, si es que los hay.

El plomo no está presente en las aguas naturales y tampoco lo estaría en las aguas de abastecimiento si no fuese por la contaminación directa por el arsénico de plomo y otras sales de este metal. Se conocen casos de envenenamiento por plomo debido a su contaminación, el único problema real de contaminación con el plomo ocurre cuando las aguas corrosivas permanecen durante cierto tiempo en tuberías de plomo o entran en contacto con materiales que contienen plomo empleadas en juntas roscadas de tuberías. Debido a que el agua que se saca primero de estas tuberías tiene un contenido de plomo mucho mayor que la que se saca después, es evidente que grandes errores de muestreo son posibles al determinar el contenido de plomo en el agua, por lo que para realizar esta medición primero se deja correr por algún tiempo el agua antes de tomar las muestras.

La cantidad permisible de plomo al día es alrededor de 0.3 mg y 1.0 mg al día. Debe considerarse, que el envenenamiento causado por plomo es normalmente el resultado del efecto tóxico acumulativo de plomo después de un consumo prolongado de agua que contenga concentraciones pequeñas, pero importantes del mineral, más que provocado por la presencia ocasional de concentraciones que excedan el límite de 0.1 p.p.m. El envenenamiento comprobado debido a la presencia de plomo en el agua potable es poco frecuente, y únicamente ha tenido alguna importancia en lugares donde el agua es muy blanda, especialmente donde esas aguas muestran algún color y contienen concentraciones importantes de dióxido de carbono.



El cromo no se encuentra en aguas naturales, pero suele hallarse en las aguas que están expuestas a la contaminación por los desperdicios de industrias de cromado o por filtración del agua de enfriamiento de sistemas de aire acondicionado tratada con cromatos, se sabe también, que las sales de cromo hexavalente son irritantes, por lo tanto no se debe agregar cromo a las aguas potables en ninguna circunstancia. Las normas para el control de aguas potables señalan un límite de 0.05 p.p.m a la cantidad de cromo hexavalente e el agua de abastecimiento para que ésta sea aprobada.

Generalmente el selenio no se halla en las aguas en cantidad significativa, pero en ciertas regiones donde el suelo lo contiene en cantidad apreciable, puede aparecer también en las aguas potables. Hasta en estas regiones, sin embargo, los efectos tóxicos del selenio proceden, primariamente, del consumo de carne, huevos, leche y hortalizas más que del agua potable, pero la posibilidad de que el agua contenga dosis tóxicas del metal ha hecho necesaria la inclusión de un límite máximo de selenio de 0.05 p.p.m.

#### **Los organismos que se encuentran en el agua**

Es importante destacar la presencia de organismos presentes en el agua, tales como las bacterias debido que la presencia de ellas puede tener implicaciones a la salud al ingerirse agua sin el debido tratamiento. En los trabajos de perforación usaremos agua libre de sólidos, pues los sólidos contenidos en ella pueden generar la aparición de bacterias nocivas.

Las bacterias, que son las más numerosas de todas las especies vivientes, son los organismos que más frecuentemente se encuentran en el agua, abundan en las aguas de superficie que reciben en forma intermitente grandes aportaciones de tierra y de desperdicios; y, aunque sea en cantidades relativamente pequeñas, se encuentran en aguas subterráneas que han atravesado capas de subsuelo. A estos organismos les siguen, en cuanto a su abundancia en el agua, las algas y protozoarios flagelados parecidos a plantas que tampoco escasean en las aguas de lluvia de superficie o subterráneas. Finalmente, entre los demás organismos que se encuentran a veces en el agua, están los protozoos patógenos, los virus, las larvas de trematodos, las cercarías de esquistosomas, los anquilostomas, las tenias y lombrices. Estos organismos así como muchas variedades de bacterias, tienen una importancia directa desde el punto de vista sanitario, puesto que pueden ser agentes de enfermedad. En general, la presencia de un número excesivo de bacterias o de organismos patógenos, convierte el agua en peligrosa, mientras que la presencia de algas y de protozoarios flagelados le da solamente mal sabor.

Las bacterias que se encuentran en el agua pueden agruparse en tres clases: bacterias naturales del agua, bacterias del suelo y bacterias de origen intestinal o de aguas negras.



---

## Clases de bacterias que se encuentran en el agua

Las bacterias que se encuentran en el agua pueden agruparse en tres clases:

- Bacterias “naturales”
- Bacterias del suelo
- Bacterias de origen intestinal o de aguas negras

### Bacterias naturales del agua

Las bacterias naturales del agua más comunes son las del género *Pseudomonas* que producen un pigmento soluble en agua, a la que dan fluorescencia verde, y generalmente licúan la gelatina, y varias especies son de los géneros *Serratia*, *Flavobacterium* y *Chromobacterium*, que producen pigmentos insolubles en el agua de color rojo, amarillo, anaranjado y violeta, respectivamente. Estas bacterias se consideran generalmente no patógenas para el hombre. Debe notarse, sin embargo, que algunas de ellas, en especial las formas fluorescentes que sobreviven frecuentemente a los procesos de purificación, causan sabores extraños en productos alimenticios y tienen, por lo tanto, importancia desde el punto de vista industrial.

### Bacterias del suelo

En época de inundaciones y después de lluvias intensas se encuentran en las aguas de superficie muchas bacterias provenientes del suelo. Normalmente, estas bacterias no viven mucho tiempo fuera de su ambiente natural y su eliminación del agua es activa por la sedimentación de la turbiedad que acompaña su presencia. Entre las especies más comunes se encuentran las del género *Bacillus*, grampositivo, aeróbico, productor de esporas, que no produce gas derivado de hidratos de carbono, y el subgénero *Aerobacillus*, con esporas, facultativo, gramnegativo, que produce gas. El *Sphaerotilus dichotomus*, una de las bacterias en forma de filamento, suele encontrarse en aguas limpias y en aguas estancadas. Generalmente, estos organismos no tienen importancia sanitaria en el agua, pero la presencia de bacterias del subgénero *Aerobacillus* puede producir confusión al hacer análisis presuntivos y completos en busca de bacterias coliformes.

Otro grupo de bacterias que se encuentra especialmente en las aguas subterráneas puede clasificarse como plaga. La especie más conocida de este grupo es *Crenothrix polyspora*, una de las llamadas bacterias ferruginosas, que oxida ciertas formas de hierro y ocasiona depósitos de óxido de este metal en las tuberías de agua. Las bacterias magnesianas, que oxidan los compuestos de magnesio a dióxido de magnesio, se encuentran también en las aguas subterráneas.

Aunque estas formas no son patógenas, son de gran interés en las plantas de tratamiento de agua, pues son la causa de frecuentes quejas por la coloración del agua potable y por formar depósitos que obstruyen las cañerías.



---

## Bacterias de origen intestinal o de aguas negras

Entre los microorganismos encontrados comúnmente en el intestino del hombre y de los animales y que, por lo tanto, podrían considerarse como indicadores posibles de contaminación, se pueden enumerar los siguientes: bacilos del género *Clostridium*, grampositivos, formadores de esporas, anaeróbicos y productores de gas; los cocos del género *Streptococcus*, grampositivos; los bacilos grampositivos no esporógenos del género *Escherichia*, *Aerobacter* y *Proteus*, que, generalmente, se consideran como no patógenos, y los géneros *Salmonella* y *Shigella*, que incluyen muchas especies patógenas: finalmente, los espirilos y las formas submicroscópicas, como los virus y los bacteriófagos.

El *Clostridium sporogenes* no es patógeno. Está muy esparcido en la naturaleza, se encuentra en el intestino del hombre y de los animales, en las aguas cloacales, en el polvo, la leche, los alimentos desecados como el trigo, el maíz, y en el suelo. El *Clostridium perfringens* y las especies afines son patógenos en el hombre si encuentran su paso hacia los tejidos como por ejemplo, a través de heridas; pero aunque algunos casos fueron sospechosos de estar asociados con la enteritis, no se ha podido comprobar que sean causa de enfermedad transmitida por el agua. Las bacterias grampositivas, gasógenas y anaeróbicas no son indicadores satisfactorios de posibilidad o de grado de contaminación debido a su amplia distribución y resistencia al tratamiento.

La presencia del *Streptococcus feacalis* en el agua es indicio de reciente polución, ya que estos organismos mueren muy rápidamente fuera del cuerpo humano. Por esta misma razón, su ausencia no puede considerarse como base de seguridad. Entre las bacterias gramnegativas que no forman esporas y se encuentran frecuentemente en el agua se pueden citar las del género *Proteus*, son móviles, licuan la gelatina, producen gas a partir de la dextrosa y de la sacarosa, pero no de la lactosa. Los organismos del género *Proteus* son asociados con los disturbios intestinales. Sin embargo, no se ha encontrado una prueba definitiva de que ellos causen esas enfermedades.

Las bacterias de los géneros *Escherichia* y *Aerobacter* son bacilos no esporógenos, móviles o inmóviles, y sólo unas cuantas especies licuan gelatina. Se diferencian de la mayor parte de las variedades del género *Proteus* y de las bacterias patógenas intestinales por su facultad de producir gas a partir de la lactosa.

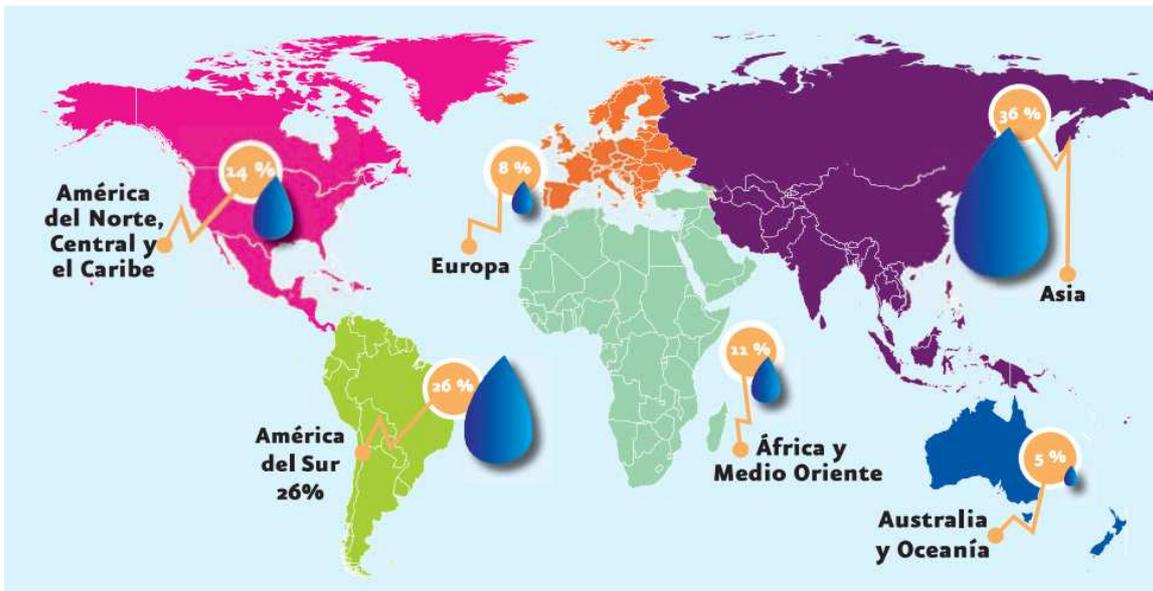
Hay muchas especies de *Salmonella* (bacilos cortos, gramnegativos, que producen gas a partir de la dextrosa y del manitol, pero no de la lactosa ni de la sacarosa), pero sólo unas pocas, en particular la *Salmonella paratyphi* (paratifoidea A) y la *Salmonella schottmuelleri* (paratifoidea B) causan fiebres entéricas transmitidas por el agua; otras especies son causa de intoxicación por alimentos.

### 1.3 Distribución y disponibilidad del Agua

La cantidad de agua que tenemos en el planeta no varía. Sin embargo, el lugar, la forma y la calidad en que se encuentra sí presentan variaciones. A nivel local no disponemos de una cantidad fija. Hay promedios históricos, pero desgraciadamente cada vez es menos el agua disponible tanto en cantidad como en calidad, debido a la sobreexplotación, el cambio climático, la contaminación y la deforestación que hemos provocado.

#### Distribución de agua en el mundo

En la actualidad, más de 80 países, que albergan a 40% de la población mundial, sufren una escasez grave de agua. Las condiciones pueden llegar a empeorar en los próximos 50 años, en la medida que aumente la población y que el cambio climático global perturbe los regímenes de precipitaciones. **Figura (2) Distribución de agua en el mundo**<sup>9</sup>



**Figura (2) Distribución de agua en el mundo**

<sup>9</sup>

[http://web2.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/05\\_serie/yelmedioambiente/4\\_agua\\_v08.pdf.10/09/2013](http://web2.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/05_serie/yelmedioambiente/4_agua_v08.pdf.10/09/2013)



### Distribución del agua en México

En todo el país llueve aproximadamente 1,511 km<sup>2</sup> de agua cada año, lo que equivale a una alberca de un kilómetro de profundidad del tamaño del distrito federal. Alrededor de 72%, 1,084 Km<sup>2</sup>, de esa agua de lluvia regresara a la atmosfera por evapotranspiración.

En su mayor parte, México es un país árido o semiárido, 56%, es decir, los estados norteños abarcan 50% de la superficie y ahí llueve sólo 25% del total. En la parte angosta del país, que ocupa 27.5% del territorio, cae la mayoría del agua de lluvia, 49.6%, en los estados del sur-sureste: Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco.

Entre los estados más secos está Baja California, donde sólo llueve un promedio de 199 mm por año. En México llueve cada vez menos; de 1994 a la fecha ha llovido menos del promedio histórico

Alrededor de 67% de las lluvias en México caen entre Junio y Septiembre. Si promediamos toda la lluvia, el país recibe cerca de 711 mm por año, lo cual no es mucho comparado con otros países, 1mm de lluvia= 1 litro por m<sup>2</sup>. En la clasificación mundial, México está considerado como un país con disponibilidad baja de agua. Los países más ricos en disponibilidad de agua son Canadá y Brasil. **Tabla (3) Recursos de agua dulce**<sup>10</sup>

Recursos de agua dulce	
Región	Metros cúbicos anuales (Promedio per cápita)
Oceanía	53,711
Sudamérica	36,988
África Central	20,889
América del Norte	16,801
Europa del Este	14,818
Europa Occidente	1,771
Asia Central y del Sur	1,465
Africa del Sur	1,289
Africa del Norte	495

**Tabla (3) Recursos de agua dulce**

<sup>10</sup> El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C., Presencia Ciudadana Mexicana A.C. México, D.F. 2006.



---

## **Capítulo 2**

### **Clasificación del Agua de acuerdo a su origen y limitaciones para su empleo**

Se ha realizado la siguiente clasificación del agua para tener en claro las diferencias en cuanto al contenido de sólidos y contaminantes disueltos se refiere, en 5 tipos que considero de mayor importancia en este trabajo.

#### **2.1 Dulce**

Se define por lo general al agua dulce como aquella que contiene una cantidad de sales disueltas inferior a 100 p.p.m. de ión  $\text{Cl}^-$ . La dulzura del agua depende del uso al que se destine. El agua para beber de acuerdo con el Servicio de Salud Pública de Estados Unidos, debe tener no más de 1000 p.p.m. de ión  $\text{Cl}^+$  y, preferiblemente, menos de 500 p.p.m. de éste. En general, la salinidad del agua destinada al riego agrícola no debe ser superior a 1200 p.p.m. de cloro, dependiendo en último extremo la concentración permisible del contenido salino específico. Para algunos usos industriales, como pueden ser la refrigeración y el lavado, puede utilizarse agua de mar no depurada; por otra parte, en las calderas de alta presión puede ser necesario utilizar agua casi pura, con un contenido salino no mayor a 2 o 3 p.p.m.

El agua dulce puede contener una gran variedad de impurezas, características del ciclo hidrológico que haya experimentado previamente. Esta puede llegar directamente a la industria desde una captación independiente o a través de una red de suministro que probablemente entrega el agua con algunas modificaciones en su composición original. Cuando las impurezas representan elementos nocivos para el uso al que va a ser destinada el agua, las denominamos contaminantes. Por lo tanto, es el grado de cantidad requerido el que determina si una impureza es contaminante o no.



## 2.2 Mar

La sal común, el cloruro de sodio, provoca la mayor parte de la salinidad del agua marina. No obstante el agua de mar también contiene pequeñas cantidades de muchas otras sales; en total, unos 57 elementos disueltos.

La salinidad de las aguas susceptibles de depuración es muy variable. Los océanos presentan una notable uniformidad, con 35,000 p.p.m., de sales disueltas como término medio. Pero en el Golfo Pérsico asciende a casi 40,000 p.p.m. La siguiente Tabla muestra las sales en el agua de mar.

**Tabla (5) Sales más abundantes en el agua de mar<sup>11</sup>**

Sales más abundantes en el agua de mar		
	Sales	Partes por millón de agua de mar (aproximadamente)
	Cloruro de sodio NaCl	27,213
	Cloruro de magnesio MgCl <sub>2</sub>	3,807
	Sulfuro de magnesio MgSO <sub>4</sub>	1,658
	Sulfato de calcio CaSO <sub>4</sub>	1,260
	Sulfato de potasio K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	863
	Carbonato de calcio CaCO <sub>3</sub>	123
	Bromuro de magnesio MgBr <sub>2</sub>	76
	<b>Total</b>	<b>35,000</b>
	<b>Iones</b>	
<b>Cationes</b>	Sodio Na-	10,722
	Magnesio Mg+	1,297
	Calcio Ca+	417
	Potasio K+	362
	<b>Total</b>	<b>12,818</b>
<b>Aniones</b>	Cloro Cr	19,337
	Sulfato SO <sub>4</sub> +	2,705
	Bicarbonato HCO <sub>3</sub> -	97
	Bromo Br	66
	Carbonato CO <sub>3</sub> +	7
	<b>Total</b>	<b>22,212</b>

**Tabla (5) Sales más abundantes en el agua de mar**

<sup>11</sup> CARRILES, Díaz Joram. Abastecimiento de Agua dulce para Operaciones de Perforación y Terminación de Pozos en Plataformas Marinas a partir de la Desalinización del Agua de Mar. Tesis. FI UNAM. México, D.F. Enero de 2001.



---

### 2.3 Potable

La temperatura óptima del agua es de 5 a 15°C. El agua demasiado fría puede ser perjudicial a la salud y demasiado caliente no resulta refrescante, debe ser clara, es decir, transparente. El agua limpia es incolora y si se presenta en capas gruesas tiene un color azulado. Si su color es amarillento o marrón, el aspecto resulta desagradable, pero puede considerarse inocua desde el punto de vista sanitario.

El agua potable debe contener escasas bacterias. Un agua potable de buena calidad presenta solamente unidades de gérmenes por centímetro cúbico, pero pueden administrarse hasta decenas, el límite admisible es de 100 bacterias por centímetro cúbico de agua.

Sin embargo, en ningún caso deben existir bacterias patógenas, es decir, el límite antes enunciado se refiere a bacterias inocuas. La *Bacterium Coli* no debe encontrarse en el agua de ninguna manera. Se trata de una bacteria generalmente inofensiva, pero como vive en el intestino humano y de los animales, su presencia en el agua indica que ha recibido una contaminación de tipo fecal. Por lo tanto, si aparece *Bacterium Coli* ha de contarse con la existencia de productores de enfermedades contagiosas. Las personas y animales atacados por gérmenes patógenos no suelen presentar síntomas de enfermedad hasta después de un cierto periodo de incubación.

Los países tienen legislaciones relacionadas con las aguas de consumo humano, las que sirven para determinar las responsabilidades de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable o agua de bebida, de su monitoreo y de su control.

Los países cuentan así mismo, con reglamentaciones que definen qué se entiende por agua potable: Es decir los patrones que debe seguir para que la misma sea inocua para la salud humana. Dentro de esas reglamentaciones hay una muy específica que se denomina la "Norma de Calidad de Agua Potable", allí se establece qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles que no signifiquen riesgo para la salud.

No existe ningún país que no considere como herramienta principal para la concentración y actualización periódica de sus Normas Nacionales, a las Guías de la Organización Mundial de la Salud, OMS, para la Calidad del Agua Potable.

En el capítulo 4 se abordaran las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes a las especificaciones requeridas para que el agua sea Potable.



## 2.4 Residual

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga.

La infiltración se produce cuando se sitúan conductos de alcantarillado por debajo del nivel freático o cuando el agua de lluvia se filtra hasta el nivel de la tubería. Esto no es deseable, ya que impone una mayor carga de trabajo al tendido general y a la planta depuradora. La cantidad de agua de lluvia que habrá que drenar dependerá de la pluviosidad así como de las escorrentías o rendimiento de la cuenca de drenaje.

Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales entre el 60 y el 80% de sus requerimientos diarios totales, y el resto se usa para lavar coches y regar jardines, así como en procesos como el enlatado y embotellado de alimentos.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos, **Tabla (6) Sólidos Suspendidos Totales, SST<sup>12</sup>**. La demanda bioquímica de oxígeno, (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno, DQO y el pH. Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

La cantidad de agua de lluvia que se drena dependerá de la pluviosidad, así como de la cuenca de drenaje. Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales de entre 60 y 80% de sus requerimientos diarios totales.

---

<sup>12</sup> Situación de la calidad del agua en México, Dulce



Sólidos Suspendidos Totales, SST		
Criterio	Clasificación	Color
SST≤25	<b>EXCELENTE.</b> Clase de excepción, muy buena calidad	Azul
25<SST≤75	<b>BUENA CALIDAD.</b> Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones rurales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto	Verde
75<SST≤150	<b>ACEPTABLE.</b> Aguas superficiales con indicios de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	Amarillo
150<SST≤400	<b>CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Aguas con alto contenido de material suspendido	Naranja
SST>400	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	Rojo

**Tabla (6)** Sólidos Suspendidos Totales, SST.



## 2.5 Tratada

El agua tratada, puede ser procedente de aguas grises, de aguas residuales o de agua de lluvia, puede utilizarse para cualquier aplicación en la que se necesite agua dulce limpia que no sea potable. Es decir, en ámbito doméstico, puede utilizarse para cualquier cosa que no sea beber, cocinar o lavarse. De estos consumos, beber o cocinar requiere de muy pocos litros al día, sólo la higiene personal consume cantidades elevadas de agua potable, y es precisamente esta agua la que se aprovecha para su tratamiento y posterior reutilización.

En México se trata alrededor de 5% del agua. Esto se debe a que el mayor consumo de agua es para uso agrícola, en el cual no se cuenta con plantas de tratamiento y el agua se descarga cruda, es decir, sin ningún tratamiento previo. Sin embargo, tampoco las ciudades y parques industriales cuentan con plantas necesarias para el tratamiento.

Monterrey tiene la capacidad para tratar 100% del agua que utiliza. En la ciudad de México sólo se trata aproximadamente 20% del agua.

## 2.6 De formación o fósil

La mayoría de las rocas del yacimiento se forman en el agua, a través de la depositación de granos de rocas o detritus biológicos. El agua que queda atrapada en los poros a medida que los sedimentos se compactan y se unen entre sí se denomina agua connata; el agua presente en el yacimiento en el momento en que es penetrado por una barrena de perforación se denomina agua de formación. El agua connata reacciona con la roca hasta un punto que depende de la temperatura, la presión, la composición del agua y la mineralogía de la formación.

El agua connata varía con el ambiente depositacional. En los sedimentos marinos se trata de agua de mar. En los depósitos lacustres y fluviales, se trata de agua dulce. En los depósitos evaporíticos, el agua intersticial corresponde a una salmuera de alta salinidad. **Tabla (18) Tipos de Agua**

Tipo de Agua	Salinidad, partes por mil
Agua fluvial promedio	0,11
Agua de mar	35
Sistemas evaporíticos	35 a 350
Agua de formación	7 a 270

**Tabla (18) Tipos de Agua<sup>13</sup>**

<sup>13</sup> MEDHAT, Abdou. Andrew Carnegie. et.al. Valor del agua de formación. Volumen 23 No.1. Oilfield Review.



El agua también puede contener gases disueltos, tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), el nitrógeno, los ácidos orgánicos, las bacterias sulfato-reductoras, los sólidos disueltos y suspendidos.

Las propiedades del agua, tales como el pH y la concentración iónica, son algunos de los factores que controlan o inciden en las interacciones entre el agua y la roca.

La producción imprevista de agua, especialmente si contiene impurezas indeseadas, puede reducir significativamente el valor de un activo hidrocarburífero. Además puede acelerar el daño de los equipos e incrementar los costos de manipulación y eliminación del agua. Pero la captura de una cierta cantidad de agua de formación es también de utilidad, ya que las propiedades del agua contienen información que puede ser utilizada para incidir significativamente en la rentabilidad de los campos petroleros.

La cuantificación de la química del agua asiste en la comprensión de la conectividad del yacimiento y en la caracterización de las zonas de transición en los carbonatos, por lo que ayuda en la estimación de la extensión de los yacimientos. Las propiedades del agua de formación varían entre un yacimiento u otro, y dentro de un mismo yacimiento.

El agua connata puede estar emulsionada con el crudo o no y ocupa los espacios entre los sedimentos que quedaron sobre los fondos de océanos y lagos antiguos, y pudo haber quedado allí desde la desaparición de éstos o simplemente haber fluido hasta allí como agua de infiltración en sistemas hidrológicos. Esta agua con el tiempo ha disuelto minerales adicionales, ha dejado algunos en rocas o ha sido diluida durante los largos periodos de tiempo geológico.

Las características de las aguas de formación, dependen de la naturaleza química de las formaciones geológicas por las que ha atravesado. Contienen principalmente sales minerales, combinaciones orgánicas, gases disueltos, entre otros.

El volumen total de agua en la hidrosfera es cercano a  $1338 \times 10^{18} \text{ m}^3$  el cual, el 0,6% es agua subterránea y menos del 50 % de la misma está alojada debajo de los 1000 m. el 15% de las aguas subterráneas está presente en las rocas sedimentarias,  $1,3 \times 10^{18} \text{ l}$ , el 97% es agua dulce superficial.

Las trampas de los hidrocarburos son las rocas sedimentarias que constituyen el 5% de la litosfera distribuida:

- 70-80% como lutitas
- 8-10% como areniscas
- 5-14% como calcitas.

El Ph de un ambiente es un factor importante para determinar si ciertos minerales precipitaran o no desde el agua. La deposición de Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) es típica de un pH superior a 7,8. La Sílice se deposita solo en ambientes ácidos. El Eh o potencial redox, oxidoreducción, es una medida de la



---

intensidad relativa de las condiciones oxidantes o reductoras de un sistema acuoso. De una manera general, los sedimentos se depositan sea en condiciones oxidantes, aeróbicas, o reductoras, anaeróbicas, con Eh positivo o negativo respectivamente. La depositación de Hematita ( $O_3Fe_2$ ) indica un ambiente muy oxidante, la de Pirita ( $FeS_2$ ) muy reductor. La presencia de Siderita ( $FeCO_3$ ) indica un ambiente intermedio.



## Capítulo 3

### Fluidos de control

El agua es la sustancia más importante en el desarrollo de fluidos de perforación debido a que es el mayor componente en volumen. Incluso en lodos base aceite o espuma, el agua sigue jugando un papel importante en la elaboración de fluidos de perforación, implícita en la construcción de pozos petroleros debido a que sus características afectan cada paso de la operación de perforación desde su inicio hasta su terminación, la disponibilidad y contenido químico del agua debe ser considerado en la etapa de planeación.

En trabajos de Perforación de Pozos no se puede usar cualquier tipo de agua debido a que puede tener agentes contaminantes que impidan que los materiales y aditivos químicos desarrollen las propiedades requeridas para su aplicación, además se debe buscar un agua que no tenga agentes tóxicos no patógenos.

Cada proceso industrial requiere de unas características especiales del agua, exenta de determinados contaminantes. Para eliminarlos, el agua se somete a unos tratamientos de purificación; que a su vez, los procesos industriales introducen en el agua nuevos contaminantes. Las técnicas de tratamiento de agua cubren una amplia variedad de procesos de purificación. Si el agua fuese siempre pura, o siempre tuviese una composición constante de los contaminantes presentes, su acondicionamiento para un uso industrial sería simple y uniforme. Sin embargo, esté no es el caso, y la variabilidad de las impurezas, junto con las alternativas diferentes de tratamiento que podemos elegir, cada una óptima para las condiciones determinadas, requieren una evaluación experta, basada en conocimientos especializados.

#### 3.1 Definición

Los primeros lodos de perforación, datan de 1914, cuando se definió como lodo: “A una mezcla de cualquier arcilla, la cual quedaba suspendida en el agua por cierto tiempo”<sup>14</sup>. Sin embargo es importante mencionar que debe ser un material aciloso hidratable, que incrementa su volumen proporcionado la dispersión y suspensión de partículas sólidas procedentes de las formaciones perforadas e inherentes al fluido.

Según la API en general un fluido de control se define como: “Un fluido circulante, usado en la perforación rotatoria para ejecutar alguna o todas las funciones requeridas”<sup>15</sup>.

El fluido de perforación, también llamado lodo de perforación, tuvo que reunir ciertas condiciones, para el desarrollo de propiedades para poder llevar a cabo las operaciones de perforación,

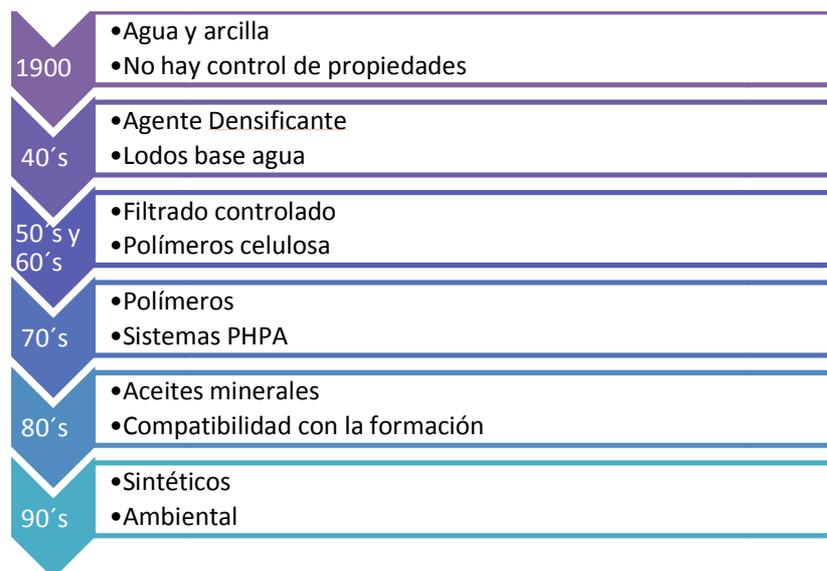
<sup>14</sup> Garaicochea, Francisco. Et.al. Apuntes de terminación de Pozos.UNAM.FI. División de ciencias de la tierra, depto. de explotación de petróleo

<sup>15</sup> Garaicochea, Francisco. Et.al. Apuntes de terminación de Pozos.UNAM.FI. División de ciencias de la tierra, depto. de explotación de petróleo



transporte y suspensión de partículas procedentes de las formaciones perforadas e inherentes al fluido, lo que hizo posible realizar las operaciones de perforación de forma segura y económica.

A continuación se muestra una tabla que muestra el desarrollo de los fluidos de perforación a través del tiempo hasta llegar a los fluidos que hoy en día se conocen como sintéticos y ambientales. **Figura (4) Cronología de los fluidos de perforación.**



**Figura (4).** Cronología de los fluidos de perforación

### 3.2 Clasificación de acuerdo a las etapas operativas

De acuerdo a las etapas operativas que se requieren en la construcción de un pozo petrolero

- Perforación
- Terminación
- Cementación
- Reparación

La realización de estas etapas requiere del conocimiento Geológico y Litológico predominante en cada una de estas y su problemática para seleccionar los fluidos de control a usar para que con propiedades específicas pueda llevar a cabo su función. Muestra el **Diagrama (2) La clasificación de los fluidos de control de acuerdo a las etapas operativas y el medio portador.** El **Diagrama (3) muestra la clasificación de acuerdo al comportamiento Reológico Tixotrópico.**



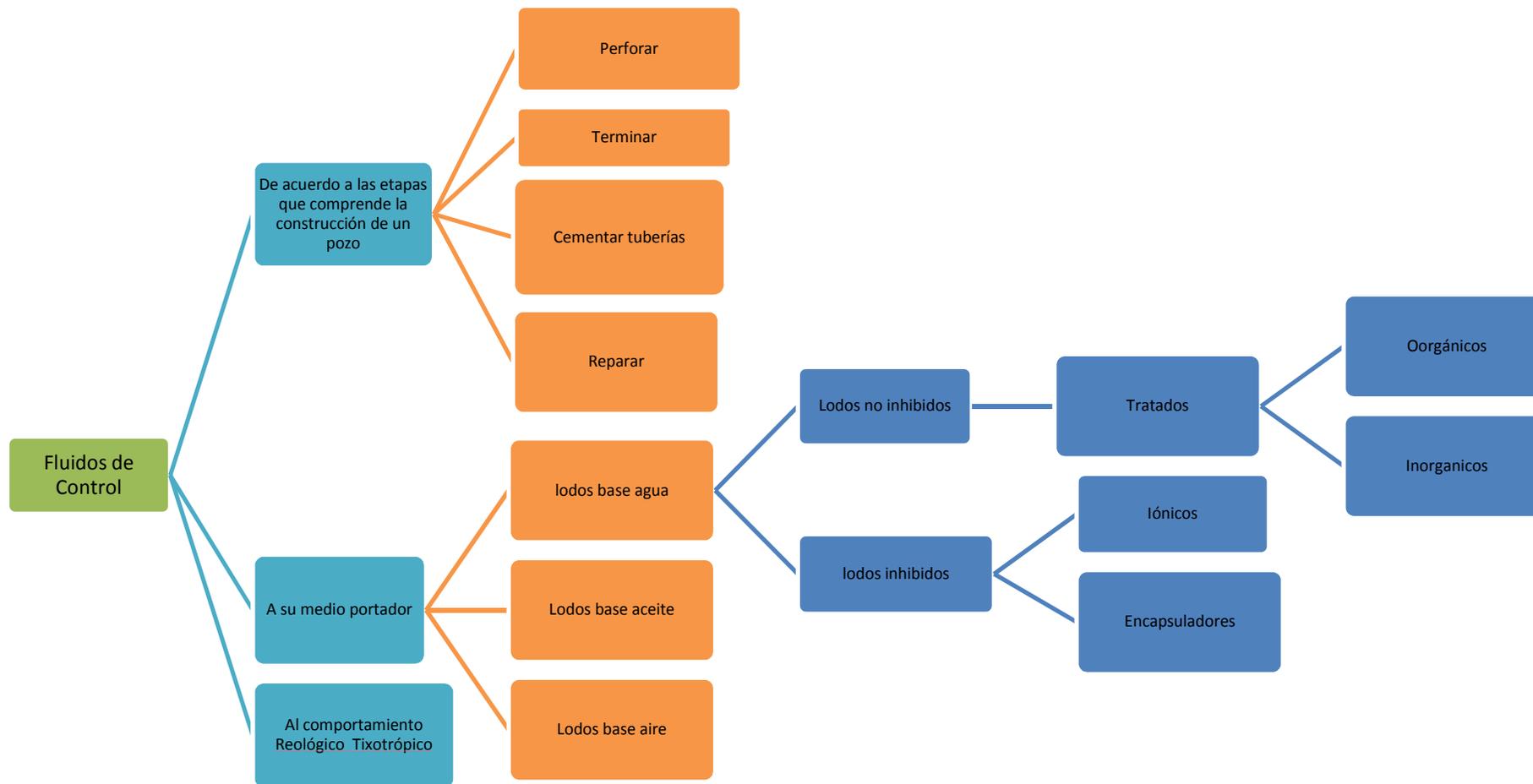
---

Este trabajo se abocará a la primera etapa operativa que consiste en la perforación donde se emplean fluidos base acuosa, este fluido permite el contacto con las formaciones. Durante la terminación el contacto será con el yacimiento productor y durante la cementación se irán aislando las formaciones por medio de tuberías que integran un ducto que comunique el yacimiento productor con la superficie.

Es importante mencionar el comportamiento Reológico-Tixotrópico de un fluido debido a que forma una estructura gelatinosa que detiene a los recortes al detenerse el equipo de perforación y gracias a esta gelatinosidad al volver a circular se rompe la estructura con los sólidos aún suspendidos y vuelve a fluir normalmente. Esta magnitud y tipo de resistencia de estas estructuras tipo gel que forman el fluido de control, son de importancia para lograr la suspensión de recortes y material densificante, cuando el fluido se encuentra en reposo. Si los geles no tienen suficiente resistencia, los recortes y el material densificante se precipitarían al fondo. Pero una resistencia excesiva de estas estructuras también puede causar peligrosas complicaciones.

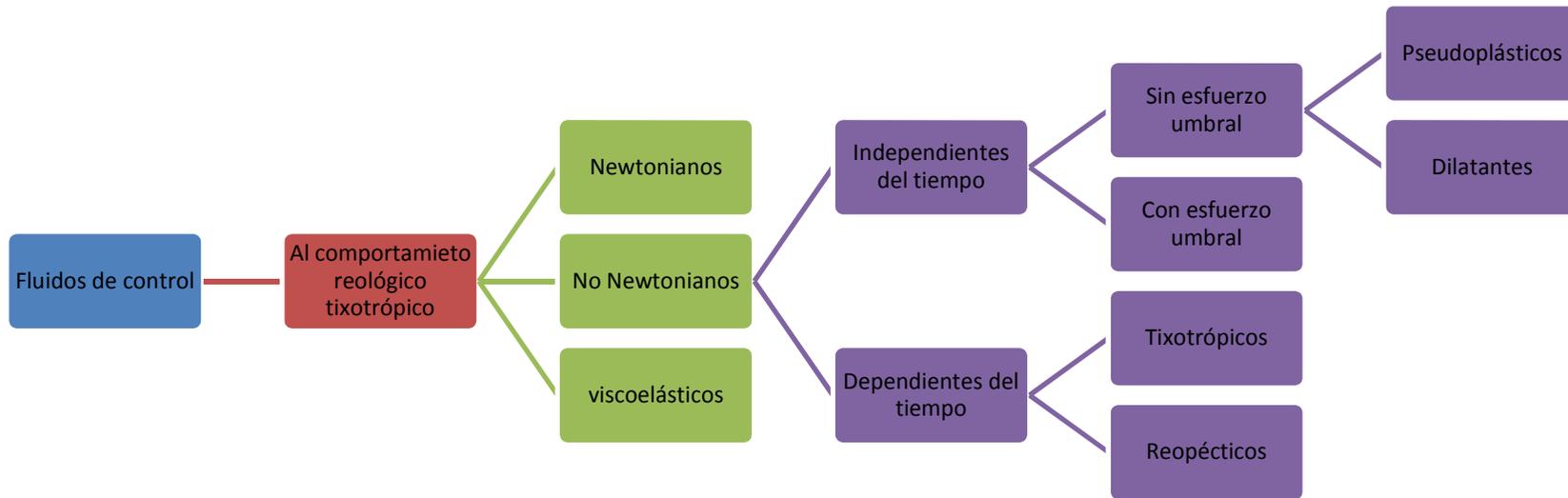


**Diagrama (2)** La clasificación de los fluidos de control de acuerdo a las etapas operativas y el medio portador





**Diagrama (3)** muestra la clasificación de acuerdo al comportamiento Reológico Tixotrópico.





---

Este trabajo se abocará a la primera etapa operativa que consiste en la perforación donde se emplean fluidos base acuosa, este fluido permite el contacto con las formaciones. Durante la terminación el contacto será con el yacimiento productor y durante la cementación se irán aislando las formaciones por medio de tuberías que integran un ducto que comunique el yacimiento productor con la superficie.

### **Funciones básica de un fluido de perforación**

#### **Transporte y/o acarreo de los recortes a la superficie**

El fluido de perforación deberá proporcionar un flujo adecuado para crear una turbulencia en el fondo, remoción de partículas de los dientes de la barrena, levantándolos para ser acarreados hacia la superficie. Estas funciones se diseñan mediante el diseño de un programa hidráulico basado en las propiedades Reológicas y Tixotrópicas.

#### **Suspensión de los recortes**

La suspensión de los recortes se efectúa principalmente cuando la circulación del fluido es detenido por un tiempo determinado debido a los cambios de diámetro de las tuberías y barrenas o por causas de inestabilidad del pozo ocasionadas por la depositación de sólidos la deficiente suspensión de sólidos propiciará el atrapamiento de las tuberías de perforación.

#### **Control de las presiones de la formación**

La densidad del fluido de perforación es importante ya que debe contener cualquier presión de la formación y evitar el flujo de los fluidos de la formación hacia el pozo, además de dar cierto margen de seguridad mientras se efectúa un viaje de tubería, una mala programación de la densidad propiciará el fracturamiento de las formaciones propiciando perdidas de circulación.

#### **Evitar la filtración**

Es importante que los fluidos de perforación tengan el mínimo filtrado posible, para minimizar la invasión a la formación. Debe entenderse que la filtración depende de gran manera de la capacidad del fluido de formar un enjarre consistente e impermeable contra la cara del medio poroso, para controlar el filtrado.

Debe tenerse presente que la fase líquida de los fluidos de perforación contienen sustancias químicas diseñadas para cumplir los propósitos adecuados en el fluido, así, el fluido contendrá sustancias alcalinas para controlar el pH, dispersantes para evitar la agregación de las partículas sólidas, cierto porcentaje de hidrocarburos, lubricantes, y, en el caso de los fluidos emulsionados, surfactantes para mantener la estabilidad de la emulsión y para obligar a los sólidos a ser mojados por la fase de aceite. También habrá cierta cantidad de sales disueltas.



---

### **Mantener estable el agujero**

Estabilizar las paredes del pozo mientras se perfora a través de formaciones inestables. Las causas de la inestabilidad en las formaciones pueden ser numerosas y son diferentes en cada área.

Estas causas deben quedar bien definidas, para así poder formular un fluido de perforación con requerimientos físicos y químicos que permitan evitar el problema.

### **Transmisión de energía hidráulica**

Un fluido cuya viscosidad en la barrena se aproxima a la del agua, disminuirá las pérdidas de presión por fricción y aumentará la potencia hidráulica disponible a la barrena, esto se debe a que mientras más baja viscosidad tenga el fluido, menos pérdida por fricción en las paredes del pozo tendrá, ya que será más fácil el movimiento y, por lo tanto, aumentará el rendimiento de la potencia hidráulica disponible.

### **Funciones complementarias de un fluido de perforación**

#### **Evitar la fricción**

Durante la perforación se produce considerable calor debido a la intervención de sólidos y a la presencia de arena. El calor producido se transmite al fluido de perforación, el cual, por circulación, es llevado a la superficie, El fluido tiene que tener la capacidad de disipar el calor debido a la fricción de la formación con la barrena y con la sarta de perforación.

#### **Permitir la toma de registros**

Las propiedades del fluido no deben inferir con el programa de registro, deben facilitar la obtención de la información deseada. El lodo debe tener una resistividad definida para que cuando los registros se corran se pueda derivar la resistividad de la formación.

#### **Disminuir el peso de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento**

Esto se realiza por medio de un empuje ascendente que actúa en la tubería al estar sumergida en el fluido de perforación. Este empuje dependerá de la profundidad a la que se encuentra la tubería y de la densidad del fluido sustentante.

#### **Controlar la corrosión de la tubería dentro del pozo**

El fluido de perforación no debe ser corrosivo, la corrosión aumentará conforme disminuye el PH, la corrosión puede llevar a: Roturas de la tubería por chorro erosivo, fallas en la bomba de lodos, fugas en las líneas de superficie.

#### **Reducir el daño al ambiente**

Al descargar al agua que se empleó durante la perforación se debe tener cuidado para que no afecte el pH del agua donde se está descargando pues se puede alterar el ecosistema.



### Evitar el daño a formaciones productoras

El fluido utilizado para perforar la zona de producción tendrá un impacto importante en la productividad del pozo, la pérdida de producción resulta de: Arcillas hinchadas por hidratación, poros del yacimiento bloqueados con sólidos.

### Formación de enjarre

Un buen fluido de perforación debe depositar un enjarre delgado y de baja permeabilidad en la pared del pozo frente a las formaciones permeables para consolidarlas y para retardar el paso del fluido desde el agujero hacia la formación permeable, la pérdida de lodo o filtrado causará daños a la formación.

### Mantener los avances de perforación

La velocidad de perforación se ve afectada por las propiedades del lodo, la filtración y los contenidos de sólidos, que casi siempre retardan la perforación. Para tener una perforación eficiente se necesita mantener el contenido de sólidos tan bajo como sea posible. Con respecto a la filtración si se forma un enjarre rápidamente y éste es impermeable, dará como resultado un menor filtrado. Un fluido con una alta pérdida inicial de filtrado tiende a incrementar el ritmo de penetración, sin embargo un alto filtrado inicial causará un alto daño a la formación.

### 3.3 Clasificación de un fluido de control de acuerdo al medio portador, Reológico y Tixotrópico

La clasificación de los fluidos de control de acuerdo a su medio portador se puede describir como:

- Lodos base agua: dulce, salobre, saturada de sal, agua de mar
- Lodos base aceite:

Emulsiones directas: El medio portador es el agua y el disperso es el aceite. Emulsiones inversas: El medio portador es el aceite y el disperso es la salmuera.

- Lodos base aire:

Aereado: Medio portador lodo. Disperso aire.

Espuma: Medio portador es el agua, y el disperso es el aire.

Niebla: el medio portador es el aire y el medio disperso es agua.

A continuación se presenta una tabla de los componentes que integran un fluido base agua y base aceite<sup>16</sup>. **Tabla (8) Fase continua y discontinua de fluidos**

---

<sup>16</sup> Fluidos de Control .Tomo 3



<i>Medio portador. Fluido base</i>	<i>Medio disperso</i>	<i>Tipo de fluido</i>
<b>Agua: El agua integra el 60 al 90% del volumen. Como base en la formulación de un tipo de fluido</b>	Betonita, barita, dispersantes y ciertos polímeros, integran del 7 al 27% de los sólidos y el 3% de lubricantes líquidos como volumen	La fórmula de estos tipos de fluidos se conocen como base agua
<b>Aceite: El aceite integra el 40 al 70% del volumen, como base en la formulación de un tipo de fluido</b>	Las salmueras de diversas sales como calcio o sodio ocupan entre el 10 al 20% como volumen, los emulsificantes el 5% y de un 15 a un 40% lo sólidos	La fórmula de estos tipos de fluidos se conoce como base aceite

**Tabla (8)** Fase continua y discontinua de fluidos.

Los fluidos de perforación de pozos están conformados por dos fases: La continua, que es el medio portador y la dispersa o discontinua que está formada por partículas coloidales de naturaleza arcillosa y/o compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales imparten de manera idónea las condiciones operativas a las características de la formación a perforar, su variación es monitoreada de manera continua. El diseño de un fluido de control es necesario para evitar riesgos operativos, reducir costos, tiempos y maximizar la productividad del pozo. Para diseñar el fluido es necesario saber la localización, el tipo de pozo, las características geológicas, litológicas<sup>17</sup> y el tipo de perforación<sup>18</sup>

Una vez que se han analizado y considerado todas las características del pozo, se está en la posibilidad de decidir el medio portador a utilizar, puede ser agua, aceite, aire o gas.

Los aceites y gases como medios portadores no deben ser tóxicos ni inflamables, deben poseer altos puntos de ignición y ebullición. En el caso de un fluido base aceite, la fase continua es el diesel y/o aceites vegetales, sintéticos, minerales, el agua salada es la fase discontinua o dispersa. Existen fluidos que se emplean para perforar zonas o contactos litológicos que por su naturaleza, requieren de condiciones operativas especiales, como son los fluidos basados en aire, gas o espuma, conocidos como fluidos neumáticos.

Para seleccionar fluidos a emplear es necesario conocer las características geológicas, litológicas y mineralógicas de la formación, así como la interacción roca- fluido. La fase continua en un lodo

<sup>17</sup> alta presión alta temperatura, aguas profundas, horizontal

<sup>18</sup> convencional, tubería flexible



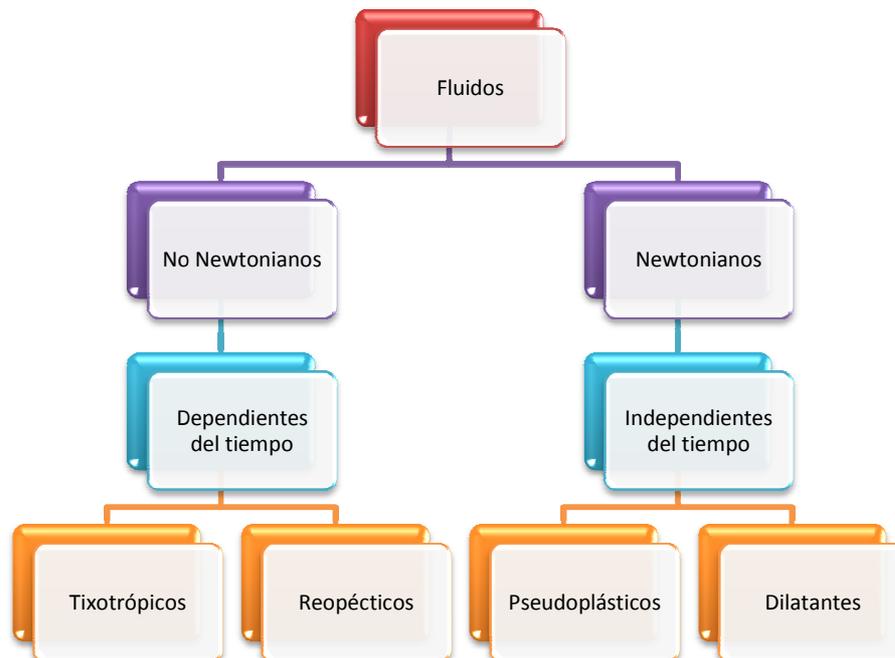
base agua es el agua. Algunos de los aditivos químicos que son sólidos se disuelven o se dispersan en la fase continua. Los sistemas de fluidos base agua se clasifican por la resistencia a los tipos de contaminantes de la formación y a sus temperaturas, debido a la incorporación de flujos como gases, sal, arcillas, yeso, líquidos y sólidos propios de la formación o de aditivos<sup>19</sup> químicos excedidos y degradados.

#### Condiciones para el desarrollo de propiedades en fluidos base acuosa y limitaciones

- Materiales sólidos finamente pulverizados y homogéneos: arcillas, materiales poliméricos, sólidos inorgánicos y orgánicos
- Medio acuoso de baja salinidad con concentraciones mínimas de calcio y magnesio
- Libre de agentes surfactantes, aceites flamables y medios ácidos
- Alcalinidad entre 9 y 10
- Respuesta de materiales y aditivos en tiempos mínimos

#### Clasificación de acuerdo a su comportamiento Reológico-Tixotrópico

El siguiente diagrama muestra la clasificación de los fluidos de acuerdo a su comportamiento Reológico-Tixotrópico

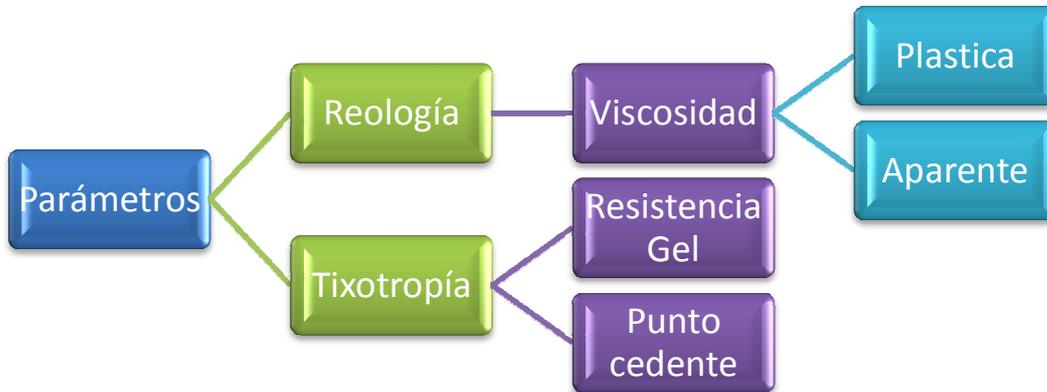


**Diagrama (4)** Clasificación de acuerdo a su comportamiento Reológico-Tixotrópico

<sup>19</sup> Sustancia que en pequeñas cantidades se añade a un producto para mejorar sus propiedades reológicas, tixotrópicas y su control mediante agentes dispersantes.



## Parámetros Reológicos y Tixotrópicos



**Diagrama (5)** Parámetros Reológicos y Tixotrópicos

### Reología

Es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia. En el caso de los fluidos de perforación la reología es el estudio de las características que definen el flujo y las propiedades gelatinizantes del mismo. Los factores afectados por la reología del fluido son: limpieza del pozo, suspensión de sólidos, estabilidad del pozo, control de sólidos, densidades equivalentes de circulación, presiones de surgencia /pistoneo.

### Viscosidad

Es la Resistencia de un fluido al movimiento, se mide rutinariamente en el campo de acuerdo al tiempo de escurrimiento del lodo utilizando el embudo Marsh.

La viscosidad la podemos clasificar en:

- ✓ Plástica: Resistencia al flujo causada por la fricción mecánica. Se ve afectada por la concentración de sólidos, tamaño y forma de los sólidos, Viscosidad de la fase fluida.
- ✓ Aparente: La viscosidad de un flujo medida a una determinada velocidad de corte y a una temperatura fija. Para que la medición de la viscosidad sea significativa, la velocidad de corte debe ser expresada o definida. También se ve influenciada por la concentración de sólidos y por el tamaño de las partículas

### Tixotropía

Es la capacidad de formar geles en medios acuosos. Los parámetros que comprende para su evaluación son la gelatinosidad inicial y después de un tiempo, así como el punto cedente. Gracias a esta propiedad un fluido de perforación puede cumplir con la función de suspender los recortes.



La Reología y Tixotropía determinan el tipo de flujo a emplear para que los fluidos de control realicen las funciones de transporte, remoción, suspensión

### Esfuerzo de Gel

Las mediciones del esfuerzo Gel denotan las propiedades tixotrópicas del lodo. Es una medida de las fuerzas de atracción de las partículas coloidales que integran los lodos de perforación bajo condiciones estáticas o de punto de cedencia. Está clasificado como geles de tipo progresivo (fuerte) o frágil (débil). Un gel progresivo comienza bajo, pero aumenta consistentemente con el tiempo; mientras que un gel frágil puede comenzar alto inicialmente pero sólo aumentar ligeramente con el tiempo. El esfuerzo de gel depende del tiempo, la temperatura y de la concentración y resistencia de las partículas en atracción.

### Punto cedente

Es la resistencia al flujo causada por la dispersión o atracción eléctrica entre los sólidos, el punto cedente se ve afectado por el tipo, concentración de sólidos y cargas asociadas, sales disueltas, se incrementa debido a arcillas y lutitas perforadas hidratables que aumentan el contenido de sólidos reactivos y por la concentración insuficiente de desfloculantes. El punto cedente es controlado por la desfloculación de las arcillas y la eliminación del ión contaminante.

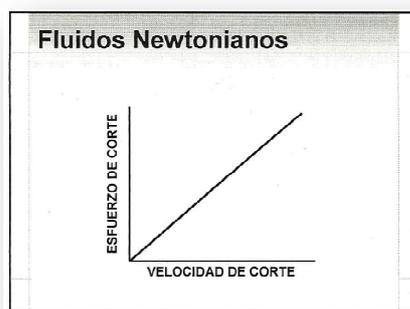
### Tipos de fluidos

- ✓ Newtonianos
- ✓ No Newtonianos

### Fluidos Newtonianos con punto de cedencia

Un fluido Newtoniano, también llamado fluido verdadero es aquel, sometido a un esfuerzo tangencial o cortante se deforma con una velocidad que es proporcional directamente al esfuerzo aplicado. Es decir, si se aplica un esfuerzo tangencial a un fluido newtoniano, este se pondrá en movimiento sin importar cuán pequeño sea el esfuerzo tangencial y se generará una cierta distribución de velocidad en el fluido. Ese esfuerzo tangencial y el gradiente de la velocidad que se produce serán directamente proporcionales, a la constante de proporcionalidad se le define como viscosidad

Los fluidos más comunes tales como el agua, el aire, la gasolina son newtonianos en condiciones normales. La **figura (5)** muestra el comportamiento de un fluido Newtoniano con punto de cedencia

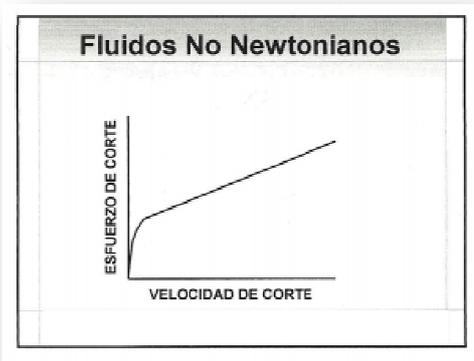


**Figura (5)** Fluidos Newtonianos



### Fluidos No Newtonianos

Los fluidos en los cuales el esfuerzo de corte no es directamente proporcional a la relación de deformación son no newtonianos. Esta definición es válida solo para materiales que tienen un esfuerzo de deformación cero. Comúnmente, los fluidos no newtonianos se clasifican con respecto a su comportamiento en el tiempo, es decir, pueden ser dependientes del tiempo o independientes del mismo. La **figura (6)** muestra el comportamiento de los fluidos No Newtonianos



**Figura (6)** Fluidos No Newtonianos



---

## **Capítulo 4**

### **Normas de calidad empleadas para la evaluación y abastecimiento de agua para el consumo humano y para las descargas de aguas residuales**

Hace tiempo, los requerimientos esenciales que debía tener el agua para poder ser potable eran sencillos: que fuera atractiva a la vista y suficientemente fría para refrescar. Durante siglos ha prevalecido la opinión general de que el agua con caracteres minerales inusitados tenía efectos fisiológicos beneficiosos cuando se empleaba para bañarse o como bebida. La exigencia de un agua “limpia” condujo a determinar el grado de suciedad de distintas aguas, es decir, su grado de limpieza, por lo que los químicos descubrieron procedimientos para hallar concentración de materias orgánicas en el agua, según las determinaciones de amoníaco libre, amoníaco albuminoide, nitritos, nitratos y valores de oxígeno consumido. Las técnicas para el examen del agua, se hacen en primer lugar para determinar su potabilidad, su seguridad y empleo industrial.

Los análisis químicos de sanidad que se han desarrollado han sido perfeccionados como medios para complementar los resultados de los exámenes bacteriológicos, en particular los correspondientes a las aguas subterráneas y las aguas de superficie de carácter desconocido. Al proporcionar toda la información necesaria, se mide el grado de purificación con los cambios de carácter químico, por lo que se puede interpretar el análisis bacteriológico. En segundo lugar, se perfeccionaron los métodos relacionados con los análisis vitales para el control efectivo de la filtración del agua. Y en tercer lugar, se idearon nuevos análisis para determinar el contenido de sustancias tóxicas y de otros componentes químicos del agua que tienen importancia sanitaria. Así, cuando se consideran las normas actuales que rigen la calidad del agua, el químico y el bacteriólogo cooperan estrechamente para lograr un mejor análisis y estudio.

#### **4.1 Agua para consumo humano**

Las características del agua que permiten designarla como “de buena calidad” dependen del uso al cual se le destina. En cuanto al consumo por el hombre, cualquiera que sea el grado de claridad o turbiedad, de dureza o suavidad, ningún agua que haya sido contaminada o expuesta a la contaminación por aguas cloacales o materias excrementicias podrán considerarse como “de buena calidad”. Así en general se acepta que el agua para fines domésticos o industriales debe ser clara, agradable al gusto, de temperatura razonable, no corrosiva ni formadora de incrustaciones, exenta de sustancias minerales que producen efectos fisiológicos indeseables y de organismos que puedan producir infección intestinal

#### **4.2 Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994**

Esta norma establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para su uso y consumo humano. Esta norma es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento público, privado y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio Nacional.



### Límites permisibles de características microbiológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la **Tabla (9) Límites permisibles de características microbiológicas**

Límites permisibles de características microbiológicas	
Características	Límite permisible
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

**Tabla (9) Límites permisibles de características microbiológicas**

El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor a 50,000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses de un mismo año

### Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la siguiente **Tabla (10) Características físicas y organolépticas**

Características físicas y organolépticas	
Características	Límite Permisible
Color	20 unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico y químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método

**Tabla (10) Características físicas y organolépticas**

### Límites permisibles de características químicas.

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad. **Tabla (11) Características químicas**



<b>Características químicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Límite Permisible</b>
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.01
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07
Cloro residual libre	0.2 - 1.50
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total ( como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.30
Hierro	0.30
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l	
Benceno	10.00
Etilbenceno	300.00
Tolueno	700.00
Xileno (tres isómeros)	500.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.00
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	1.00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de Hidrógeno) en unidades de Ph	6.5 -8.5
Plaguicidas en microgramos/l	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (Total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4-D	50.00
Plomo	0.03
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00
Sustancias activas al azul metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

**Tabla (11) Características químicas**



Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y disueltos.

### Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la **Tabla (12) características radiactivas**. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro)<sup>20</sup>

Características radiactivas	
Característica	Límite Permissible
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

**Tabla (12) características radiactivas**

### Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del siguiente enlistado excedan los límites permisibles.

#### Contaminación biológica

Bacterias, helmintos, protozoarios y virus.- Desinfección de cloro, compuestos de cloro, ozono, o luz ultravioleta

#### Características físicas y organolépticas

- Color, olor, sabor y turbiedad.- Coagulación-floculación- precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción en carbón activado u oxidación.

#### Constituyentes químicos

- Arsénico.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa
- Aluminio, bario, cadmio, cianuro, cobre, cromo total y plomo.- Intercambio iónico u ósmosis inversa

<sup>20</sup> NOM 127-SSA1-1994. Tablas 9, 10, 11, 12



- Cloruros.- Intercambio iónico, ósmosis inversa o destilación
- Dureza.- ablandamiento químico o intercambio iónico.
- Fenoles o compuestos fenólicos.- Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono
- Hierro y/o manganeso.- Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
- Fluoruros.- Osmosis inversa o coagulación química
- Materia Orgánica.- Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado
- Mercurio.- Proceso convencional: coagulación-floculación-precipitación-filtración, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Procesos especiales: en carbón activado granular y ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l; con carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l
- Nitratos y nitritos.- Intercambio iónico o coagulación-floculación-desgasificación o desorción en columna
- pH(potencial de hidrógeno).- Neutralización
- Plaguicidas.- Adsorción en carbono activado granular
- Sodio.- Intercambio Iónico
- Sólidos disueltos totales.-Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico
- Sulfatos.- Intercambio iónico u ósmosis inversa
- Sustancias activas al azul de metileno.- Adsorción de carbón activado.
- Trihalometanos.- Aireación u oxidación con ozono y adsorción en carbón activado granular
- Zinc.- Destilación o intercambio iónico

#### **4.3 Calidad del agua para usos industriales**

La calidad del agua como artículo se basa en satisfacer las necesidades generales del público, principalmente en cuanto a su potabilidad, los requisitos especiales que rigen la demanda de agua industrial de baja temperatura en el verano o de agua de carácter especial para ciertas industrias no pueden ser satisfechos por el agua de abastecimiento público. Muchas industrias requieren volúmenes de agua mayores que los obtenibles del abastecimiento municipal y tienen que recurrir a otras fuentes. Otras industrias han de instalar plantas especiales para el tratamiento adicional



---

del agua pública. Por otro lado, los calentadores domésticos, las lavanderías, las fábricas de hielo y las plantas embotelladoras de refrescos dependen del abastecimiento público del agua y sus requisitos particulares deben tomarse en cuenta para determinar la calidad del agua.

Los requisitos críticos de algunas industrias que necesitan agua de muy bajo nivel mineral no pueden satisfacerse con el ablandamiento del agua potable, porque el agua con un grado tan bajo de dureza sería corrosiva para las tuberías de conducción. Los requisitos del agua para uso industrial son congruentes con la demanda pública de un agua clara, con moderado contenido mineral y exenta de hierro y manganeso.

#### **4.4 Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEMARNAT-1996**

La cual establece los límites máximos permisibles de aguas residuales y bienes Nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de obligatoria para los responsables de las descargas.

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas de bienes nacionales, no deben exceder el valor indicado en las **Tablas (13) y (14)**<sup>21</sup>. El rango permisible del potencial hidrógeno, pH, es de 5 a 10 unidades.

---

<sup>21</sup> NOM-001-SEMARNAT-1996



Límites máximos permisibles para contaminantes básicos																					
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas costeras				Suelo						
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura a °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40		40	
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>5</sup>	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo, (2) Muestra Simple Promedio Ponderado, (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA.006 . P.D. =Promedio Diario P.M.=Promedio mensual N.A.= No es aplicable (A), (B), (C)= Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

**Tabla (13)** Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros																					
Parámetros (*) (miligramos por litro)	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras				Suelo						
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público Urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales Naturales (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	
Cianuros	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	1	2	
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1	
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.001	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.05	0.01	
Niquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4	
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	

P.D.:Promedio Diario P.M.: Promedio Mensual N.A.: No es aplicable (A), (B), (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos (\*) Medidos de manera total

**Tabla (14)** Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros



Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable, NMP de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente.

La determinación de la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas (13) y (14) de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores de tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la federación.

El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla (15) para descargas de tipo municipal y en la **Tabla (16)** para descargas no municipales<sup>22</sup>. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por periodo de tres años posteriores a su realización. **Tabla (15) Periodicidad de Análisis y Reportes**<sup>23</sup>

Rango de Población	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
Mayor de 50,000 habitantes	Mensual	Trimestral
de 20,001 a 500,000 habitantes	Trimestral	Semestral
de 2,501 a 20,000 habitantes	Semestral	Anual

**Tabla (15) Periodicidad de Análisis y Reportes**

<sup>22</sup> NOM-001-SEMARNAT-1996

<sup>23</sup> NOM-001-SEMARNAT-1996



Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 t/d (toneladas/día)	Sólidos Suspendidos Totales t/d (toneladas/día)	Frecuencia de Muestreo y Análisis	Frecuencia de Reporte
mayor de 3.0	mayor de 3.0	Mensual	Trimestral
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	Trimestral	Semestral
menor de 1.2	menor de 1.2	Semestral	Anual

**Tabla (16)** Descargas no Municipales

El responsable de la descarga estará exento de realizar análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la norma, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir la verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional de Agua.

Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional de Agua el caudal desviado.

El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

#### **4.5 Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996**

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la **Tabla**



(17)<sup>24</sup>. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples

Límites Máximos Permisibles			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (milímetros por litro)	5	7.5	10
Arsénico Total	0.5	0.75	1
Cadmio Total	0.5	0.75	1
Cianuro Total	1	1.5	2
Cobre Total	10	15	20
Cromo Hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio Total	0.01	0.015	0.02
Níquel Total	4	6	8
Plomo Total	1	1.5	2
Zinc Total	6	9	12

**Tabla (17)<sup>25</sup> Límites Máximos permisibles**

Los límites máximos permisibles establecidos en la columna, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diarios y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deben estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permite descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no dañe al sistema del mismo.

<sup>24</sup> NOM-002-ECOL-1996

<sup>25</sup> NOM-002-ECOL-1996



---

## **Capítulo 5**

### **Técnicas específicas para evaluar y controlar el agua en la elaboración de fluidos de control**

El agua de formación es rica en información referente a la roca en la que reside, y puede proporcionar datos cruciales para los análisis en todas las fases de la vida productiva del yacimiento. En las primeras etapas de la vida productiva de un campo, el agua de formación establece la salinidad y la resistividad del agua para la evaluación petrofísica.

Antes de seleccionar el material para la tubería de revestimiento o la tubería de producción, es vital evaluar la corrosividad del gas, el petróleo y el agua a producir. El gas libre presente en la formación puede contener constituyentes corrosivos tales como el  $H_2S$  y el  $CO_2$  y estos mismos constituyentes pueden disolverse en el agua de formación. Los pozos que producen dichos fluidos en concentraciones que exceden ciertos límites requieren tuberías de revestimiento con formulaciones metalúrgicas especiales resistentes a la corrosión, o tratamientos químicos inhibidores de la corrosión.

A medida que se producen los fluidos de yacimiento, la reducción de presión asociada puede causar la liberación de gas a partir de la solución, la precipitación y depositación de sólidos en los poros del yacimiento y sobre la tubería de producción y el equipo de fondo de pozo. A medida que se reduce la presión, el agua de formación libera gas  $CO_2$ , el pH del agua se incrementa y la solución se supersatura con carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ), lo que puede producir la depositación de incrustaciones que eventualmente obstruyen el flujo.

Las incrustaciones también pueden formarse cuando se mezclan aguas con diferentes composiciones. Las tuberías obturadas parcialmente pueden limpiarse a veces con herramientas de reparación de pozos que despliegan abrasivos y la acción de chorros de limpieza. No obstante, si la incrustación es demasiado espesa, es poco lo que se puede hacer excepto extraer la tubería y reemplazarla a un costo significativo.

#### **5.1. Análisis Stiff and Davis**

Los primeros trabajos en incrustaciones de carbonato fueron desarrollados por Tillmans, quien puntualizó que las condiciones de equilibrio no solo indican la tendencia del agua a incrustar sino también es una indicación de sus propiedades corrosivas. Previamente combinó los precipitados del carbonato de calcio con el acero para formar una densa capa protectora que inhibe la corrosión. Si el agua tiende a disolver el carbonato, la incrustación se vuelve porosa, y toma lugar la corrosión electrolítica. El trabajo de Tillmans fue extendido por varios investigadores hasta en 1934 Langelier desarrolló una ecuación estableciendo las condiciones de equilibrio del carbonato, creó un índice para predecir condiciones bajo las cuales, en agua dulce saturada de oxígeno, podían formarse incrustaciones de carbonatos protectoras de la corrosión en instalaciones domiciliarias y urbanas que denominó SI (Índice de estabilidad)



El SI surge de relacionar el pH real con el pH de la misma a saturación con carbonato de calcio, obteniendo este último a partir de dos constantes empíricas, las concentraciones de calcio, bicarbonato y carbonatos del agua. Para el uso de esta ecuación puede ser calculado el pH del agua en equilibrio. Si el pH actual es más alto que el pH calculado, el agua tiene la tendencia de formar incrustación. Si es menor, el agua tiene la tendencia de ser corrosiva.

El rango de cálculo que Langelier empleó fue de 0-800 ppm de sólidos totales disueltos y 0-90°C. En aquella época se creía que el agua corrosiva no podía ser incrustante.

Los ingenieros Henry A. Stiff Jr. y Lawrence E. Davis de Atlantic Refining previamente presentaron un método para predecir la incrustación de la formación de sulfato de calcio del agua de formación en yacimientos de aceite. Aunque la depositación del sulfato de calcio es importante en las operaciones de producción, los mayores problemas de incrustación involucran el carbonato de calcio. En 1952 extendieron empíricamente el método de Langelier a aguas salinas de campos petroleros.

De manera experimental Stiff y Davis trabajaron con varias concentraciones de cloruro de sodio a la cual adhirieron a la solución rangos de 0 al 20% de cloruro de calcio y añadieron carbonato de sodio a soluciones de cloruro de calcio y carbonato de sodio de tal fuerza que el carbonato de calcio puede precipitar fuera y dejar un exceso de cloruro de calcio. Añadieron, también, unas pequeñas gotas de ácido clorhídrico para formar bicarbonato y las soluciones las llevaron al equilibrio agitando a una temperatura constante por 24 horas. Las soluciones fueron después filtradas y las concentraciones de carbonato, bicarbonato, cloruro, y calcio fueron determinadas por el análisis actual. Las temperaturas empleadas fueron 0°, 30° y 50° C. Fueron utilizados Los procedimientos de análisis estándar. Todas las iteraciones con excepción del cloruro fueron realizadas por el iterador automático de Beckman

Descubrieron que la precipitación del carbonato de calcio es causada por una variación hacia el carbonato en el dióxido de equilibrio carbonato-bicarbonato-carbón. Cuando la variación de equilibrio es en otras direcciones regresa a la solución. Desde que ahí usualmente es considerado un retraso entre el establecimiento de un equilibrio y la precipitación o solución de carbonato de calcio, existen condiciones indeseables en las cuales un agua puede precipitar o disolver el carbonato de calcio en existencia.

La ecuación de Langelier puede ser expresada en una forma simple como se muestra a continuación.

$$SI = pH - pCa - pAlk - K$$



Dónde:

*SI* : Es el índice de estabilidad. Un índice positivo indica formación de incrustación. Un índice negativo indica corrosión

*pH* : Es el pH de la muestra de agua, como actualmente es determinado

*pCa* : Es el logaritmo negativo de la concentración de calcio

*pAlk* : Es el logaritmo negativo de la alcalinidad total

*K* : Es una constante, el valor depende de la concentración total de sal y la temperatura

Se ha demostrado que esta ecuación aplica a aguas con concentración de sólidos de hasta 4,000 ppm. De hecho, el control del tratamiento de agua fresca por medio de esta ecuación se han estandarizado en manuales de práctica por años. Se han elaborado nomogramas de manera que el índice de estabilidad de una muestra de agua simple fresca puede ser determinado en cuestión de minutos. La mayoría de las aguas de formación en yacimientos de aceite, sin embargo, contienen pozos sobre 4000 ppm de sal y por esta razón es usual que la ecuación Langelier no se pueda aplicar

Ante esta problemática los ingenieros extendieron la aplicación de la ecuación de Langelier al agua con alta concentración de sal. Con el uso de esta ecuación se puede predecir la tendencia de la formación de carbonato de calcio en las aguas de formación.

Cuando un agua está en equilibrio el índice de estabilidad es cero. La ecuación de Langelier es, a continuación:

$$0 = pH - pCa - pAlk - K$$

Y

$$K = pH - pCa - pAlk$$

El valor de K depende de la temperatura y de la concentración total de sal en el agua. Si se permite que el agua llegue al equilibrio con el carbonato de calcio el valor de K para esa agua en particular puede ser encontrado determinado el pH, calcio y alcalinidad, y sustituyéndolo sobre la ecuación.

Al hacer tales determinaciones en aguas con variación de contenido de sal en equilibrio a diferentes temperaturas se pueden obtener los valores a de K a cualquier contenido de sal y temperatura

Diferentes sales influyen en el valor de K a diferentes grados. En agua fresca el efecto es despreciable, pero en agua salada se debe tener en cuenta. Obtuvieron correcciones por sustitución de fuerza iónica para la concentración total de sal por el método usual. La fuerza iónica puede ser calculada como sigue:



$$\mu = 0.5 (C_1V_1^2 + C_2V_2^2 + \dots + C_nV_n^2)$$

Dónde:

*C*: Es la concentración de cada ion expresado en gramos de ion por 1,000 gms de solvente

*V*: Es la valencia de dicho ion

La **Gráfica (1)** muestra las curvas dadas para los valores de K a varias fuerzas iónicas. Las curvas a 0°, 30° y 50°C fueron graficadas de los datos experimentales mientras que las otras curvas a las demás temperaturas fueron extrapoladas.

Stiff y Davis calcularon los índices de estabilidad de 100 muestras tomadas al azar de agua salada. Para facilitar el cálculo del índice de estabilidad de varias aguas de formación, elaboraron un reporte en la **Tabla (19)**, en el cual se dan los factores usados para obtener la fuerza iónica para el resultado de un análisis estándar del agua. El ion individual es simplemente multiplicado por el factor apropiado. La suma de estos productos da la fuerza iónica. Usaron, también la **Gráfica (2)** de Langelier, mediante la cual se obtuvieron los valores de *pAlk* y *pCa*

Para la fuerza iónica, calculado como anteriormente, el valor de K puede ser tomado de la **Gráfica (1)**. Los valores de estos términos cuando se sustituyeron en la siguiente ecuación darán el índice de estabilidad

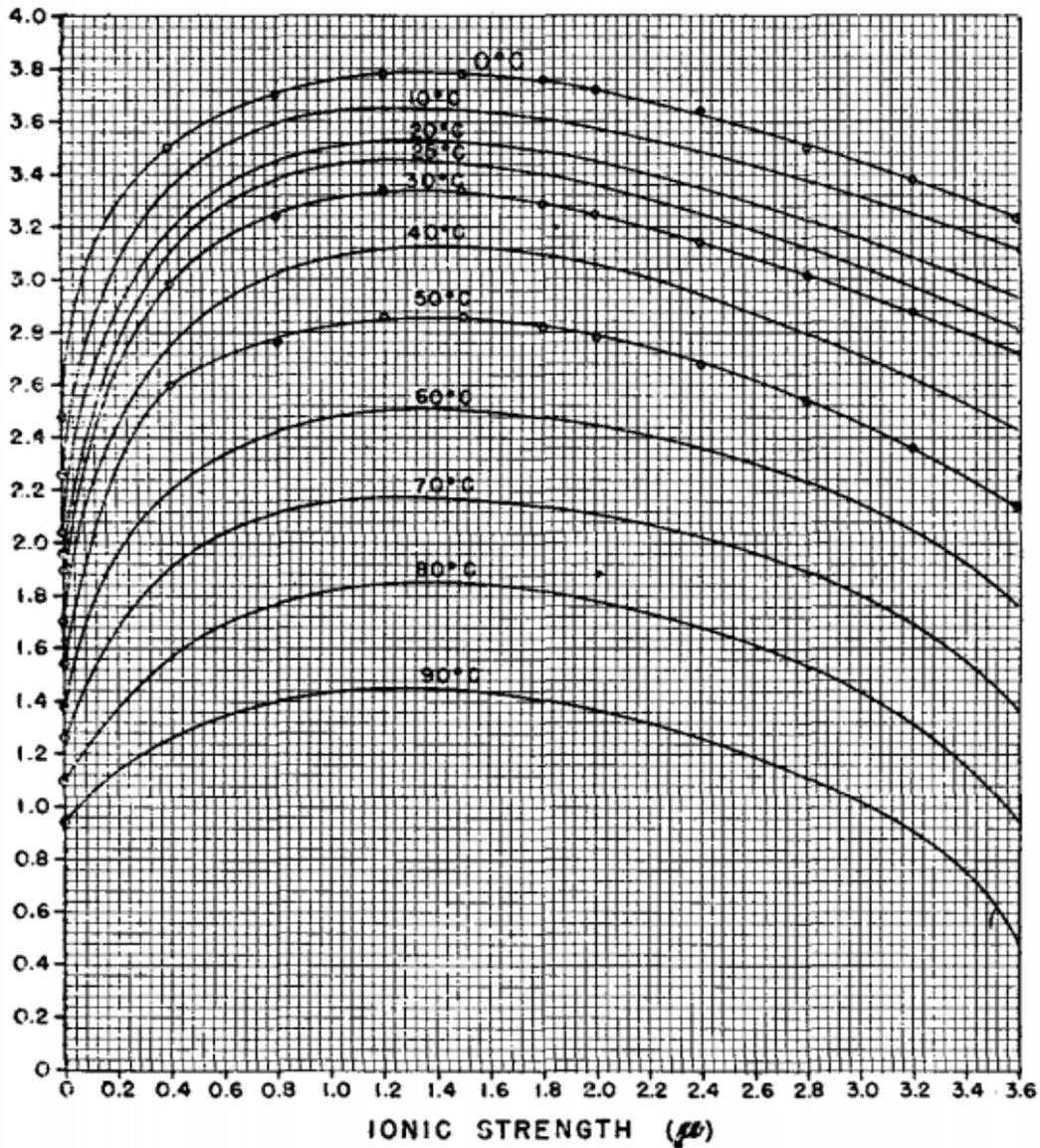
$$SI = pH - K - pCa - pAlk$$

El cálculo del índice de estabilidad en las salmueras de los yacimientos de aceite pueden proveer información valiosa en las operaciones de producción de aceite donde se involucran las incrustaciones de carbonato y cierto tipo de corrosión

Factores para convertir el resultado de un análisis de agua a fuerza iónica		
Ion	Factor, ppm	Factor, meq/liter
Na	$2.2 \times 10^5$	$5 \times 10^{-4}$
Ca	$5.0 \times 10^5$	$1 \times 10^{-3}$
Mg	$8.2 \times 10^5$	$1 \times 10^{-3}$
Cl	$1.4 \times 10^5$	$5 \times 10^{-4}$
HCO <sub>3</sub>	$0.8 \times 10^5$	$5 \times 10^{-4}$
SO <sub>4</sub>	$21 \times 10^5$	$1 \times 10^{-3}$

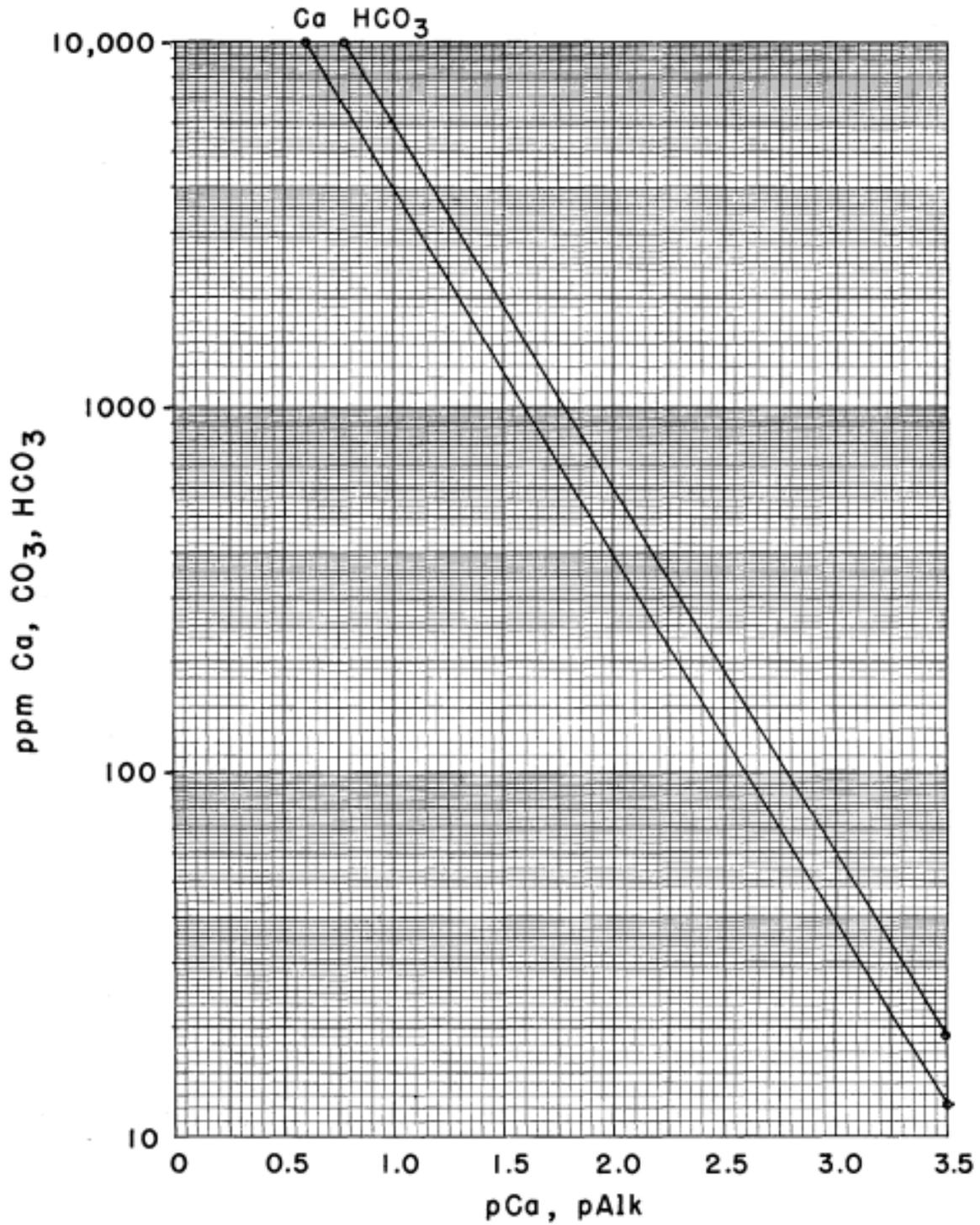
**Tabla (19)**<sup>26</sup> Factores para convertir el resultado de un análisis de agua a fuerza iónica

<sup>26</sup> HENRY A STIFF, JR. And Lawrence E. Davis. A Method for predicting the tendency of oil field waters to deposit calcium carbonate. The Atlantic Refining CO. Dallas, Tex.



Gráfica (1)<sup>27</sup> Valores de K a varias fuerzas iónicas

<sup>27</sup> HENRY A STIFF, JR. And Lawrence E. Davis. A Method for predicting the tendency of oil field waters to deposit calcium carbonate. The Atlantic Refining CO. Dallas, Tex.



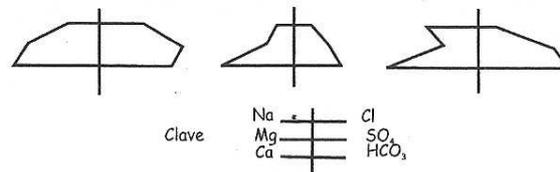
Gráfica (2)<sup>28</sup> Gráfica para convertir partes por millón de calcio y alcalinidad en pCa y pAlk

<sup>28</sup>HENRY A STIFF, JR. And Lawrence E. Davis. A Method for predicting the tendency of oil field waters to deposit calcium carbonate. The Atlantic Refining CO. Dallas, Tex.



Es importante mencionar que también existen diagramas que nos permitirán conocer la calidad del agua, entre ellos, podemos encontrar los diagramas columnares y verticales, circulares, radiales y poligonales.

Los diagramas Poligonales o diagramas de Stiff se encuentran dentro de los más utilizados, consiste en cuatro rectas paralelas cortadas en sí cruzadas en su punto medio por una recta vertical. La parte derecha se reserva para los aniones y la izquierda para los cationes. Sobre la recta se lleva el contenido iónico en meq/L. los cationes originales eran Na+k, Ca, Mg y Fe y los aniones, Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, y CO<sub>3</sub>. Para aguas subterráneas es mejor utilizar el siguiente arreglo representado en la **Figura (7)** Diagrama de Stiff modificado<sup>29</sup>. Las concentraciones se unen por una poligonal y son muy empleadas en planos hidroquímicos.



**Figura (7)** Diagrama de Stiff modificado

<sup>29</sup> Antonio Pulido Bush. Nociones de hidrogeología para ambientólogos. Almería, Universidad de Almería D.L. 2007.



---

## Conclusión

El agua es muy poca a comparación de la población a nivel mundial por lo que el acceso al agua potable es mucho menor, razón por la cual en la elaboración de fluidos de perforación no usaremos agua potable, haciendo necesaria la búsqueda de agua para emplearse en la perforación, pero a su vez condicionando sus características para que no afecten ni a la formación ni a la producción. Es necesario distinguir los tipos de agua y las posibles fuentes de abastecimiento para aprovechar al máximo este vital líquido empleado en la construcción de pozos petroleros, para el abastecimiento, consumo humano y para las operaciones de limpieza y mantenimiento de equipos.

Al ser la perforación la etapa más importante en la construcción de un pozo petrolero, se debe tener en claro que los estudios y pruebas que se realicen serán indispensables para la vida futura no solo del pozo productor sino del campo, ya que se podrá definir su rentabilidad, equipo a emplear y la posible existencia de corrosión mediante el estudio del agua.

Un agua con alto contenido de sales de calcio y magnesio puede provocar incrustaciones y corrosión por esta razón se debe tener en cuenta hacer un estudio sobre el agua para evitar daños que de no ser tratados a tiempo llevaran a una pérdida de la tubería, en contraste si se hacen pruebas de manera continua se podrá determinar el grado de incrustación, tener un monitoreo y control, de ser mínima la incrustación se puede tratar con equipos de reparación de pozos.

Es importante conocer el método de Stiff y Davis para la evaluación de calcio en aguas con alto contenido de sal, debido a que podremos controlar y monitorear el comportamiento de posibles precipitaciones, que podrían reducir el diámetro de la tubería minimizando la producción, al ser este problema recurrente en la industria petrolera se hace indispensable el conocimiento de este método.

Podemos decir que el agua que se requiere para emplearse debe tener las siguientes características: no ser dura, por que formará incrustaciones de magnesio, tener en cuenta el índice de estabilidad del Método de Stiff and Davis y cerciorarse si el índice es positivo indica una posible formación o incrustación y si es negativo se tendrá corrosión por lo que será necesario actuar de manera inmediata de ser así, también no debe contener materia orgánica sólida, ni agentes patógenos, ni coliformes.

Al auxiliarnos con estudios paralelos como los diagramas de Stiff podremos saber cuál es la procedencia del agua que nos está afectando y saber de igual forma el tipo de roca.

Al ser importante estudiar el agua que se empleará en los pozos, también es necesario proteger al ambiente cuidando los límites permisibles de contaminantes en las descargas cumpliendo con las normas oficiales mexicanas, evitando los problemas de impacto ambiental, debemos recordar que la misión de un ingeniero petrolero no solo es producir más hidrocarburos, sino también cuidar del entorno para preservar nuestros recursos para generaciones futuras.



## Bibliografía

American Water Works Association. Agua, su calidad y tratamiento. Centro regional de ayuda técnica, Agencia para el desarrollo Internacional (AID), México, 1968.

“El mundo del petróleo”. Tomo XXXIX. México. Septiembre-Octubre 2009. Pp 50-67.

Guía práctica para la selección de fluidos.

LUMMUS, James L. et.al Drilling Fluids optimization, A. Practical field approach

DARLEY, HCH. Et.al. Composition and properties of Drilling and completion fluids.

Garaicochea, Francisco. Et.al. Apuntes de terminación de Pozos. UNAM. FI. División de ciencias de la tierra, depto. de explotación de petróleo

M-I Drilling Fluids Engineering Manual

“Daños a la formación”. INTEVEP, S.A. Primera edición 1997

El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C., Presencia Ciudadana Mexicana A.C. México, D.F 2006.

CONAGUA. Atlas del agua en México 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, Agosto 2012.

CONAGUA. Subdirección General Técnica. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. Jefatura de Proyecto de Estudios de Calidad del Agua.

CARRILES, Díaz Joram. Abastecimiento de Agua dulce para Operaciones de Perforación y Terminación de Pozos en Plataformas Marinas a partir de la Desalinización del Agua de Mar. Tesis. FI UNAM. México, D.F. Enero de 2001.

PÜRSCHHEL, Wolfgang. et.al. Tratado General del agua y su distribución. La calidad de las aguas y su tratamiento. Bilbao, España, Urmo, S.A.

Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994

NOM-001-SEMARNAT-1996 “Límites máximos permisibles de contaminates en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”.

NOM-002-ECOL-1996 “Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal”.



---

NOM-003-ECOL-1997 “Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reusen en servicios públicos”.

NRF-104-PEMEX-2005 “Sistemas de tratamiento de aguas residuales en instalaciones de PEMEX-exploración y producción”.

NRF-206-PEMEX-2008 “Tratamientos integrales del agua a torres de enfriamiento”.

G.P.A. Estudios y Servicios Petroleros. S.R.L .Nota técnica No. 19. El origen de las aguas de formación. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

ARAMBURO, Daniel y Harold Aldana. Trabajo Investigativo “Aguas de formación”. Investigación orientada hacia el análisis y tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros. Fundación Universidad de América. Ingeniería de Pozos Petroleros. Bogotá. 2011

MEDHAT, Abdou. Andrew Carnegie. et.al. Valor del agua de formación. Volumen 23 No.1. Oilfield Review.

HENRY A STIFF, JR. And Lawrence E. Davis. A Method for predicting the tendency of oil field waters to deposit calcium carbonate. The Atlantic Refining CO. Dallas, Tex.

Guillermo Guillot Merchand. Manual Básico para la interpretación de Registros Geofísicos de Pozo. Tesis. UNAM. México, D.F. Julio 2010.

Antonio Pulido Bush. Nociones de hidrogeología para Ambientólogos. Almería, Universidad de Almería D.L. 2007.

<http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3>

<http://www.ciclohidrologico.com/>

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html>

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/117ssa14.html>

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/usos1.pdf>

[http://web2.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/05\\_serie/yelmedioambiente/4\\_agua\\_v08.pdf.10/09/2013](http://web2.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/05_serie/yelmedioambiente/4_agua_v08.pdf.10/09/2013)