

**NORMA Oficial Mexicana NOM-145-SEMARNAT-2003, Confinamiento de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

JUAN RAFAEL ELVIRA QUESADA, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 Bis fracciones I y IV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 2 fracciones III y IX, 7 fracción y XXIV, 40, 65 y 66 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; 5 fracciones V y VI, 28 fracción IV, 36, 37 Bis, 150, 151, 151 Bis, 152 Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 5 inciso M fracción I del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental; 4 fracciones III, IV, X, 11, 31 fracción II, 32, 33, 34 y 40 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos; 1 y 38 fracción II, 40 fracciones X y XVII y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 1, 4 y 8 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; he tenido a bien expedir, la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-145-SEMARNAT-2003, Confinamiento de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables, y

**CONSIDERANDO**

Que el Proyecto de Norma Oficial Mexicana fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión celebrada el 23 de julio de 2003, y que de conformidad con el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó el 28 de noviembre de 2003, para consulta pública a efecto de que los interesados, dentro de los 60 días naturales contados a partir de la fecha de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**, presentaran sus comentarios ante el

citado Comité, sito en bulevar Adolfo Ruiz Cortines número 4209, quinto piso, fraccionamiento Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, código postal 14210, Distrito Federal, o en el correo electrónico [aescamilla@semarnat.gob.mx](mailto:aescamilla@semarnat.gob.mx).

Que durante el plazo mencionado la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estuvo a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité antes señalado.

Que de conformidad con lo establecido en el artículo 47 fracciones II y III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma en cuestión, los cuales fueron analizados por el citado comité realizándose las modificaciones procedentes al Proyecto y que las respuestas a los comentarios y modificaciones antes citados fueron publicados en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de agosto de 2004.

Que cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales en sesión de fecha 31 de marzo de 2004 aprobó para publicación definitiva la presente Norma Oficial Mexicana NOM-145-SEMARNAT-2003, Confinamiento de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-145-SEMARNAT-2003, CONFINAMIENTO DE RESIDUOS EN CAVIDADES CONSTRUIDAS POR DISOLUCION EN DOMOS SALINOS GEOLOGICAMENTE ESTABLES**

**PREFACIO**

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron:

- SECRETARIA DE ENERGIA
- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ
- PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE
- COMISION NACIONAL DEL AGUA
- PETROLEOS MEXICANOS  
Dirección Corporativa de Planeación Estratégica  
Dirección Corporativa de Seguridad Industrial y Protección Ambiental  
Pemex Exploración y Producción
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
Instituto de Geología
- INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios de Medio Ambiente y Desarrollo  
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura-Unidad Ticomán
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
- COLEGIO DE INGENIEROS GEOLOGOS DE MEXICO
- AGENCIA DE COOPERACION TECNICA ALEMANA-GTZ

#### INDICE

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Características del sitio para la construcción de confinamientos en domos salinos geológicamente estables
6. Especificaciones para la construcción de la cavidad
7. Aprovechamiento de cavidades salinas preexistentes para la construcción de confinamientos
8. Manejo de la salmuera
9. Construcción de las instalaciones en superficie
10. Evaluación de las instalaciones para la puesta en operación
11. Operación de las instalaciones en superficie
12. Especificaciones generales para el confinamiento
13. Monitoreo de la operación del confinamiento
14. Cierre y desmantelamiento de las instalaciones en superficie
15. Evaluación de la conformidad
16. Concordancia con normas internacionales
17. Bibliografía
18. Observancia de esta norma
  - Anexo 1
  - Anexo 2

## Figura 1

**1. Objetivo**

Establecer las especificaciones técnicas para la protección al medio ambiente durante la selección del sitio, la construcción, operación y cierre de confinamientos de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables y en cavidades preexistentes en domos salinos.

**2. Campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para todas las personas físicas o morales que diseñen, construyan y operen confinamientos de residuos peligrosos en domos salinos geológicamente estables y en cavidades preexistentes en domos salinos.

**3. Referencias**

NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales.

NOM-052-SEMARNAT-1993, Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-054-SEMARNAT-1993, Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.

NOM-056-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-058-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

**4. Definiciones**

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Ley de Aguas Nacionales, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, y las que a continuación se mencionan:

**4.1 Acondicionamiento**

Es la tecnología aplicada a una corriente de residuos con componentes orgánicos reusables, la cual es resuspendida, escurrida o reaccionada y mezclada con un líquido transportador aceptable, como la salmuera saturada, para facilitar la recuperación de los componentes orgánicos.

**4.2 Cavidad**

Es el espacio u oquedad resultante de un proceso de lixiviación de la sal por medio de agua dulce a presión en masas salinas.

**4.3 Domo salino**

Masa salina en forma cómica, de columna o de seta que se eleva en zonas débiles de la corteza terrestre perforando los estratos superiores. Su composición mineralógica es predominantemente de halita (NaCl).

**4.4 Compatibilidad de los residuos**

Condición de los residuos peligrosos que al entrar en contacto entre si o al mezclarse con agua u otros materiales o residuos reaccionan sin producir calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos.

**4.5 Falla geológica**

Cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

**4.6 Falla activa**

Son aquellas fallas que han sufrido desplazamiento durante el Holoceno.

**4.7 Horizonte**

Nivel estratigráfico reconocible en rocas por un rasgo característico como fósiles de flora y fauna, y su litología.

**4.8 Núcleo**

Es una muestra recuperada de diferentes estratos del subsuelo para verificar sus propiedades físicas y químicas.

**4.9 Paquete sedimentario**

La secuencia de los diferentes estratos sedimentarios, definidos por una base y una cima.

**4.10 Residuos contaminados con hidrocarburos**

Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, impregnados de hidrocarburos, susceptibles de manejarse vía húmeda en confinamientos en domos salinos.

**4.11 Salmuera**

Agua con un contenido de más de 200 gr/lit de sales producto de la lixiviación de la masa salina durante el proceso de formación de una cavidad.

**4.12 Salmuera de operación**

Es la que se utiliza para estabilizar la caverna y conducir los residuos hacia el interior de la cavidad en la operación vía húmeda.

**4.13 Tubería de revestimiento**

Tubería que aísla y protege el pozo.

**4.14 Vía húmeda**

Operación de la cavidad saturada con salmuera.

**4.15 Vía seca**

Operación de la cavidad sin salmuera y estabilizada con gas inerte.

**5. Características del sitio para la construcción de confinamientos en domos salinos geológicamente estables****5.1 Características geológicas y geofísicas**

**5.1.1** No debe haber presencia de fallas geológicas activas a menos de 1,000 metros radiales del sitio.

**5.1.2** De acuerdo a las propiedades litológicas de los estratos localizados sobre el cuerpo del domo, éstos no deben permitir la migración de fluidos provenientes de la operación del confinamiento, a los acuíferos. Se deben conservar los registros geofísicos que se tomen del pozo, durante la construcción del pozo, su operación y por los 20 años posteriores al cierre del confinamiento, así como su interpretación cualitativa y cuantitativa; éstos deben precisar los espesores de las formaciones y las relaciones de contacto de los estratos.

**5.1.3** El espesor del domo salino donde se ubicará la cavidad debe ser de 1,000 metros como mínimo en sus tres dimensiones, de acuerdo a estudios geofísicos de detalle.

**5.1.4** La presencia en el domo salino de otros elementos y compuestos químicos diferentes a la sal, solubles e insolubles, no debe ser mayor al 10%, ni registrar horizontes de más de 5 metros.

**5.1.5** Para garantizar la adecuada selección del sitio se debe llevar a cabo el muestreo continuo del pozo exploratorio, así como también muestreos puntuales en las zonas superior, de contacto y la masa salina, de los demás pozos que se vayan a construir, que permitan verificar la observancia de los numerales 5.1.3 y 5.1.4.

## **5.2 Especificaciones hidrológicas**

**5.2.1** El sitio deberá ubicarse fuera de zonas con avenidas extraordinarias con un periodo de retorno de 100 años el cual deberá ser delimitado con un ajuste estadístico.

**5.2.2** El sitio debe estar alejado en desnivel 20 metros hacia arriba del cauce de corrientes, de acuerdo a las condiciones hidrológicas que presente el terreno; también el área seleccionada deberá tener una relación de precipitación-escorrentía menor a 10 metros cúbicos como promedio anual.

**5.2.3** De no cumplirse los numerales 5.2.1 y 5.2.2, se deben realizar las obras civiles de drenaje necesarias para cumplir esta condición.

## **5.3 Especificaciones climáticas**

**5.3.1** Los vientos dominantes no deben tener trayectoria hacia las poblaciones cercanas.

## **6. Especificaciones para la construcción de la cavidad**

**6.1** No se deberán construir cavidades para confinamientos en domos salinos cuando éstos sean subyacentes a la superficie de áreas naturales protegidas.

**6.2** El espesor de la sal entre la cima del domo y el techo de la cavidad, debe ser mínimo de 300 metros.

**6.3** Las nuevas cavidades deben tener una configuración cerrada y cumplir con el protocolo de pruebas de integridad mecánica para garantizar su estabilidad.

**6.4** El espesor de sal entre cavidades debe ser como mínimo de 200 m.

**6.5** La tubería de revestimiento debe ir cementada desde la superficie del suelo hasta el techo de la cavidad.

**6.6** Las cavidades deberán ser estabilizadas geotécnicamente con salmuera (vía húmeda) o con un gas inerte (vía seca).

## **7. Aprovechamiento de cavidades salinas preexistentes para la construcción de confinamientos**

**7.1** Para que las cavidades salinas preexistentes puedan aprovecharse para la construcción de confinamientos deben cumplir con lo establecido en los apartados 5 y 6 de esta Norma Oficial Mexicana.

## **8. Manejo de la salmuera**

**8.1** En la construcción de una cavidad, la salmuera generada durante la lixiviación que no sea reutilizada, puede descargarse en cuerpos receptores que sean aguas nacionales. Si se descarga a cuerpos receptores que sean aguas nacionales debe cumplir con lo siguiente:

**8.1.1** Para descargar salmuera de lixiviación a cuerpos receptores de agua dulce, que sean aguas nacionales, el límite máximo permisible de sólidos disueltos totales presentes en la salmuera es de 500 mg/l.

**8.1.2** Para descargar salmuera de lixiviación al mar, el límite máximo permisible de sólidos disueltos totales presentes en la salmuera es de 32,000 mg/l, y su descarga debe ser conforme a la legislación vigente en materia de vertimientos y descargas al mar.

**8.1.3** Cuando no se cumpla con el parámetro establecido en el numeral 8.1.2 la salmuera de lixiviación se puede descargar al mar a través de difusores que permitan su difusión y dispersión inmediata.

**8.2** La salmuera de operación sólo podrá almacenarse temporalmente en presas o inyectarse a pozos que cumplan con la normatividad vigente o a cavidades construidas en domos salinos geológicamente estables. Para ello se debe cumplir con lo siguiente:

**8.2.1** Si se almacena temporalmente, las presas de almacenamiento temporal deben construirse sobre una capa de material impermeable, con un espesor, grado de compactación y humedad del material, para obtener un coeficiente de permeabilidad de  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg, o bien sobre un material sintético de rango equivalente, que garanticen, en cualquiera de los casos, la impermeabilidad por un periodo de años igual o mayor a la vida útil de la obra, sin que se tengan riesgos de infiltración a los acuíferos.

**8.3** El transporte de la salmuera debe hacerse por ductos o contenedores cisterna.

**8.4** El remanente de salmuera de operación al concluir la vida útil del confinamiento debe manejarse como residuo peligroso conforme a la legislación vigente.

## **9. Construcción de las instalaciones en superficie**

**9.1** Las construcciones en la superficie se deben realizar conforme a lo establecido en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en Materia de Residuos Peligrosos, y en la Norma Oficial Mexicana vigente, que establezca los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

**9.2** No se deben construir las instalaciones superficiales del confinamiento en áreas naturales protegidas.

## **10. Evaluación de las instalaciones para la puesta en operación**

**10.1** Al concluir la construcción del confinamiento o bien la conversión en confinamiento de la cavidad preexistente, y antes de iniciar la operación, se deben efectuar pruebas que confirmen la integridad mecánica, la estabilidad y el volumen final de la cavidad mediante la medición en 3 dimensiones con estudios geofísicos.

**10.2** Se debe garantizar la hermeticidad de las tuberías de revestimiento cementadas mediante pruebas de presión.

## **11. Operación de las instalaciones en superficie**

**11.1** La operación de las instalaciones en superficie debe atenerse a las disposiciones aplicables establecidas en la Norma Oficial Mexicana vigente, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos; con excepción de las especificaciones relativas al confinamiento, las cuales se establecen en el numeral 12, del monitoreo del confinamiento, que se establecen en el numeral 13, y del cierre del confinamiento, que se establecen en el numeral 14, de esta Norma Oficial Mexicana.

## **12. Especificaciones generales para el confinamiento**

**12.1** Los residuos pueden confinarse vía húmeda o vía seca, de acuerdo a sus características.

**12.2** Sólo se pueden confinar en cavidades estabilizadas con salmuera (vía húmeda) los residuos contaminados con hidrocarburos que sean compatibles entre sí. Para esto se debe cumplir lo siguiente:

**12.2.1** Los residuos contaminados con hidrocarburos que sean compatibles entre sí deberán ser acondicionados antes de ser confinados en la cavidad.

**12.2.2** Los residuos contaminados con hidrocarburos que sean compatibles entre sí no deberán mezclarse con otros residuos peligrosos dentro de la cavidad.

**12.2.3** La compatibilidad de los residuos se debe determinar conforme a los procedimientos establecidos en la NOM-054-SEMARNAT-1993.

**12.3** Se deben confinar en cavidades estabilizadas con gas inerte (vía seca) los residuos no contaminados con hidrocarburos compatibles entre sí. Para ello deberá cumplirse con lo siguiente:

**12.3.1** Los residuos que se confinen en cavidades estabilizadas con gas inerte (vía seca) deberán ser tratados antes de ser confinados, de acuerdo a lo establecido en la legislación vigente.

**12.4** Los residuos ya tratados que se dispongan en cavidades estabilizadas con gas inerte (vía seca) no deben tener un ph menor a 4 ni mayor a 10, ni una humedad mayor al 5% y deben soportar una presión mayor a 50 psi.

**12.5** Durante la operación de confinamiento en cavidades estabilizadas con gas inerte se debe instalar un sistema de captación de emisiones en el cabezal del pozo.

## **13. Monitoreo de la operación del confinamiento**

**13.1** El monitoreo de presiones y flujo de inyección a la cavidad se debe llevar a cabo por medio de un equipo electrónico, con un registro continuo que proporcione la información sobre los siguientes aspectos:

- Visualización del avance del llenado de la cavidad
- Visualización y análisis del volumen útil de la cavidad
- Monitoreo de presiones y estado mecánico del pozo
- Monitoreo de gases en las válvulas del pozo

- Monitoreo de los flujos de inyección

**13.2** Se deben realizar los siguientes monitoreos en acuíferos y suelos:

**13.2.1** Se debe monitorear la calidad del agua en los acuíferos colindantes al sitio de confinamiento antes de la construcción del mismo y realizar un monitoreo mensual durante el tiempo de operación conforme a las especificaciones establecidas en la NOM-055-SEMARNAT-1993.

**13.2.2** El monitoreo de la calidad del agua debe comprobar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, la concentración de hidrocarburos de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en el anexo 1 y la determinación de sólidos y sales disueltas de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en el anexo 2 de la presente Norma. Asimismo, la construcción de los pozos de monitoreo debe atenerse a lo establecido en la NOM-004-CNA-1996.

**13.2.2.1** En el caso de presentarse derrames, debe restaurarse el suelo conforme a lo establecido en la normatividad vigente.

**13.3** En el caso de que las características físico-químicas del agua en los acuíferos sean diferentes a las preexistentes o registren cambios que indiquen la presencia de elementos contaminantes provenientes de la operación del confinamiento, se deben suspender de inmediato y totalmente las operaciones, y a dar aviso a la CNA.

#### **14. Cierre y desmantelamiento de las instalaciones en superficie**

**14.1** Se debe cerrar y sellar el pozo con un tapón de cemento inyectado que abarque desde el techo de la cavidad hasta la superficie, de acuerdo a lo establecido en la NOM-004-CNA-1996 sobre taponamiento de pozos.

**14.2** Se deben remover y retirar todas las instalaciones en superficie. Las planchas de concreto antes de ser removidas, así como todos los equipos, utensilios, e instrumentos que hayan estado en contacto con los residuos. Los residuos generados durante la limpieza se dispondrán conforme a la legislación vigente en materia de residuos peligrosos.

**14.3** Se debe realizar una caracterización del suelo y de los acuíferos subyacentes a las áreas de operación en las que se ubicaron las instalaciones al cierre del confinamiento. Si se detectan condiciones diferentes a las originales se debe proceder a la restauración conforme a la normatividad vigente.

#### **15. Evaluación de la conformidad**

**15.1** La evaluación de la conformidad de la presente Norma se realizará de conformidad a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, además de lo siguiente:

**15.1.1** El procedimiento de verificación se llevará a cabo por las Unidades de Verificación (UV's) y laboratorios acreditados y aprobados y en ausencia de éstos la visita de verificación se realizará por parte de las autoridades competentes. En caso de que existan UV's acreditadas y aprobadas para la presente Norma, la verificación se realizará exclusivamente a través de las mismas.

**15.1.2** Las convocatorias para la aprobación de las UV's serán publicadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el **Diario Oficial de la Federación**.

**15.1.3** La verificación se realizará a petición de parte y los gastos que se originen serán a cargo de la persona a quien se efectúe ésta.

**15.1.4** El responsable del cumplimiento de la norma deberá acudir a la SEMARNAT y/o a la PROFEPA y/o las Delegaciones Federales de éstas, o a las autoridades locales competentes para conocer los listados de las UV's acreditadas y aprobadas, en caso de existir, y los documentos y requisitos necesarios para su solicitud.

**15.1.5** El responsable del cumplimiento de la norma deberá entregar en la UV elegida o, en ausencia de UV's acreditadas y aprobadas, en las oficinas de la autoridad competente, el formato de solicitud de verificación de cumplimiento debidamente llenado.

**15.1.6** La UV o la autoridad competente, según corresponda, fijará fecha para la visita de verificación dentro de los cinco días hábiles siguientes, notificándolo al interesado por escrito.

**15.1.7** La verificación deberá realizarse por proyecto, tomando en cuenta la o las etapas que se estén desarrollando al momento de la misma.

**15.1.8** Durante la visita de verificación, la UV o la autoridad competente comprobarán que se mantiene el cumplimiento de las disposiciones de la presente Norma:

**15.1.8.1** Sobre la construcción del confinamiento, por medio de:

**a)** La revisión de los estudios geofísicos realizados previamente a la construcción que precisen los espesores de las formaciones y las relaciones de contacto de los estratos que prueben que no existan fallas geológicas activas a menos de 1,000 metros radiales del sitio y que el espesor del domo salino donde se ubicará la cavidad sea de 1,000 metros como mínimo en sus tres dimensiones.

**b)** La revisión de los núcleos de perforación tomados durante la construcción del pozo.

**c)** La revisión de los resultados de los muestreos puntuales en las zonas superior, y de contacto con la masa salina que prueben que no existe presencia en el domo salino de otros elementos y compuestos químicos diferentes a la sal, solubles e insolubles, en una proporción mayor al 10%, ni que registren horizontes de más de 5 metros.

**d)** La revisión de los registros que confirmen la integridad mecánica, la estabilidad y el volumen final de la cavidad mediante la medición en 3 dimensiones.

**e)** La revisión de pruebas de presión que confirman la hermeticidad de las tuberías de inyección.

**15.1.8.2** Sobre la operación del confinamiento, por medio de:

**a)** La revisión de la bitácora de recepción foliada para registrar las entradas y salidas de los residuos, así como de los vehículos para su transporte.

**b)** La revisión del libro de registro de pesaje y talonario foliados para hacer constar el peso de los residuos a depositar.

**c)** La revisión del libro de registro de laboratorio en el que se anoten los resultados del muestreo y el análisis de la verificación de los residuos a depositar.

**d)** La revisión del plano general que represente e identifique la asignación de áreas y los procesos en las instalaciones en superficie.

**e)** La revisión del libro de registro de monitoreo foliado que permita visualizar el avance del llenado de la cavidad; el volumen útil de la cavidad; las presiones y el estado mecánico del pozo; los gases en las válvulas del pozo; los fluidos de inyección.

**15.1.8.3** Después del cierre del confinamiento:

**a)** La revisión de los estudios que prueben que no hubo afectación al suelo, ni a los acuíferos, y que en caso de que la hubiese habido, éstos se restauraron.

## **16. Concordancia con normas internacionales**

Esta Norma no coincide con ninguna Norma Internacional por no existir Norma Internacional sobre el tema que integre las disposiciones técnicas ambientales que se establecen en la presente.

## **17. Bibliografía**

Argonne National Laboratory. University of Chicago. Costs for off-site disposal of nonhazardous oil field waste: Salt caverns versus other disposal methods. April, 1997.

Argonne National Laboratory. University of Chicago. Risk analysis for disposing nonhazardous oil field wastes in salt caverns. December, 1997.

Department of Natural Resources Office of Conservations Injection and Mining Division. Drilling and Production Waste Generated From Drillings and Production of Oil and Gas Wells. Rule. November, 2000.

**Diario Oficial de la Federación.** Ley de Aguas de Nacionales. Publicada el 1 de diciembre de 1992.

**Diario Oficial de la Federación.** Ley Federal del Mar. Publicada el 8 de enero de 1986.

Gobierno de la República. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 17ª Edición. Porrúa. México. 1999.

Gobierno de la República. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada el 8 de octubre de 2003.

International Association of Oil and Gas Producers (OGP). Disposal of produced water by injection guidelines. Report No. 2.80/302 January 2000.

K. Slizowski, J. Janeczko, K. Przewlocki. Suitability of salt-mudstone as a host rock in salt domes for radioactive-waste storage. 2003 (www.sciencedirect.com).

Louisiana Office of Conservation E&P. Waste Testing. Emergency Rules.

Railroad Commission of Texas. Texas Administrative Code. Fluid injection into Productive Reservoirs.

Rodríguez Correa Manuel Arturo. Confinamiento de residuos peligrosos en domos salinos (Caso Ixhuatlán del Sureste, Veracruz). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México D.F., 2000.

Texas Natural Resources Conservation Commission. Standards for class I Salt Cavern Solid Waste Disposal Wells. Underground Injection Control. May 30, 2002.

U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy. National Petroleum Technology Office. Disposal of NORM- Contaminated Oil Field Wastes in Salt Caverns. August 1998.

United States Environmental Protection Agency (EPA). Underground Injection Program. January. 2001.

#### **18. Observancia de esta norma**

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y la Comisión Nacional del Agua, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales, Ley General para la Prevención y Gestión de los Residuos, y demás disposiciones legales aplicables.

#### **TRANSITORIO**

**UNICO.-** La presente Norma Oficial Mexicana, entrará en vigor 60 días después de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Provéase la publicación de este Proyecto de Norma Oficial Mexicana en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los veinte días del mes de julio de dos mil cuatro.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan Rafael Elvira Quesada**.- Rúbrica.

#### **ANEXO 1**

##### **ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO (HTP's) EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-METODO DE PRUEBA**

###### **1. Principio del método**

El método se basa en la extracción de los compuestos orgánicos no polares de la muestra, principalmente hidrocarburos de origen del petróleo por su afinidad al tetracloruro de carbono. Los hidrocarburos disueltos en el tetracloruro de carbono se determinan cuantitativamente por comparación de la absorbancia leída a un número de onda de  $2\ 930\text{ cm}^{-1}$  (correspondiente a la región media infrarroja del espectro electromagnético), con una curva de calibración preparada con tres tipos de hidrocarburos.

###### **2. Equipo y materiales**

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

### 2.1 Equipo

**2.1.1** Espectrofotómetro de infrarrojo disponible para utilizarse en un intervalo de longitud de onda de 3 000  $\text{cm}^{-1}$  a 2 700  $\text{cm}^{-1}$ .

**2.1.2** Parrilla de agitación magnética.

**2.1.3** Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.

### 2.2 Materiales

Todo el material volumétrico utilizado en este método debe ser de clase A con certificado o, en su caso, debe estar calibrado.

**2.2.1** Par de celdas de cuarzo, con paso óptico de luz de 1 mm, 5mm, 10 mm, 50 mm y 100 mm.

**2.2.2** Embudo de separación de 2 L, con llave de teflón.

**2.2.3** Frasco de vidrio de boca ancha de 1 L de capacidad con tapa de teflón.

**2.2.4** Papel filtro número 40 o equivalente.

**2.2.5** Barras de agitación magnética de teflón.

**2.2.6** Probeta de vidrio de 1 L de capacidad graduada.

### 3. Reactivos y patrones

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

a) Resistividad: megohm-cm a 25°C: 0,2 min;

b) Conductividad:  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C: 5 máx, y

c) pH: 5,0 a 8,0

**3.1** Acido clorhídrico concentrado (HCl)

**3.2** Clorobenceno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ )

**3.3** n-hexadecano ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ )

**3.4** Isooctano ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )

**3.5** Sílica gel, malla 60-200, grado 950, con un contenido de 1% -2% de agua y densidad 0,5 g/mL: Secar 100 g de sílica gel a una temperatura de 130°C hasta eliminar completamente la humedad; posteriormente, transferir a un desecador y colocar un frasco destapado junto a ella conteniendo 2 g de agua para que la sílica gel adsorba la humedad, tapar el desecador y dejar reposar durante toda la noche.

**3.6** Sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

**3.7** Tetracloruro de carbono grado espectroscópico ( $\text{CCl}_4$ ) libre de interferencias mayores a 0,05 mg/L de HTP's.

**NOTA.-** Debido a que el tetracloruro de carbono es un disolvente que es carcinógeno y ataca la capa de ozono de la estratósfera, se están buscando disolventes alternativos para utilizarse en este método. Cualquier modificación al disolvente debe estudiarse con un análisis comparativo para cada matriz analizada, respecto a la capacidad de extracción de los diferentes disolventes y las sustancias a extraer. Como normalmente se utiliza este método para cuantificar hidrocarburos como gasolina, diesel o petróleo crudo, debe estandarizarse cualquier otro disolvente que se quiera utilizar, con al menos la mezcla de estos tres hidrocarburos.

**3.8** Disolución de ácido clorhídrico (1:1). Mezclar volúmenes iguales de ácido clorhídrico concentrado y agua.

**3.9** Mezcla Patrón de referencia. Tomar alícuotas de 15 mL de n-hexadecano (ver inciso 3.3), 15 mL de isooctano (ver inciso 3.4) y 10 mL de clorobenceno (ver inciso 3.2) y colocar en un frasco de vidrio de 50 mL con tapa de teflón. Mantener el frasco bien tapado y en refrigeración para evitar la alteración de la mezcla.

**3.10** Disolución madre (5 000 mg/L). Tomar una alícuota de 0,5 mL de la mezcla de referencia (ver inciso 3.9). Colocar en un matraz volumétrico de 100 mL previamente tarado, tapar inmediatamente y pesar. Aforar al volumen con tetracloruro de carbono. Calcular la concentración de la disolución por medio de la razón del peso de la mezcla entre el volumen de aforo, la cual debe ser de aproximadamente 5 000 mg/L.

**3.11** Disoluciones estándares. Una vez calculada la concentración de la disolución madre (ver inciso 3.10), tomar alícuotas apropiadas de ésta en matraces volumétricos de 100,0 mL de acuerdo a la celda que va a utilizarse y aforar con tetracloruro de carbono. Calcular la concentración de los estándares a partir de la disolución madre (ver inciso 3.10).

#### **4. Recolección, preservación y almacenamiento de muestras**

**4.1** Debe colectarse un volumen de 2 L de muestra en un frasco de vidrio de boca ancha con tapa de teflón. Como pueden ocurrir pérdidas de hidrocarburos totales del petróleo por el equipo de muestreo, no se permite la colecta de una muestra compuesta y no deben tomarse alícuotas de la muestra para realizar otro tipo de análisis, porque se ocupa la muestra entera para este análisis.

**4.2** Un retraso entre el muestreo y el análisis mayor de 4 h, requiere que el total de la muestra sea preservada por la adición de ácido clorhídrico (1:1) hasta llevar a ésta a un valor de pH < 2. Un retraso mayor de 48 horas requiere refrigeración para la preservación de las muestras a 4°C.

**4.3** El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 28 días.

#### **5. Control de calidad**

**5.1** Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad (CC) formal.

**5.2** El laboratorio debe mantener los siguientes registros:

- Los nombres y títulos de los analistas que ejecutaron los análisis y el encargado de control de calidad que verificó los análisis.
- Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:
  - a) Identificación de la muestra;
  - b) Fecha del análisis;
  - c) Procedimiento cronológico utilizado;
  - d) Cantidad de muestra utilizada;
  - e) Número de muestras de control de calidad analizadas;
  - f) Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición;
  - g) Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados, y
  - h) Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información.

De tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

**5.3** Cada vez que se adquiera nuevo material volumétrico debe de realizarse la verificación de la calibración de éste tomando una muestra representativa del lote adquirido.

#### **6. Calibración**

Se debe contar con un registro de la calibración de los equipos y materiales siguientes:

**6.1** Material volumétrico

**6.2** Balanza analítica

**6.3** Espectrofotómetro de infrarrojo: Calibrar de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Asegurarse que se obtenga respuesta adecuada alrededor de los  $2\,930\text{ cm}^{-1}$  de número de onda

## 7. Procedimiento

**7.1** Medir el volumen total de la muestra en una probeta de 1 L. Si la muestra no fue acidificada en el momento del muestreo, adicionar 5 mL de HCl (1:1) (ver inciso 3.8). Mezclar la muestra, y asegurarse que el  $\text{pH} \leq 2$ , adicionar más ácido si es necesario.

**7.2** Transferir la muestra a un embudo de separación de 2 L.

**7.3** Adicionar 30 mL de tetracloruro de carbono (ver inciso 3.7) al frasco que contiene la muestra y girar para enjuagar los lados del mismo. Transferir el disolvente al embudo de separación.

**7.4** Extraer por agitación vigorosa durante 5 min. Dejar en reposo para permitir la separación de las fases.

**7.5** Filtrar la fase orgánica a través de un embudo de filtración que contenga papel filtro previamente humedecido en tetracloruro de carbono a un matraz volumétrico de 100 mL.

El equilibrio en una emulsión que tarda en separarse, puede romperse agregando alrededor de 1 g de sulfato de sodio anhidro (ver inciso 3.6) en el cono del papel filtro y drenando lentamente la emulsión a través de la sal de sulfato de sodio. Si se requiere, se puede agregar una porción adicional de 1 g del sulfato de sodio anhidro al cono.

**7.6** Repetir dos veces más con porciones de 30 mL de disolvente nuevo (ver incisos 7.3 a 7.5), combinando los tres extractos orgánicos dentro del mismo matraz volumétrico.

**7.7** Enjuagar el papel filtro, el embudo y el extremo del embudo de separación con un total de 5 mL a 10 mL de tetracloruro de carbono, coleccionar el disolvente de lavado en el matraz volumétrico del inciso 9.6. Aforar a 100 mL con tetracloruro de carbono.

**7.8** Desechar alrededor de 5 mL a 10 mL de disolución del matraz volumétrico (ver inciso 7.7). Adicionar 3 g de sílica gel (ver inciso 3.5) y una barra de agitación, tapar el matraz volumétrico y agitar la disolución por un mínimo de 5 min con ayuda de un agitador magnético.

**7.9** Seleccionar los estándares de trabajo y las celdas apropiadas de acuerdo con los intervalos de concentración que se espera de las muestras. No es necesaria la adición de sílica gel a los estándares. Leer la absorbancia directamente de cada disolución estándar en  $2\ 930\ \text{cm}^{-1}$ . Realizar una curva de calibración de absorbancia vs concentración en mg/L de hidrocarburos totales del petróleo, usando tetracloruro de carbono como referencia.

**TABLA 1.-** Aproximación de intervalos de concentración mg/L de los estándares de trabajo con respecto a la celda óptica utilizada

Paso óptico de luz	Intervalo de concentración
10 mm	60-500 mg/L
50 mm	10-90 mg/L
100 mm	5-40 mg/L

**7.10** Después de que la sílica gel se ha asentado en la muestra extraída, filtrar el extracto y llenar una celda con el extracto y leer la absorbancia de la extracción. Si la absorbancia excede los límites máximos de la curva, preparar una dilución apropiada.

Si la capacidad adsorbente de la sílica gel se hubiera excedido, puede probarse en este punto por medio de la adición de otros 3 g de sílica gel al extracto y la repetición del tratamiento y determinación (ver incisos 7.1 a 7.10).

## 8. Cálculos

**8.1** Calcular los hidrocarburos de petróleo en la muestra usando la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 1: } \text{mg/L de hidrocarburos totales del petróleo} = (R \times V \times D) / M$$

donde:

R es la concentración obtenida de la curva de calibración en mg/L

V es el volumen de tetracloruro de carbono usado para la extracción en mL

M es el volumen de muestra en mL, y

D es el factor de dilución

**8.2** Reportar todos los valores obtenidos en unidades de mg/L con la precisión correspondiente.

### **9. Interferencias**

**9.1** El tetracloruro de carbono disuelve no solamente los HTP's, sino también algunas sustancias como azufre elemental, tintes, polímeros, grasas y aceites de origen animal y vegetal. Por lo que es necesario usar material de vidrio para el muestreo.

**9.2** Existen pérdidas de algunos compuestos volátiles.

**9.3** Existen pérdidas por la adsorción de la sílica gel de algunos componentes tales como compuestos aromáticos, hidrocarburos clorados, sulfurados y/o nitrogenados.

**9.4** Los ácidos grasos y las grasas vegetales y animales interfieren en el análisis, por lo que se tratan de eliminar con la utilización de la sílica gel.

## **ANEXO 2**

### **ANALISIS DE AGUA-DETERMINACION DE SOLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-METODO DE PRUEBA**

#### **1. Principio del método**

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas, así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de éstos.

#### **2. Equipo y materiales**

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

##### **2.1 Equipo**

###### **2.1.1 Bomba de vacío**

###### **2.1.2 Estufa eléctrica, para operar de 103°C a 105°C**

###### **2.1.3 Balanza analítica con precisión de 0,1 mg**

###### **2.1.4 Mufla eléctrica para operar a 500°C $\pm$ 50°C**

##### **2.2 Materiales**

###### **2.2.1 Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra**

###### **2.2.2 Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido de humedad**

###### **2.2.3 Crisol Gooch de poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración**

###### **2.2.4 Matraz Kitazato de 1 L a 2 L de capacidad**

**2.2.5** Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2  $\mu$ m o menor

###### **2.2.6 Pinzas para crisol**

###### **2.2.7 Guantes para protección al calor**

###### **2.2.8 Careta para protección al calor**

#### **3. Reactivos y patrones**

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características: **a)** Resistividad: megohm-cm a 25°C: 0,2 min; **b)** Conductividad:  $\mu$ S/cm a 25°C: 5,0 Máx.; **c)** pH: 5,0 a 8,0

**3.1 Cloruro de sodio (NaCl)****3.2 Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)****3.3 Almidón en polvo**

**3.4** Disolución estándar para muestras de control. Agregar la cantidad necesaria de almidón, Cloruro de Sodio (ver inciso 3.1) y Carbonato de Calcio (ver inciso 3.2) de acuerdo con la concentración deseada de sólidos en las muestras de control y diluir a 1 L. Este patrón debe prepararse cada vez que se realice el método.

**4. Recolección, preservación y almacenamiento de muestras**

**4.1** Deben tomarse un mínimo de 500 mL de muestra en envases de polietileno y taparse inmediatamente después de la colecta. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples.

**4.2** No se requiere de ningún tratamiento específico en campo.

**4.3** Debe preservarse la muestra a 4°C hasta su análisis.

**4.4** El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de siete días. Sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 horas posteriores a su colecta. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento del análisis.

**5. Control de calidad**

**5.1** Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad (CC) formal.

**5.2** El laboratorio debe mantener los siguientes registros:

- Los nombres y títulos de los analistas que ejecutaron los análisis y el encargado de control de calidad que verificó los análisis, y
- Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:
  - a) Identificación de la muestra;
  - b) Fecha del análisis;
  - c) Procedimiento cronológico utilizado;
  - d) Cantidad de muestra utilizada;
  - e) Número de muestras de control de calidad analizadas;
  - f) Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición;
  - g) Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados, y
  - h) Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información.

De tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

**5.3** Cada vez que se adquiera nuevo material volumétrico debe de realizarse la verificación de la calibración de éste tomando una muestra representativa del lote adquirido.

**6. Calibración**

Se debe contar con un registro de verificación de la calibración para el siguiente equipo:

**6.1 Balanza analítica.****7. Procedimiento****7.1 Preparación de cápsulas de porcelana**

**7.1.1** Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C  $\pm$  50°C, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min.

**7.1.2** Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.

**7.1.3** Pesar las cápsulas y registrar los datos.

**7.1.4** Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como peso G.

**7.2** Preparación de crisoles Gooch.

**7.2.1** Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.

**7.2.2** Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ , durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 min.

**7.2.3** Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.

**7.2.4** Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg. Registrar como G3.

**7.3** Preparación de la muestra

**7.3.1** Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.

**7.4** Medición para sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles (SVT)

Determinación para sólidos totales (ST):

**7.4.1** En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado.

**7.4.2** Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante (ver inciso 7.1.4).

**7.4.3** Llevar a sequedad la muestra en la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ .

**7.4.4** Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G1.

Determinación para sólidos totales volátiles (SVT):

**7.4.5** Introducir la cápsula conteniendo el residuo (ver inciso 7.4.4) a la mufla a  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 15 min a 20 min, transferir la cápsula a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 min, sacar la cápsula, enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G2.

**7.4.6** Cuando se determinen muestras por duplicado o triplicado, los resultados como máximo pueden tener una variación de 5 por ciento del promedio de los resultados.

**7.5** Sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos totales (SST).

Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST):

**7.5.1** Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.

**7.5.2** Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío (ver inciso 7.2), lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.

**7.5.3** Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C}$  a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 1 hora aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante-Registrar como peso G4.

Determinación de sólidos suspendidos totales (SST):

**7.5.4** Introducir el crisol que contiene el residuo (ver inciso 7.5.3) y el disco a la mufla, a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 15 min a 20 min. Sacar el crisol de la mufla e introducirlo a la estufa a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  durante 20 min a proximadamente. Sacar y enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G5.

**7.6 Sales disueltas totales (SDT)**

**7.6.1** La determinación de las sales disueltas totales es por diferencia entre los sólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

**8. Cálculos**

**8.1** Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = (G1 - G) * 1\ 000/V$$

donde:

ST son los sólidos totales, en mg/L

G1 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg

G es el peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante, y

V es el volumen de muestra, en mL

**8.2** Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$SVT = (G1 - G2) * 1\ 000/V$$

donde:

SVT es la materia orgánica total, en mg/L

G2 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en mg, y

V es el volumen de muestra, en mL

**8.3** Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G3) * 1\ 000/V$$

donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

G3 es el peso del crisol con el disco a peso constante, en mg

G4 es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg, y

V es el volumen de muestra, en mL

**8.4** Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G5) * 1\ 000/V$$

donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

G5 es el peso del crisol con el residuo, después de la calcinación, en mg;

V es el volumen de muestra, en mL

**8.5** Calcular el contenido de sales disueltas totales de las muestras como sigue:

$$SDT = ST - SST$$

donde:

SDT son las sales disueltas totales, en mg/L

ST son los sólidos totales, en mg/L

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

**8.6** Reportar los valores obtenidos de la muestra control junto con los resultados del análisis.

**8.7** Reportar los resultados, en mg/L

---

**9. Interferencias**

**9.1** La heterogeneidad de la muestra que contiene una o más de dos fases puede provocar errores durante el muestreo en campo y en la toma de alícuotas de la misma para la determinación de sólidos. Se recomienda homogeneizar la muestra en lo posible antes de tomar la alícuota.

**9.2** Si parte de los sólidos de la muestra se adhieren a las paredes de los contenedores, ya sea en el material de muestreo o en los utensilios de trabajo, considerar lo anterior en la evaluación y en el reporte de resultados.

**9.3** La temperatura a la cual el residuo se seca, tiene un efecto muy importante sobre los resultados, ya que pueden ocurrir pérdidas en el peso de la materia orgánica presente durante la etapa de secado y/o el desprendimiento de gases por descomposición química y/o por la oxidación del residuo, así como por la oclusión de agua.

**9.4** El tipo de filtro, el tamaño del poro, el grosor del filtro, el tamaño de la partícula y la cantidad de material depositado en el filtro son los principales factores que afectan la separación de los sólidos suspendidos y las sales disueltas.

**9.5** Los resultados para las muestras con alto contenido de grasas y aceites son cuestionables debido a la dificultad de secado a peso constante en un tiempo razonable.

FIGURA 1.

CROQUIS DE CAVIDADES EN DOMOS SALINOS  
(sin escala)



