

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Escuela Superior de Ingeniería Química e
Industrias Extractivas

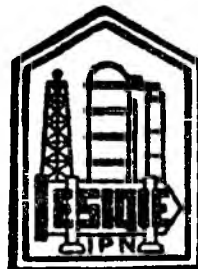
ESTUDIO DEL ALMACENAMIENTO
SUBTERRANEO PARA PETROLEO CRUDO.

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO PETROLERO

presentan

PATRICIA GONZALEZ VEGA
RENE GONZALEZ FERNANDEZ
VICTOR MANUEL GARCIA ARRIAGA



México, D. F.

1984



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL^{1.-181}
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DIVISION DE SISTEMAS DE TITULACION

EDUCACION PUBLICA

México, D F Noviembre 15, de 84

VICTOR MANUEL GARCIA ARRIAGA.
RENE GONZALEZ FERNANDEZ.
C PATRICIA GONZALEZ VEGA.
Pasante de Ingeniero QUIMICO PETROLERO.
Presente

1980-1984

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional en la opcion TESIS COLECTIVA

es propueste por el C ING. RUSSELL ECHAVARRIA PADRON.

quien sera el responsable

de la calidad de trabajo que usted presente, referida al tema ' ESTUDIO DEL ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO PARA

PETROLEO CRUDO."

el cual deberá usted desarrollar de acuerdo con el siguiente orden

RESUMEN.

- I.- INTRODUCCION.
 - II.- GENERALIDADES.
 - III.- SELECCION DEL TIPO DE ALMACENAJE ADECUADO PARA PETROLEO CRUDO.
 - IV.- DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO EN ESTRUCTURA SALINA.
 - V.- OPERACION.
 - VI.- SERVICIOS AUXILIARES.
 - VII.- EQUIPO EMPLEADO.
 - VIII.- PROCESO INTEGRAL.
 - IX.- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Jefe del Departamento de Opcion

ING. RUSSELL ECHAVARRIA PADRON.

El Profesor Orientador

ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Jefe de la Division de
Sistemas de Titulacion

DR. GUILLERMO MARCHANTE SUAREZ

El Director de la Escuela

mr g'

Con sincero agradecimiento para el Ing. Claudio A. Aguilar M., por la aportación de fuentes bibliográficas aceptables, además de su valiosa orientación para la realización de la presente.

SOLO LECTURA

A nuestros mejores amigos

Que nos proporcionaron lo mejor de
sus vidas, nos enseñaron a superar
nos cada vez más, nos guiaron de -
una manera adecuada, nos quieren y
aprecian como nadie

NUESTROS PADRES

Adela y Basilio
Clementina e Ignacio
Cordelia y Roque

A nuestros hermanos:

Por su gran amistad, cariño
y aprecio que nos muestran.

I N D I C E

	<u>H O J A</u>
R E S U M E N	1 a 2
CAPITULO I	
INTRODUCCION	3 a 5
CAPITULO II	
GENERALIDADES	6 a 8
2.1 TIPOS DE ALMACENAJE SUBTERRANEO Y CARACTERISTICAS	9 a 33
2.2 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO Y COMPARACION CON EL ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL	34 a 38
2.3 CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS A ALMACENAR	39 a 43
CAPITULO III	
SELECCION DEL TIPO DE ALMACENAMIENTO ADECUADO PARA PETROLEO CRUDO	44 a 49
CAPITULO IV	
DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO EN ESTRUCTURAS SALINAS	50 a 51
4.1 FACTORES FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO EN ESTRUCTURAS SALINAS	52 a 56

	<u>H O J A</u>
4.2 CONSTRUCCION DEL ALMACENAMIENTO	57 a 89
CAPITULO V	
OPERACION	90 a 93
CAPITULO VI	
SERVICIOS AUXILIARES	94 a 96
CAPITULO VII	
EQUIPO EMPLEADO	97 a 98
CAPITULO VIII	
PROCESO INTEGRAL	99 a 100
CAPITULO IX	
CONCLUSIONES	101 a 103
B I B L I O G R A F I A	104 a 111

SOLO LECTURA

R E S U M E N

El almacenamiento de gas natural, petróleo y derivados, es muy importante en nuestro País por la relevancia que representan éstos productos en la economía nacional.

Estar documentado de los diferentes tipos de almacenamiento existentes de que se pueden disponer, es uno de los propósitos que se realizan en la presente.

El enfoque principal que se desarrolla, se basa en el almacenamiento subterráneo en el que inicialmente se mencionan sus características más sobresalientes, su clasificación, importancia y comparación con el almacenamiento superficial.

Tomando como referencia que en la zona Sur de nuestro País, comprendida por los estados de Veracruz, Tabasco y parte de Chiapas y Campeche, se requiere una capacidad de almacenamiento apreciable; se selecciona cual tipo de almacenamiento resulta ser el más conveniente a desarrollar.

En base a lo anterior, se efectúa el diseño para la construcción del almacenamiento seleccionado, indicando los factores pertinentes a considerar como son: el equipo requerido, su operación y los servicios que se requieren.

Para finalizar, se realiza el esquema integral correspondiente a dicho almacenamiento y se mencionan las conclusiones que se fundamentan en lo elaborado.

CAPITULO I

INTRODUCCION

SOLO LECTURA

México se encuentra como uno de los países de mayor producción de petróleo en el mundo, ocupando el cuarto lugar.

Su producción actual es de 2.8 MMBPD aproximadamente, de los cuales 1.5 se destinan para exportación y lo restante, para cubrir las exigencias del consumo interno.

La mayor fuente de suministro de Hidrocarburo, es proveniente del mar (crudo marino), específicamente de la Sonda de Campeche la cual representa gran relevancia por ser la región que contiene la mayor reserva de Petróleo.

En nuestro País existen dos tipos de crudo: el denominado Crudo Maya o Crudo Pesado y el Crudo Istmo o Crudo Ligero. Conviene mencionar también que el requerido para vender al extranjero, normalmente lo constituye una mezcla de ambos.

En la zona Sur de México, comprendida por: Pajaritos, La Venta, Cayo Arcas, etc., se cuenta con una capacidad de almacenamiento de 10 MMB aproximadamente en Tanques Superficiales, por lo que, si se deseara almacenar la producción neta diaria, sólo se tendría capacidad para 4 días. Ahora bien, debido a las condiciones climatológicas adversas que se presentan en varias ocasiones al año, que llegan a ser críticas ya que duran hasta 7 días, no se puede realizar la exportación de la cantidad prevista de crudo, originando con ello el cierre parcial de pozos y como consecuencia, de teriora la continuidad de producción que trae consigo trastornos económicos severos.

Por lo anterior, la solución inmediata será: incrementar la capacidad de almacenamiento presente, de manera que pueda solventarse el problema. Ahora bien, ¿de qué manera ?

Existen dos formas para poder realizar esto:

- Por medio de tanques superficiales
- Por medio de cavidades subterráneas

El segundo, representa un gran interés debido a que se tiene escaso conocimiento de él, pudiendo ser una alternativa apropiada para éste caso específico.

El almacenamiento subterráneo posee una serie de condiciones que lo favorecen apreciablemente respecto al convencional, entre ellas las que más destacan son: Costo de construcción por barril y Tiempo requerido para su construcción.

El almacenamiento subterráneo se puede presentar, construir o adaptar en diversas formas; algunas de ellas son exclusivamente para almacenar compuestos gaseosos, otras para líquidos y aquellas que en determinadas circunstancias se diseñen con el propósito de almacenar líquidos o gases.

Es importante resaltar que en nuestro País ya se está llevando a cabo la ejecución de cavidades subterráneas con el objeto de utilizarlas como almacenamiento, siendo los productos más factibles: el petróleo crudo, gas natural y sus derivados esencialmente.

CAPITULO II

GENERALIDADES

SOLO LECTURA

En la actualidad los países industrializados tienen asegurado gran parte del abastecimiento de gas natural y petróleo crudo, utilizando para este fin el almacenamiento subterráneo.

Estos fluidos tienen una contribución cada vez más importante en el mercado energético de estos países. Por ello, asegurar su suministro en forma continua y segura es un factor determinante para los mismos. El crecimiento de sus necesidades tienen como consecuencia dos efectos contradictorios:

- a) El primero es, el de que las posibilidades de proveerlos son cada vez más rigurosas debido al aumento de su contribución a la economía energética, al aumento de la distancia de las fuentes de aprovisionamiento y a la importancia de las inversiones realizadas.
- b) El segundo, es que el crecimiento de sus necesidades tiende a aumentar la irregularidad de la demanda, que es siempre aleatoria y muy variable de un día a otro, de un mes a otro y de un año a otro.

En nuestro País no se tienen estos problemas, pero se cuenta con otros de gran importancia, tales como:

- a) Debido a no poseer una capacidad de almacenamiento apropiada, se quema cierta cantidad de gas natural en lugar de almacenarlo. Aunque en este punto se deberá tomar en cuenta también, que se requiere de un sistema complejo de gasoductos.
- b) Como consecuencia de condiciones meteorológicas adversas, en determinada época del año no se puede -

exportar petróleo y por no tener una infraestructura de almacenamiento con capacidad suficiente, se tiene que alterar la continuidad en la producción.

Por problemas como estos, se prevee la necesidad de tener medios adecuados para almacenar, tanto petróleo crudo como gas natural.

Estudios económicos efectuados por industrias de diferentes países, ponen de manifiesto que sólo los almacenamientos - subterráneos permiten asegurar económicamente la realización de reservas de volúmenes considerables, necesarios para resolver problemas como los anteriores.

El almacenamiento subterráneo puede utilizarse de dos formas: una es que sirva para el balance de suministro de petróleo de manera constante, o sea, que se opere de manera continua; y otra, emplearlo con carácter de reserva estratégica que contrariamente a la anterior sólo operaría 1, 2 ó 3 veces máximo en toda su vida útil, que en promedio es de 20 a 30 años.

A continuación se darán a conocer diversos aspectos que revisten gran interés para el conocimiento somero del almacenamiento subterráneo.

2.1 TIPOS DE ALMACENAJE SUBTERRANEO
Y CARACTERISTICAS

SOLO LECTURA

El almacenamiento de grandes cantidades de petróleo crudo y gas natural, es un problema al que se le conoce actualmente varias soluciones. De acuerdo a su emplazamiento y tipo de fluido que se pretenda almacenar, existen los siguientes tipos de almacenamiento subterráneo:

1.- Almacenajes en Cavidades

Este tipo de almacenamiento es el más utilizado para el caso de querer almacenar fluidos en estado líquido, por tanto, uno de estos deberá ser el adecuado para Petróleo Crudo. Su tamaño y localización en profundidad puede variar de acuerdo a las condiciones geológicas que presente el subsuelo y a los volúmenes que se requiera manejar. Es construido efectuando oquedades en el subsuelo, utilizando para ello distintas técnicas de acuerdo al tipo de formación geológica existente. Los diferentes tipos de estos almacenajes son:

- a) Cavidades salinas
- b) Cavidades minadas en roca
- c) Minas abandonadas
- d) Explosiones nucleares

2.- Almacenajes en Medio Poroso

Los sedimentos porosos son apropiados para el almacenamiento de Gas Natural si la cobertura es hermética, si el cierre y la porosidad permiten un volumen aceptable por almacenar y con adecuada permeabilidad que facilite la inyección y la producción.

Este tipo de formaciones deberá tener profundidad

apropiada, del orden de los 500 a 1,500 metros, - con la finalidad de obtener presiones adecuadas.

Los distintos tipos de almacenaje por medio poroso, son los siguientes:

- a) Yacimientos agotados de gas o petróleo
- b) En acuíferos

Las características de los variados tipos de almacenamiento subterráneo se describen de una manera general a continuación.

CAVIDADES SALINAS

La generación de los recintos de almacenamiento en formaciones salinas (domos, diapiros o series salinas estratigráficas), se realiza mediante la inyección de agua dulce para disolver sal, recuperando agua salada. Cada volumen de sal disuelto requiere de seis a diez volúmenes de agua para ser lixiviado, esto depende del tipo de fluido que se utilice para dicha operación, pudiendo ser éste, agua dulce o agua de mar. Esta última tiene la característica de disolver, por la sencilla razón de no ser una solución saturada; de esta manera, se puede apreciar fácilmente que el requerimiento de agua sería mayor para un mismo volumen a disolver de sal, si se trata de agua de mar que si se tratara de agua dulce. Los espesores de las formaciones salinas deberán ser mayores o iguales a 150 metros.

El pozo deberá contar con una tubería de revestimiento cementada a la profundidad que se tenga definida como cima de cavidad almacenadora y además con un aparejo -

de dos tuberías colgadas con objeto de circular agua dulce y salmuera a través de ellas.

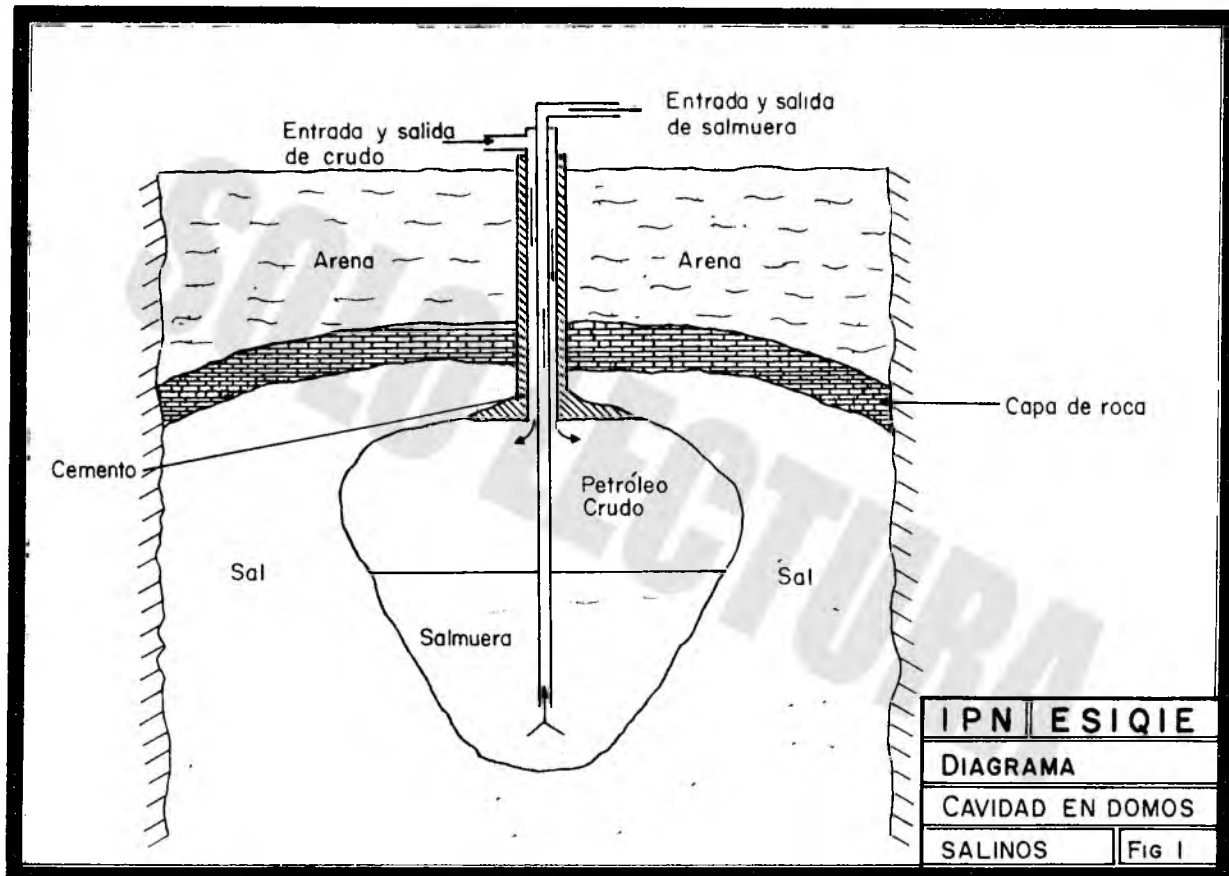
El problema mayor, es la eliminación de salmuera y sus consecuencias ecológicas, pueden llevar al abandono del proyecto, o bien a un proyecto antieconómico si es necesario, reinyectar las salmueras al subsuelo o tender una línea de evacuación de varios kilómetros. Este inconveniente se ha resuelto en varias ocasiones al efectuar la generación del pozo a una distancia relativamente corta del mar, el cual sirve como medio para poder depositar la salmuera generada.

Una parte de la salmuera obtenida en la disolución es aprovechada para ser inyectada por el tubing (el tubo menor de las dos tuberías) de los pozos de producción, a los efectos de recuperar el producto almacenado por el casing (espacio anular entre las dos tuberías), dado que si se inyectara agua dulce continuaría el proceso de disolución que podría conducir a la inutilización de la cavidad. En la Fig. 1, se muestra de una manera general lo que sería una cavidad salina.

CAVIDADES MINADAS EN ROCA

Estas cavidades básicamente son aptas para almacenar los mismos productos que en cavidades salinas, solamente que los volúmenes son considerablemente menores por su alto costo de realización.

Las posibilidades de localización son grandes dado que pueden utilizarse diversos tipos de roca y el área de terreno requerido en superficie es pequeña en relación



al volumen a almacenar en el subsuelo. En la Fig. 2, se pueden apreciar los lugares aptos para poder realizar una cavidad de este tipo, indicando también las zonas de mayor y menor aptitud para su ejecución en las diversas partes del mundo.

Es posible construirlas en rocas de tipo masivo, tales como: pizarras, granitos, dolomitas, calizas, areniscas, yeso y basalto.

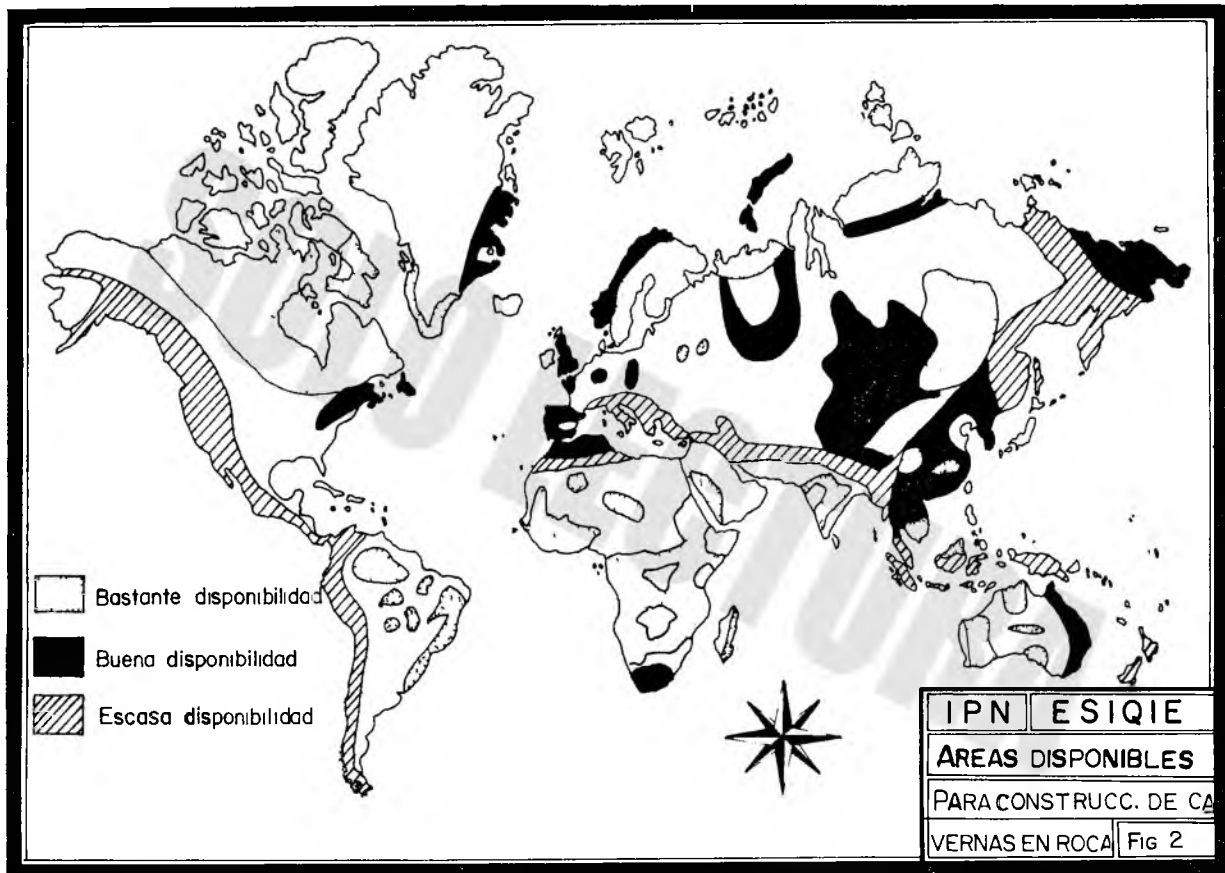
El almacenamiento de petróleo en cavernas minadas en roca, ha alcanzado un nivel técnico confiable y el manejo de las cavernas ha probado ser seguro, sencillo y económico.

En las cavernas de roca, el petróleo está generalmente flotando en un lecho de agua y de otras formas en contacto con ella.

Para impedir escapes de petróleo o de gas de una caverna, la roca alrededor tiene que ser completamente hermética, todas las fisuras deben ser rellenadas con agua y cuya presión tiene que ser mayor que la del petróleo o del gas al nivel correspondiente en la caverna.

La caverna deberá estar situada por debajo del nivel freático de tal forma, que la presión de las aguas subterráneas sobre las paredes de la caverna sea siempre y en cada parte, mayor que la presión dentro de ella.

Una pequeña cantidad de agua siempre se filtra dentro de las cavernas, ya sea goteando sobre la superficie -



del petróleo o corriendo a lo largo de las paredes de la caverna. El agua filtrada fluye al lecho de agua donde la cantidad adicional de este líquido es bombeado fuera automáticamente.

Las bombas pueden ser, tanto bombas sumergibles suspendidas de la tubería de descarga y situadas en la abertura de la tubería que va de la caverna a la superficie, como bombas de traseiego convencionales instaladas en la cámara de bomba seca, situada a su vez, en el nivel inferior de la caverna y separada de esta; -- también se utilizan éstas para la carga y descarga del petróleo. Una cámara de bomba seca se construirá por ejemplo, cuando la capacidad de las bombas tiene que ser grande o cuando el petróleo que ha de almacenarse sea calentado. En caso de que se quiera mantener la temperatura del petróleo que ha de ser almacenado en la caverna, diferente a la temperatura de la roca alrededor, se hace circular, ya sea el petróleo almacenado o el agua del lecho a través de un intercambiador de calor. La roca seca por sí, es un buen aislador del calor, por ejemplo: petróleo calentado a una temperatura de 50°C. a 70°C., se enfría solamente 1 a 2°C. -- por mes si no es calentado durante ese período.

La ubicación de la caverna se selecciona de forma tal, que la alimentación de aguas subterráneas se pueda garantizar, en otras palabras, la caverna habrá de estar situada preferencialmente cerca del mar, cerca de un lago o río y aún debajo de ellos.

Debido en parte a la necesidad de agua subterránea y -- en parte a la mecánica de las rocas, deberá haber una

capa de roca encima del techo de la caverna, cuyo grosor tenga un mínimo de aproximadamente 20 metros. Este valor es muy relativo y depende de la compañía la cual realice el tipo de almacenamiento, debido a que unas dicen que es conveniente tener de espesor la misma altura de la cavidad o dos veces la altura, o simplemente unos cuantos metros.

Dependiendo del principio de operación del lecho de - agua, se pueden clasificar en dos tipos de cavernas:

1.- Caverna con un Lecho de Agua Fluctuante

En este tipo de caverna, el nivel superior del producto almacenado se mantiene a una altura casi constante mediante la variación del grosor del lecho de agua con relación hasta donde se llena la caverna.

Cuando la caverna está "llena", el grosor del lecho de agua se mantiene al mínimo y cuando la caverna - está "vacía", se llena de agua. El agua y el petr^oleo se deben siempre manejar simultáneamente y a velocidades similares. Especialmente cuando se quiere conseguir mayores velocidades para llenar las cavernas, el bombeo y la purificación de las cantidades correspondientes de agua causan grandes inver--siones y costos de operación.

Una ventaja de este tipo de cavernas es el nivel casí constante de la superficie del petróleo. Por - consiguiente, el volumen del gas evaporado es también constante. Además, se le puede almacenar en un espacio reducido. El control de tal espacio reducido para el gas, implica la prevención de ries-

go de explosión. La Fig. 3, nos muestra una representación sencilla de lo que sería una caverna con las características mencionadas.

2.- Caverna con Lecho de Agua de Nivel Fijo

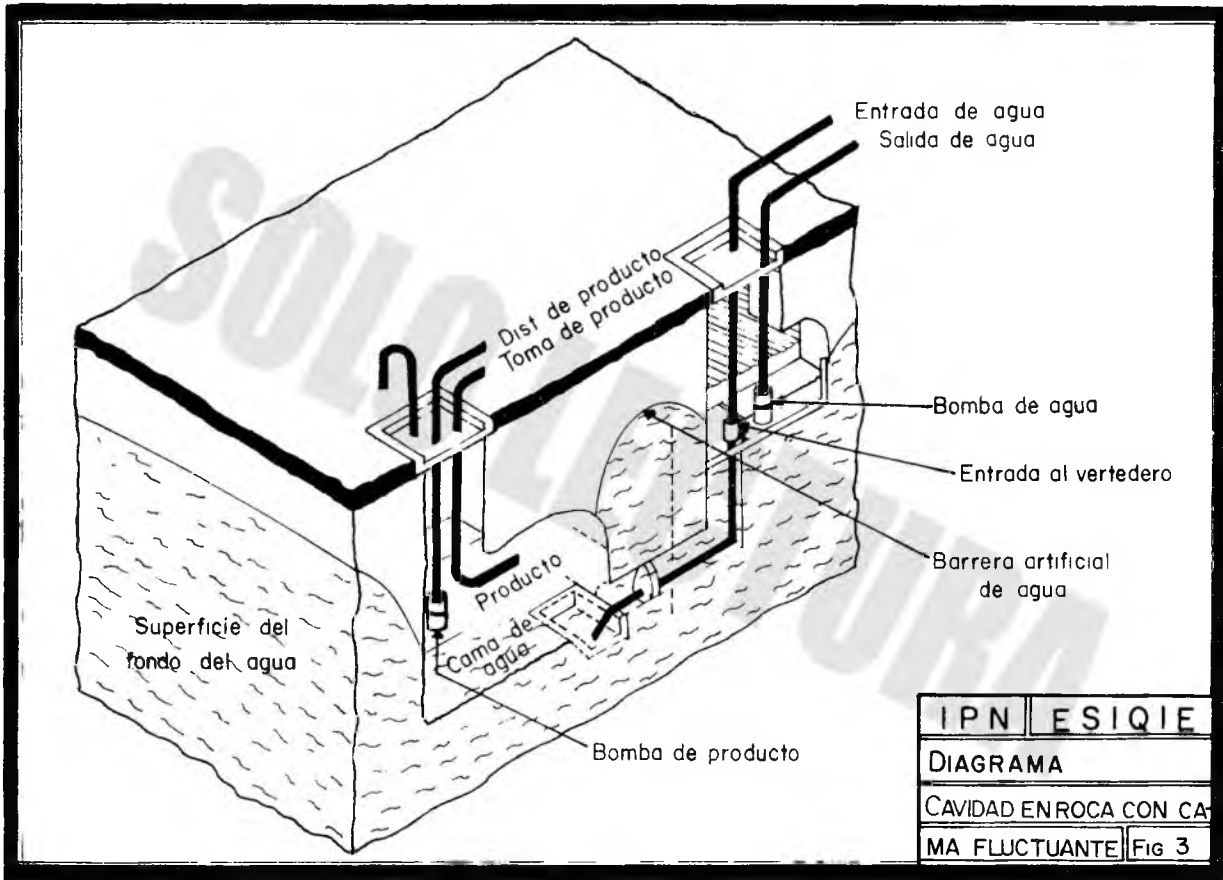
En este tipo de caverna, el petróleo flota sobre una capa de agua de un grosor constante por lo general de 0.5 metros (1.6 pies) aproximadamente, - pero siempre menor de un metro. Un vertedero cercando el foso de la bomba mantiene normalmente el grosor constante del lecho de agua.

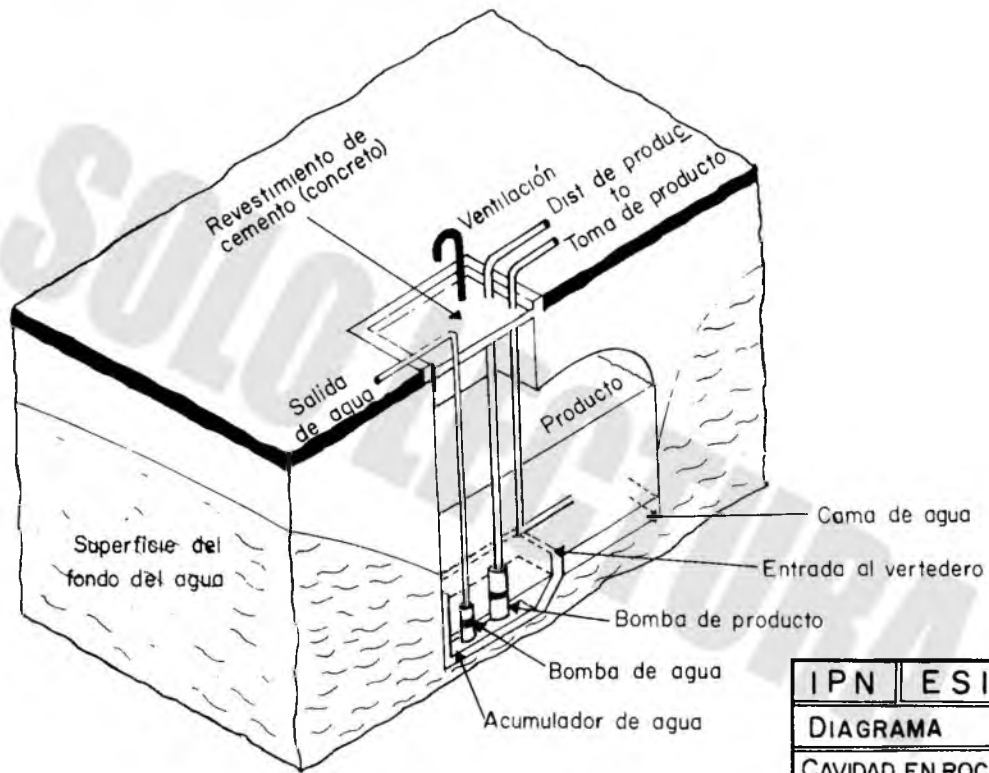
En la caverna no hay otra agua que bombear sino - la que se filtra dentro de ella.

El nivel de la superficie del petróleo fluctúa de acuerdo con el grado de lleno de la caverna, igualmente el volumen del espacio de gas encima del petróleo, fluctúa causando por consiguiente, en algunos casos, riesgos de explosión debidos a la mezcla del aire y de los gases evaporados del petróleo.

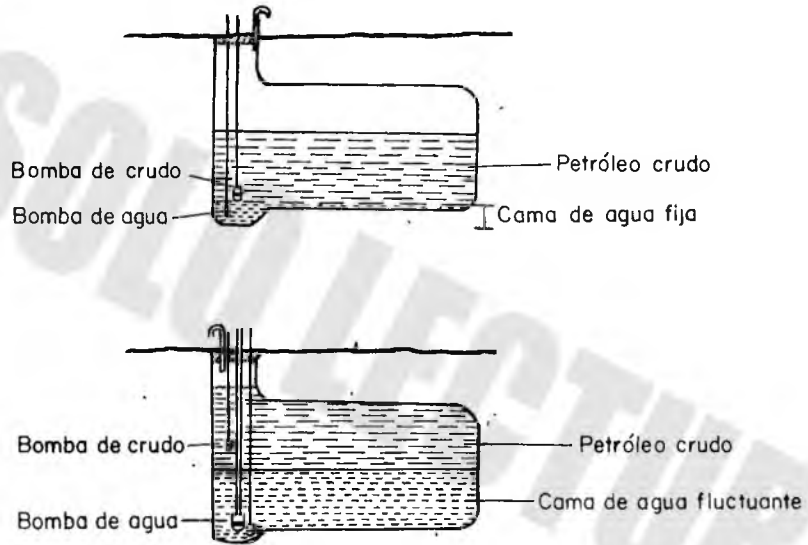
La velocidad del llenado de la caverna está limitada solamente por el tamaño de la tubería, o por la capacidad de las bombas. Como se puede apreciar - en la Fig. 4, se observa a grandes rasgos un corte de una caverna de este tipo. La Fig. 5, es una representación esquemática de estos dos tipos de cavernas vistas de manera lateral.

Generalmente debido a que la excavación causa los mayores gastos y representa el mayor egreso en el





IPN	ESIQIE
DIAGRAMA	
CAVIDAD EN ROCA CON	
CAMA FIJA	Fig 4

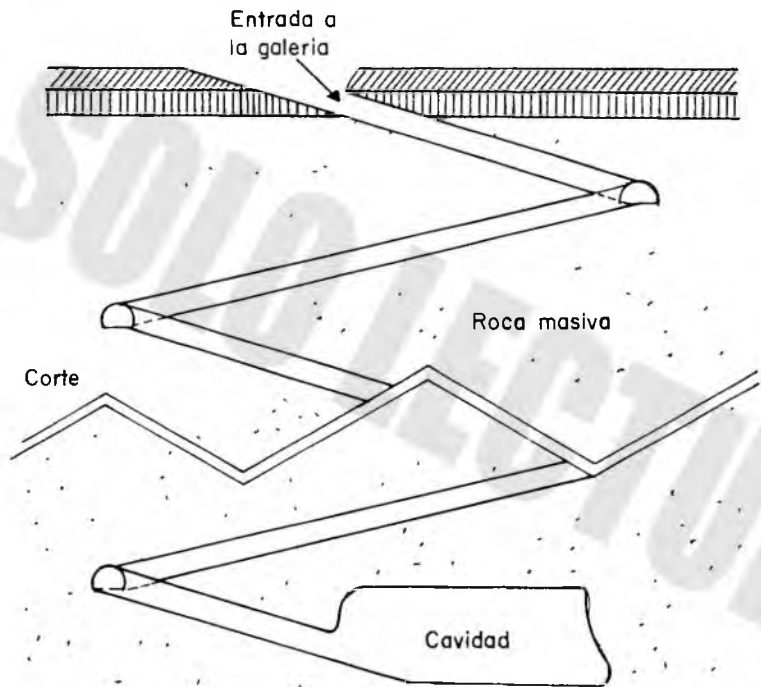


IPN	ESIQIE
DIAGRAMA	
PERFIL DE LAS 2 CAVI-	
DADES EN ROCA	Fig 5

trabajo de la construcción de cavernas minadas en roca, la forma de la caverna debe desarrollarse - tan ventajosamente como sea posible desde el punto de vista técnico de la excavación. Tal construcción es, en la mayor parte de los casos, un túnel cuyo corte es tan grande como sea posible, siendo el techo más factible el de forma arqueada. La ubicación de la caverna y la selección del corte del túnel, deberán hacerse en base a investigaciones geológicas y estudios sobre la mecánica de las rocas. El sistema del túnel podrá ser ampliado y no existe otro límite para el volumen de la caverna que la cama de roca en sí, con sus zonas quebradas, etc.

El almacenamiento subterráneo es equipado normalmente con todos los instrumentos para el control remoto de la presión, de los niveles de la superficie, de las temperaturas y para verificar las operaciones del equipo.

Las cavernas se excavan utilizando túneles de acceso inclinados. Los túneles han permitido el libre acceso de los trabajadores y de la maquinaria al lugar de trabajo. También la piedra de la excavación ha sido transportada a través de estos túneles. Los túneles de acceso sirven también como canales de ventilación que sirven eficazmente para la salida de los gases producidos por las detonaciones y por los vehículos funcionando en el subsuelo. La Fig. 6, nos muestra de manera general lo que es una cavidad rocosa como la descrita anteriormente.



IPN	ESIQIE
DIAGRAMA	
TUNEL DE ACCESO A	
LA CAVIDAD	Fig 6

Las cavernas se excavan generalmente en tres fases: la primera fase comprende la parte superior de la caverna, la parte del techo. La excavación se lleva a cabo mediante el método normal de excavación de túneles; la segunda fase, la parte media de la caverna, se excava utilizando el método de excavación escalonado vertical. Igualmente, éste método, se utiliza también en la tercera fase, la parte del suelo de la caverna.

El tiempo utilizado para determinar una caverna subterránea, excluyendo el de la investigación de la cama de roca, ha sido de 18 a 25 meses. Los costos de inversión por m³. de caverna subterránea comparados con los tanques de acero, han sido de aproximadamente 2/3, excluyendo los costos de propiedad y los beneficios obtenidos de la piedra quebrada de las excavaciones. Más aún, los costos de operación y servicio, han sido aproximadamente una quinta parte comparados con los de los tanques superficiales.

En algunas ocasiones este tipo de cavernas son utilizadas como depósitos de pequeños volúmenes de gas natural para picos de consumo o como reservorios de aire comprimido para industrias.

MINAS ABANDONADAS

La realización de almacenamientos subterráneos en antiguas minas abandonadas es muy aleatoria, debido principalmente a las sorpresas que se pueden encontrar en las rocas encajantes (fisuras importantes, mala estabilidad de los terrenos, grietas, diaclasas, etc.), -

también a que muy raramente reúnen las condiciones hidrológicas adecuadas y con estos inconvenientes pueda resultar que se deba abandonar el proyecto después de haber efectuado trabajos de adecuación muy importantes y costosos.

EXPLOSIONES NUCLEARES

La técnica de almacenamiento subterráneo en cavidades nucleares está aún en fase experimental.

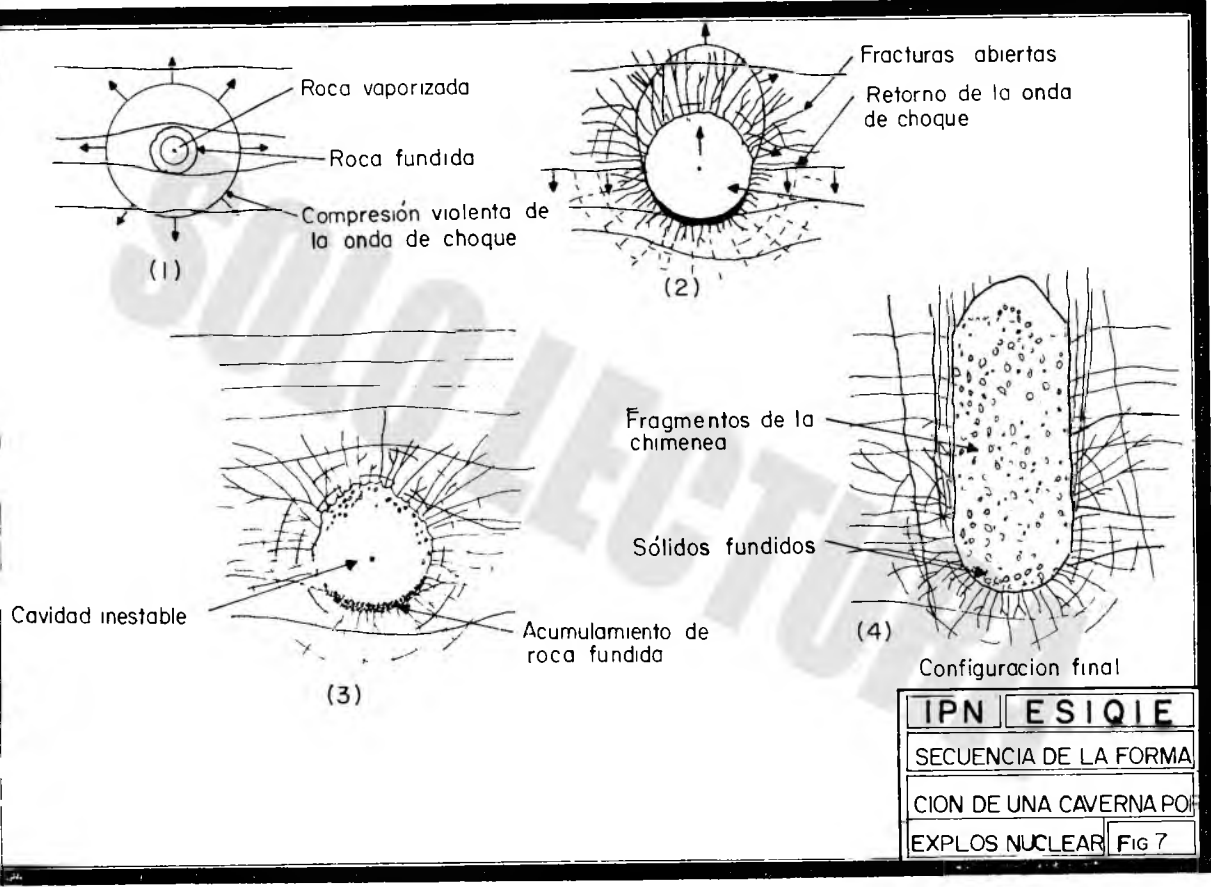
El concepto se basa en la existencia de un volumen poroso con permeabilidad infinita dentro de una chimenea nuclear. Una chimenea nuclear se forma por el derrumbe de las rocas fracturadas debido a una explosión controlada a una determinada profundidad.

Su altura puede alcanzar hasta 6 veces el radio de la cavidad. Generalmente los proyectos en estos tipos de almacenajes contemplan la realización de más de una cavidad, de acuerdo a los volúmenes necesarios de almacenar.

Tratándose de gas natural, para profundidades de tiro entre 1,000 y 1,500 metros y cargas de explosivo comprendidos entre 50 y 200 kilotoneladas (equivalente a TNT), se pueden almacenar entre 15 y 70 millones de m^3 . medidos en condiciones standard. La obtención de la chimenea nuclear se muestra en las Figs. 7 y 8.

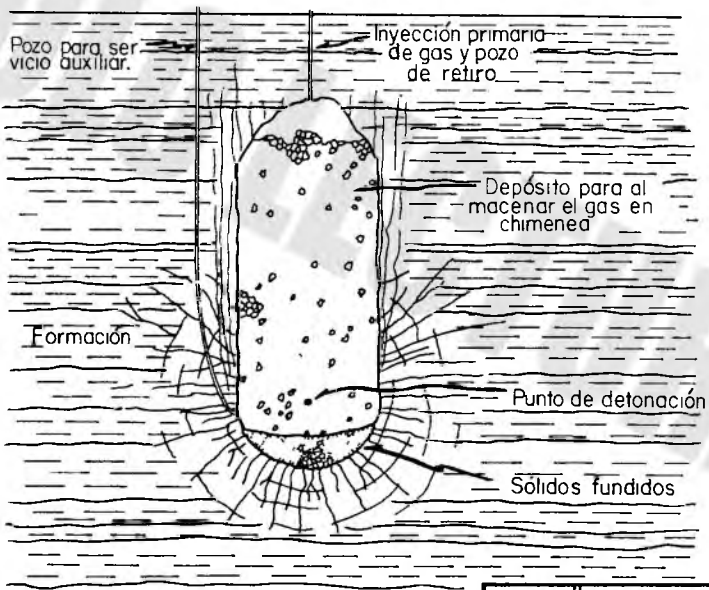
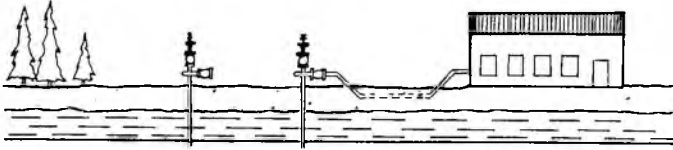
YACIMIENTOS AGOTADOS DE GAS O PETROLEO

Estos almacenes tienen la ventaja de utilizar resorvo



IPN	ESIQIE
SECUENCIA DE LA FORMA	
CION DE UNA CAVERNA PO	
EXPLOS NUCLEAR	Fig 7

Estación de compresores,
medición, sistema de des
hidratación etc



IPN	ESIQIE
DEPOSITO CREADO POR	
EXPLOSION NUCLEAR PA	
RA ALMACENAR GAS	Fig 8

rios donde un máximo de información geológica y de producción ha sido recogida en el transcurso del desarrollo y de la explotación del yacimiento. Dicho proceso es económico, pues los antiguos pozos de producción - pueden ser adaptados como pozos inyectoros o productores. Además, en el caso de yacimientos gasíferos, ya se cuenta con el "colchón de gas", que en la práctica se ha comprobado que ocupa hasta un 50% de la capacidad total del reservorio y no es recuperable, pero fundamentalmente es necesario que el volumen poroso, la permeabilidad y la profundidad del yacimiento así como su ubicación geográfica, permitan utilizar el reservorio como almacenaje rentable.

EN ACUIFEROS

Su desarrollo en el mundo es considerable. A principios de la década de los años 60, se había alcanzado un desarrollo importante en esta técnica.

Para crear un almacenamiento clásico en capa acuífera, es necesario encontrar reunidas simultáneamente tres realidades geológicas:

- 1.- Un anticlinal con cierre suficiente (cierre es la distancia entre el punto más elevado del anticlinal y el plano horizontal, correspondiente a la línea de fuga relativamente más alta).
- 2.- Una formación almacén-porosa y permeable.
- 3.- Una formación impermeable, susceptible de constituir una cobertura estanca encima del almacén y de

impedir al gas emigrar verticalmente.

En la Fig. 9, se presentan las características requeridas del subsuelo, para realizar un almacenamiento - acuífero.

A continuación, se dará una descripción somera de las diferentes fases de exploración de una estructura para constituir un almacenamiento en acuífero.

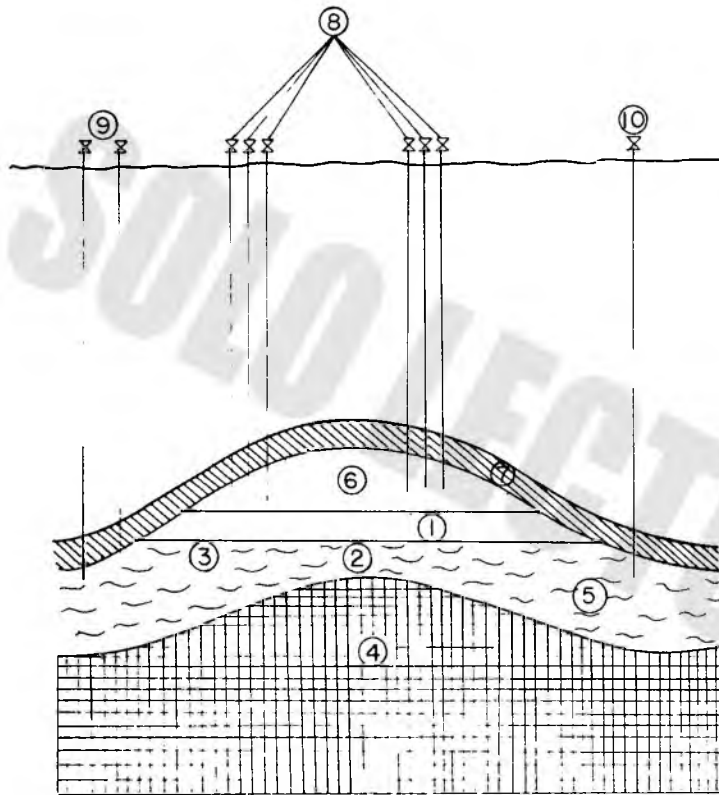
Primera fase: reconocimiento por geología de superficie y examen de todos los trabajos y estudios ejecutados. Este reconocimiento se completa con la ejecución de las campañas de geofísica de "gran reconocimiento".

Un cierto número de zonas altas son así localizadas y lo más frecuente, definidos posibles almacenamientos entre 500 y 1,500 metros de profundidad, aproximadamente.

En la eventualidad de una falla, la exploración no se continuará, más que el caso de coberturas potentes y plásticas. Así, estructuras válidas desde el punto de vista investigación petrolífera, pueden no serlo desde el punto de vista de los almacenamientos subterráneos.

Segunda fase: esta fase comprende un estudio más detallado de una zona alta.

La sísmica de exploración petrolífera debe proporcionar informaciones estructurales a gran profundidad y esto en perjuicio, a veces, de los horizontes menos profundos que, para ser seguidos con precisión, nece-



- 1.-Colchón de gas
- 2.-Agua
- 3.-Contacto gas agua
- 4.-Roca de basamento
- 5.-Acuífero
- 6.-Gas utilizable
- 7.-Roca de cobertura
- 8.-Pozos de inyección y producción
- 9, 10.-Pozos de observación
- 11.-Nivel de superficie

IPN	ESIQIE
DIAGRAMA DE:	
ALMACENAMIENTO EN	
ACUIFERO	Fig 9

sitarán la utilización de parámetros y de dispositivos poco adaptados, así como la elaboración de correcciones muy precisas.

La experimentación debe ser dirigida aquí de forma que se determinen, por una parte, los mejores métodos de tiro, así como las correcciones a efectuar; por otra parte, a dibujar el plano de isocronas en la zona explorada, a fin de transformar con precisión los resultados-tiempos, en función de los resultados-profundidad. Estos ensayos definirán una exploración bastante diferente y más complicada que la utilizada en las campañas petrolíferas sobre el mismo perímetro (dispositivo sísmográfico de 48 trazas del tipo "tiro al centro", distancia entre trazas de 40 metros).

Tercera fase: aquí se efectúa un estudio profundo del (o de los) conjunto (s) almacén-cobertura, con ayuda de unos sondeos profundos. Estos servirán igualmente, para precisar los puntos estructurales delicados, precisar un accidente, buscar el valor exacto de un cierre, al mismo tiempo que definir la superficie cerrada.

El programa de sondeos mecánicos es bastante importante. El primer sondeo de exploración se efectúa de forma que la mayor parte de la cobertura y la totalidad del almacenamiento sean con recuperación continua de testigo, a fin de proceder a medidas sistemáticas de porosidad y permeabilidad.

El programa de diagraffas debe ser muy completo especialmente en los primeros pozos, ya que en este programa, el que permitirá ulteriormente aligerar la altura

del sondeo con recuperación continua de testigo, en la medida en que una diagraffía de porosidad sea seleccionada, permitirá precisar convenientemente los valores de porosidad.

El almacén debe, además, ser ensayado mediante pruebas de producción y de aumento de presión suficientemente prolongada.

Cuarta fase: un primer estudio de reflexión debe ser hecho a partir de los elementos de que se dispone y - conduce a una previsión basta, pero significativa, de las características de explotación principales del fu turo almacenamiento.

En esencia, se debe evaluar, en el estado de los con cimientos adquiridos, el volumen almacenable, el volu men útil, preveer la evolución de las presiones en el curso de un ciclo de emisión-inyección, determinar el caudal probable de un pozo y, como consecuencia, el nú mero de pozos necesarios para la extracción de un volu men diario mínimo.

Quinta fase: (última fase); si la economía del almace namiento parece viable, se prosigue la exploración con la ejecución de nuevos sondeos en el almacenamiento, - que serán utilizados como pozos de explotación o con trol, pero que en principio serán efectuados ensayos - de producción y diagraffas de porosidad seleccionados en el momento de la tercera fase de explotación. Ade más, la base de la cobertura y la parte útil del alma cenamiento, serán perforados con recuperación sistemá tica de testigos y serán objeto de medidas de porosidad

y de permeabilidad horizontal y vertical.

La probabilidad de éxito es entonces alta y crece, salvo accidente, con cada sondeo. La fase de la búsqueda está prácticamente terminada para el geólogo y son los problemas de mecánica del almacenamiento los que son entonces preponderantes.

De acuerdo a estudios realizados, se concluyó que para efectuar el almacenamiento subterráneo de gas natural, la solución más generalizada, por ser más segura y menos costosa que las demás que actualmente puedan ser consideradas, es el almacenamiento acuífero.

2.2 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO
Y COMPARACION CON EL ALMACENAMIENTO
SUPERFICIAL

Debido al incremento en el consumo de hidrocarburos y de la creciente necesidad de almacenarlos para poder distribuirlos a las zonas que lo requieran, el almacenamiento subterráneo se presenta como una alternativa importante para este fin. El lugar apropiado para poder establecerlo, deberá reunir determinadas características dependiendo del tipo -- que se desee implantar.

Aunque también se pueden instalar tanques superficiales de almacenamiento si no existe la posibilidad de poder llevar a cabo el subterráneo, esto es, que no se lleguen a reunir las características adecuadas que lo respalden.

La gran importancia que reviste el almacenamiento subterráneo se aprecia notablemente efectuando un análisis comparativo con respecto al convencional, el cual se puede resumir en lo siguiente:

- En el aspecto referente a la capacidad de almacenamiento se posee un mayor volumen en el subterráneo; únicamente se encuentra limitado por la extensión del yacimiento (puede ser roca, domo salino, acuífero, etc.) y generalmente este es muy grande.
- Referente al terreno, el almacenamiento subterráneo es una alternativa atractiva desde este punto de vista, ya que permite doblemente el uso beneficioso de la misma área. Además de permitir ahorros en el costo de propiedad, se hacen considerables ahorros en la preparación del terreno para la industria, por ejemplo: construcción de caminos, sistema de alcantarillado, red de distribución eléctrica, etc.

Haciendo una comparación más directa en este punto, tenemos que si se deseara almacenar unos 5MM de m³ de crudo en cavernas o domos salinos se utilizarían unas 150 hectáreas menos que en la construcción de tanques superficiales. Cabe hacer mención que una vez terminado el almacenamiento subterráneo, su existencia muy difícilmente puede notarse desde afuera, ya que como se mencionó, el área superficial ha sido ocupada en otras instalaciones.

- Respecto a la seguridad, los tanques superficiales corren un gran riesgo en un incendio accidental o bien en algún acto de sabotaje o bombardeo aéreo, mientras que el almacenamiento subterráneo ofrece una gran garantía con respecto a incendios a la falta de oxígeno (aire) en el subsuelo y sólo sus instalaciones de superficie tienen el riesgo de ser destruídas por incendio o por un accidente grave. Estratégicamente en caso de un bombardeo o un ataque militar, si bien la infraestructura montada sobre el terreno puede sufrir deterioros parciales o totales, toda fuga es imposible debido a los dispositivos de seguridad situados profundamente en el interior de los pozos. Se debe considerar también que el principio mismo de almacenamiento subterráneo, evita la posibilidad de una contaminación de los niveles freáticos, garantizando que los datos hidrológicos sean confiables.

- Haciendo mención a la protección del medio ambiente (ecología) en el almacenamiento subterráneo se presentan mínimas pérdidas por evaporación, como-

consecuencia de que el producto se encuentra perfectamente confinado y de esta manera es mínima - la contaminación. Permite el aprovechamiento de la superficie del terreno a excepción del ocupado por los pozos y las instalaciones de acondicionamiento, compresión o bombeo y control. Contribuye a la solución del problema estético con respecto - al urbanismo actual.

- Entre los puntos de mayor importancia destaca principalmente el aspecto económico, referente a éste, se puede decir que en términos generales el almacenamiento subterráneo presenta menores costos unitarios por construcción conforme aumenta la capacidad, los gastos de explotación de los productos almacenados y el mantenimiento de las instalaciones, resultan notablemente inferiores a la de un almacenamiento convencional y también se requieren menores costos de operación. Se deben tomar en cuenta ciertos factores para efectuar la comparación económica entre los dos tipos de almacenamiento, entre - los cuales tenemos:

- a) Las características de los productos a almacenar.
- b) La situación geográfica del lugar donde se requiere.
- c) La capacidad de almacenamiento, etc.

- Otro (s) punto (s) de interés y a favor del almacenamiento subterráneo como consecuencia de su gran capacidad de almacenamiento es: la modulación estacional y cubrimiento de los picos de consumo --

(generalmente en países desarrollados en el que - el consumo es muy aleatorio; en verano muy poco - mientras que en invierno es muy elevado).

Analizando los puntos expuestos en esta parte, se pueden apreciar notables ventajas del almacenamiento subterráneo con respecto al superficial, las cuales revisten en él una importancia que lo hace aconsejable para este fin.

SOLO LECTURA

2.3 CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS

A ALMACENAR

SOLO LECTURA

Una de las prominentes zonas de producción de petróleo en México es sin lugar a dudas la Sonda de Campeche, en la cual se obtiene el 71% del total de crudo diario.

La producción de ésta Sonda en el año de 1984 será de 2 MMBPD de crudo aproximadamente, procediendo el 62% de crudo pesado (1.3 MMBPD) de los campos productores KU, MALOOB, CHAC y CATARELL (AKAL-C, AKAL-J, NOHOCH) y el resto (0.7 MMBPD), de crudo ligero de los campos ABKATUN, POL, CHUC, OCH, IXTOC, CAAN, KAB Y ACANUN.

Los datos anteriores nos muestran que la producción de crudo pesado es mayor que la de crudo ligero, siendo esta observación permanente para los futuros años.

Las diversas propiedades características de cada crudo, presentan una singular importancia, para el almacenamiento del mismo.

Tomarlas en consideración permite determinar por ejemplo, el grado de vaporización que pudiese tener y así detectar el efecto que ocasionaría en la operación, por el acumulación de gas; por la densidad y altura de la cavidad, calcularíamos la presión que tendría la columna, etc.

Considerando que uno de los problemas es la falta de almacenamiento para crudo de exportación, lo viable es que el producto se encuentre estabilizado para evitar al máximo posibles vaporizaciones.

Para dar una representación de ambos, se mostrarán a continuación las principales características del crudo tipo AKAL y del crudo tipo POL, pesado y ligero respectivamente.

Cualquiera de estos dos puede ser el indicado para utilizarse como representativo en el almacenamiento.

Es conveniente indicar que las características de los mencionados crudos, no corresponden a los de exportación pero nos da una idea aproximada de ellos.

SOLO LECTURA

CARACTERISTICAS DEL PETROLEO CRUDOCOMPOSICION (%Mol.)T I P O

<u>COMPONENTE</u>	<u>AKAL (Pesado)</u>	<u>POL (Ligero)</u>
	<u>Maya</u>	<u>Istmo</u>
Agua	0.0	0.033
Ac. Sulfhídrico	0.122	0.103
Bióxido de Carbono	0.037	0.055
Nitrógeno	0.0	0.0
Metano	0.073	0.199
Etano	0.560	0.706
Propano	2.259	2.249
i-Butano	0.802	0.787
n-Butano	3.147	2.746
i-Pentano	1.531	1.203
n-Pentano	1.797	1.726
n-Hexano	6.095	1.402
Heptanos	5.127	9.126
Octanos	6.963	11.825
Nonanos	6.594	3.575
Decanos	6.150	11.687
Undecanos	58.743	2.9
Dodecanos	----	7.879
Tridecanos	----	0.813
Tetradecanos	----	7.452
Pentadecanos	----	2.562
Hexadecanos	----	4.206
Heptadecanos	----	0.605
Octadecanos	----	3.575
Nonadecanos	----	2.041
Eicosanos	----	20.545

CARACTERISTICAS DEL PETROLEO CRUDO

<u>PROPIEDADES</u>	<u>T I P O</u>			
	<u>AKAL (Pesado)</u>		<u>POL (Ligero)</u>	
	<u>Maya</u>		<u>Istmo</u>	
Peso Molecular	287.941		227.182	
Pr (°API)	23.435		36.613	
P a P y T	56.15	lb/pie ³	51.9063	lb/pie ³
Cp a P y T	0.4371	BTU/lb °F	0.4740	BTU/lb °F
Viscosidad	56.061	cp	10.2874	cp
Cond. Térmica	0.0726	BTU/Hr-pie-°F	0.079	BTU/Hr-pie-°F
Entalpía Esp.	-4238.86	BTU/lb mol	-963.26	BTU/lb mol
Temperatura	108.0 °F	(42.22 °C)	94.88 °F	(34.93 °C)
Presión	0.0	lb/plg ²	2.0	lb/plg ²
Pv	13.58	lb/plg ²	17.08	lb/plg ²
RGA	80	m ³ /m ³	135.1	m ³ /m ³
Temp. de Inflamación	-----		-----	
Temp. de Escurrimiento	-36	°C	-48	°C

CAPITULO III

SELECCION DEL TIPO DE
ALMACENAMIENTO ADECUADO
PARA PETROLEO CRUDO

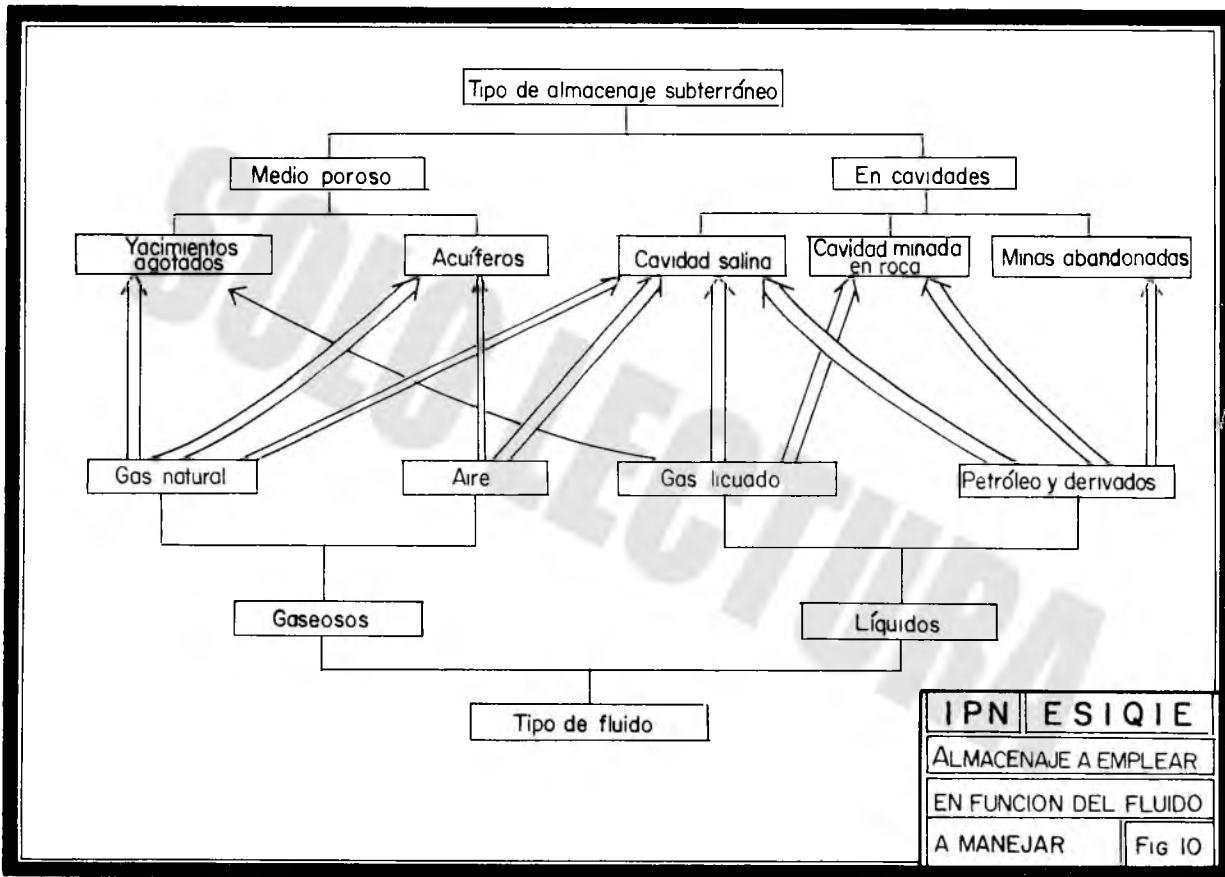
Como ya se mencionó, lo que se pretende efectuar es la implementación de un sistema de almacenamiento de crudo, que sea apropiado y que reúna las mejores características con respecto a otros. Este almacenamiento se requiere desarrollar en la zona Sur de nuestro País con la finalidad de eliminar el cierre parcial de pozos originado por no tener un balance apropiado en el sistema de exportación. Por lo anterior, se estima que la capacidad de almacenamiento a considerar deberá ser aproximadamente 10 MMB.

De acuerdo a ciertos estudios realizados referente al uso del almacenamiento subterráneo para almacenar fluidos líquidos y gaseosos, se llegó a un importante diagrama que nos sirve para darnos una idea de cual es el más acertado a utilizar. Este diagrama se representa en la Fig. 10 y nos muestra la relación existente entre los diversos tipos de almacenaje y los distintos fluidos, indicándonos el mayor grosor de la flecha, mejor factibilidad de utilización y la de menor grosor la opción más inaceptable a utilizar.

Es conveniente hacer la aclaración que no se toma en cuenta en el diagrama el almacenamiento realizado por explosiones nucleares debido a que se encuentra todavía en etapa de experimentación, aunque se puede mencionar que su estudio está preferentemente enfocado al almacenamiento de fluidos gaseosos.

A continuación se realizará una serie de observaciones que aunque son superficiales, representan una justificación por la cual se omiten ciertos tipos de almacenajes.

Con respecto al almacenamiento superficial se estima que sólo lo representa beneficios económicos apreciables para volúme



IPN	ESIQIE
ALMACENAJE A EMPLEAR	
EN FUNCION DEL FLUIDO	
A MANEJAR	FIG 10

nes menores a los 4 MMB, además de que ocuparía un área territorial demasiado extensa y su tiempo de construcción es prolongado, motivos por los cuales se omite éste.

Enfocándonos ahora al almacenamiento subterráneo, tenemos que, de las dos divisiones en que se clasifica el almacenamiento (según gráfica), el que se realiza en medio poroso tiene una amplia utilidad para almacenar fluidos gaseosos, mientras que el efectuado en cavidades se utiliza esencialmente para fluidos líquidos (gas licuado, petróleo y derivados).

Refiriéndonos al almacenamiento en medio poroso, se tienen referencias de que un alto porcentaje del fluido a almacenar (aprox. 50%), se queda atrapado y no es posible recuperarlo, generando una gran pérdida económica y que su adecuación es compleja y costosa, además de que el objetivo primordial está enfocado al almacenamiento de un fluido líquido y no gaseoso, por lo que se excluye éste.

Por consiguiente, se efectuará un análisis de los tres diferentes tipos de cavidades que existen para seleccionar cual es la más aceptable.

Con respecto a las minas abandonadas podemos decir que muy pocas veces reúnen las características apropiadas para poder efectuar un reacondicionamiento seguro que garantice el costo de la inversión y la cantidad de fluido a manejar (almacenar); aunado a que no es posible contemplarla por la sencilla razón de que en el área Sur se carecen de minas.

Por último, resta mencionar que con motivo de grandes exploraciones petroleras en la región mencionada, se posee infor

mación de la existencia de grandes áreas constituidas de sal y de extensiones rocosas que son propicias para llevar a cabo un almacenamiento por medio de cavidades salinas o bien, en cavidades minadas en roca respectivamente.

Considerando que la zona tiene un alto índice probabilístico de sismos, el almacenamiento en cavidades rocosas puede sufrir deterioros considerables que representan una gran inseguridad en su vida útil, sin embargo, la sal presenta alta maleabilidad que permite amortiguar los movimientos sísmicos.

Referente a otros parámetros, las ventajas que ofrecen cualquiera de los dos son muy similares y por consiguiente ninguno de ambos resulta beneficiado, excepto en el aspecto económico.

Efectuando un análisis económico entre ambos almacenamientos se obtuvo la Fig. 11, la cual nos muestra que el costo por barril almacenado en cavidades salinas es menor que el de cavidades en roca.

Por lo anterior y considerando que el aspecto económico es uno de los puntos determinantes en la decisión de la elección de cualquier proyecto, es factible utilizar el almacenamiento en domo salino.

COSTO POR BARRIL INSTALADO

DOMOS
SALINOS

CAVERNAS
EN ROCA

.....

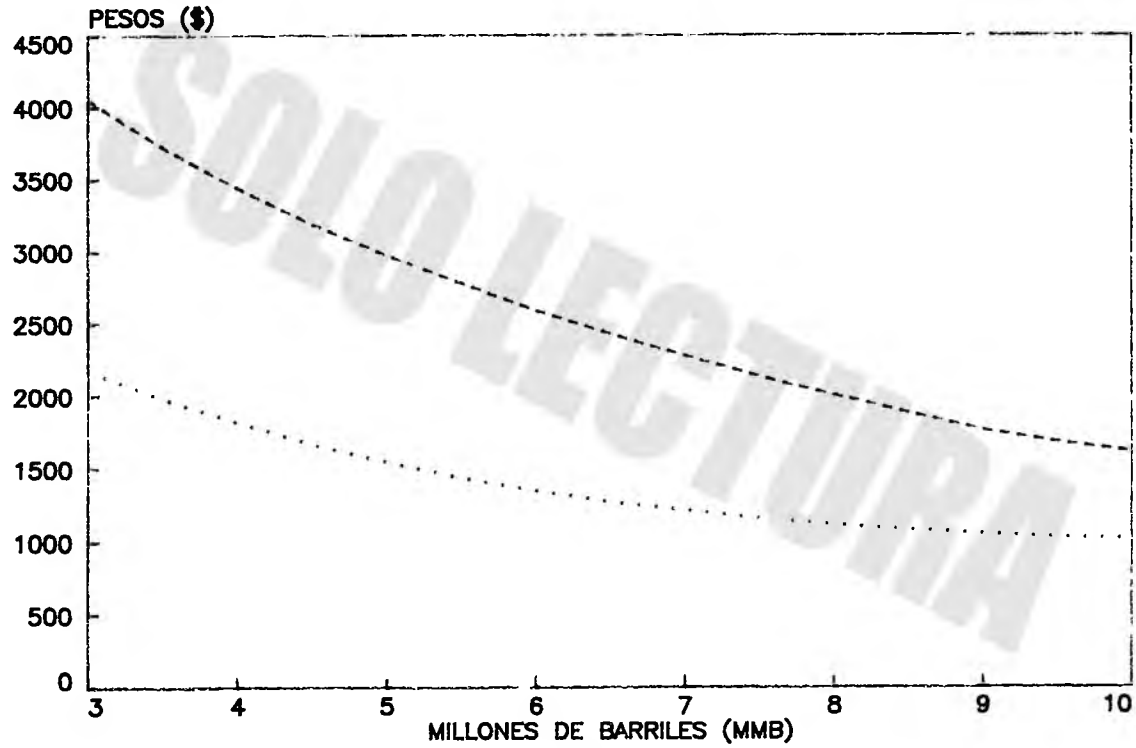


FIG. 11

CAPITULO IV

DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO
EN ESTRUCTURAS SALINAS

En este capítulo se tratará exclusivamente el almacenamiento en cavidades salinas como consecuencia de su selección obtenida anteriormente.

Se darán a conocer los factores fundamentales que aportan los aspectos más sobresalientes para la realización de la cavidad, indicando someramente la finalidad de cada uno.

Una vez efectuado lo anterior, nos abocaremos en que consiste la construcción en sí, analizándola de dos diferentes - puntos de vista que son:

- 1.- Independientemente de la capacidad que se requiere almacenar, se mencionará la secuencia lógica a seguir en la realización de la cavidad.
- 2.- Siguiendo la referencia del punto anterior, se -- efectuará la construcción de una cavidad con capacidad de 2 MMB, tomando como datos geológicos indispensables los obtenidos en Tuzandepelth, Veracruz (México), efectuando los cálculos apropiados que garanticen su buena operación.

4.1 FACTORES FUNDAMENTALES PARA EL
DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO EN
ESTRUCTURAS SALINAS

Lo siguiente es de singular importancia, ya que nos proporciona una información adecuada que se deberá considerar para realizar la construcción de una cavidad salina. Aunque pueden existir otros factores, los que se mencionan a continuación son los que presentan mayor relevancia por ser los más comunes; estos son:

- a) Que la cima de la estructura se encuentre a poca profundidad y que exista una capa impermeable sobreyaciéndola, esto es, con la finalidad de que los costos de perforación hasta la cima no sean grandes. Aunque esto está sujeto a realizar un análisis económico, que comparándolo con otros medios resulte ser mejor que ellos, no siendo este factor determinante. Con respecto a la capa impermeable se refiere a una porción en la parte superior, conocida como capa de roca (Cap Rock), que se sugiere posea un espesor adecuado para estos fines. Este espesor de Cap Rock no deberá ser muy grande, ya que puede ocasionar problemas serios durante el período de perforación, desviando la verticalidad del tubo considerablemente.
- b) Que el espesor de la sal sea suficiente para la generación de la cavidad tomando en cuenta su probable ampliación. Con respecto a este factor, se puede considerar que el espesor de la sal es un tanto relativo de acuerdo a los fines que se persiguen con la cavidad a realizar y la capacidad que se desea almacenar en él. Aunque se recomienda preferentemente que el espesor de la sal sea grande, no es imprescindible que así sea, ya que existen dos técnicas para realizar la operación de-

pendiendo del tamaño del espesor, las cuales se mencionan posteriormente.

- c) Que la formación salina seleccionada debe ser homogénea y de una pureza mayor de 95% de sal gemma o cloruro de sodio, ya que se pueden encontrar otras sales como el cloruro de potasio, sulfatos y anhídritas; además de las que se consideran directamente como impurezas, las cuales son las evaporitas, óxido de fierro, residuos, etc.

Cabe mencionar que al localizar un domo, entre más abajo de la cima de éste, se analice su composición, se tendrá más contenido de impurezas; esto es, debido a que en su formación natural, la sedimentación de las sales fué gradual con respecto a sus características, así se tiene que, se depositaría primero el cloruro de potasio seguido del cloruro de sodio, cloruro de magnesio y si la desecación que originó esta disposición fué muy severa, se tendrán también bromuros presentes.

- d) Que exista la disponibilidad de suficiente agua dulce para la generación de la cavidad. Se requiere que al agua a utilizar se le efectúe un tratamiento con la finalidad de que no existan microorganismos que puedan causar problemas posteriores.

Es muy importante tomar en consideración qué capacidad de petróleo se desea almacenar y su posible ampliación ya que por cada cantidad que se requiere se deberá disponer de 7 veces la misma cantidad de agua dulce, aunque también existe la posibilidad de

utilizar agua de mar, pero obviamente la relación de agua a utilizar con respecto a petróleo a almacenar aumenta aproximadamente a 10. El motivo por el cual se puede utilizar el agua de mar es simplemente porque es una solución que no llega todavía a su punto de saturación. Una salmuera completamente saturada contiene de 300 a 350 gr. de sal/lt. aproximadamente, mientras que el agua de mar de 30 a 35 gr. de sal/lt. aproximadamente, por lo que su capacidad de disolución es todavía apreciable. Conviene indicar también que la salmuera obtenida durante la lixiviación posee de un 80 a 90% de saturación.

- e) Que deberá contar con sistemas apropiados para el aprovechamiento o desecho de la salmuera generada. Este punto es de gran importancia ya que debido a él, se puede llegar al abandono del proyecto como consecuencia de los gastos económicos que se originarían al realizar una inversión extra para elaborar un medio apropiado de eliminación que no afecte a la ecología.

Como solución a este problema, se tiene el de generar la cavidad cerca del mar y utilizar a éste como depósito de la salmuera. Para esto, se deberá adentrar a él hasta una zona adecuada que proporcione corrientes favorables para la dispersión de la salmuera y se evite al máximo posibles consecuencias a la fauna marina.

Es conveniente mencionar que no toda la salmuera generada se desecha ya que la correspondiente capaci-

dad de la oquedad se deberá tener en la superficie por medio de presas (y no tanques), para poder operar el sistema de almacenamiento. La indicada tendrá que ser saturada con la finalidad de no seguir con el proceso de disolución.

- f) Por último, que deberá contar con una ubicación - adecuada a los centros de producción, plantas procesadoras de hidrocarburos, sistemas de distribución o centros de consumo, con el objeto de que - los costos ocasionados para estos fines, sean lo menor posible y no repercutan considerablemente.

4.2 CONSTRUCCION DEL ALMACENAMIENTO

SOLO LECTURA

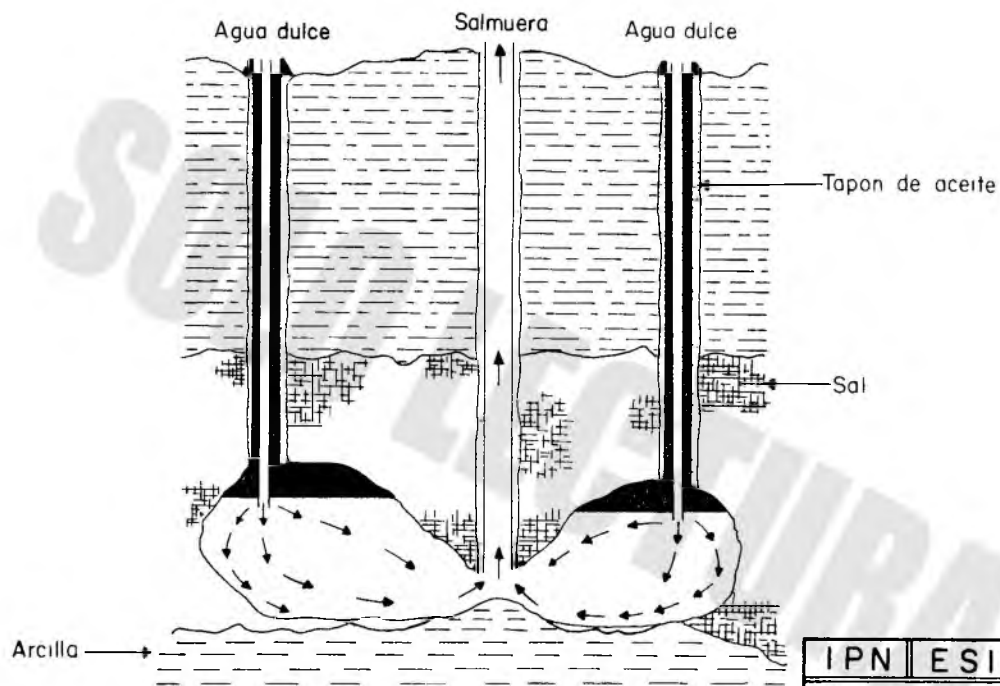
La realización de las cavidades adecuadas para el almacenamiento de crudo en domos salinos, se lleva a cabo mediante la inyección de agua dulce para disolver la sal, recuperándose agua salada.

De acuerdo a la posición geográfica donde se desee efectuar la construcción de una cavidad en sal, el espesor de la capa de sal estará sujeta a variar. Dependiendo del tamaño, existen dos maneras para desarrollar la construcción de la oquedad, así, si se presenta un espesor de sal relativamente pequeño, el tipo de disolución se realizará horizontalmente y contrariamente; si éste es grande, se realizará la construcción por disolución vertical.

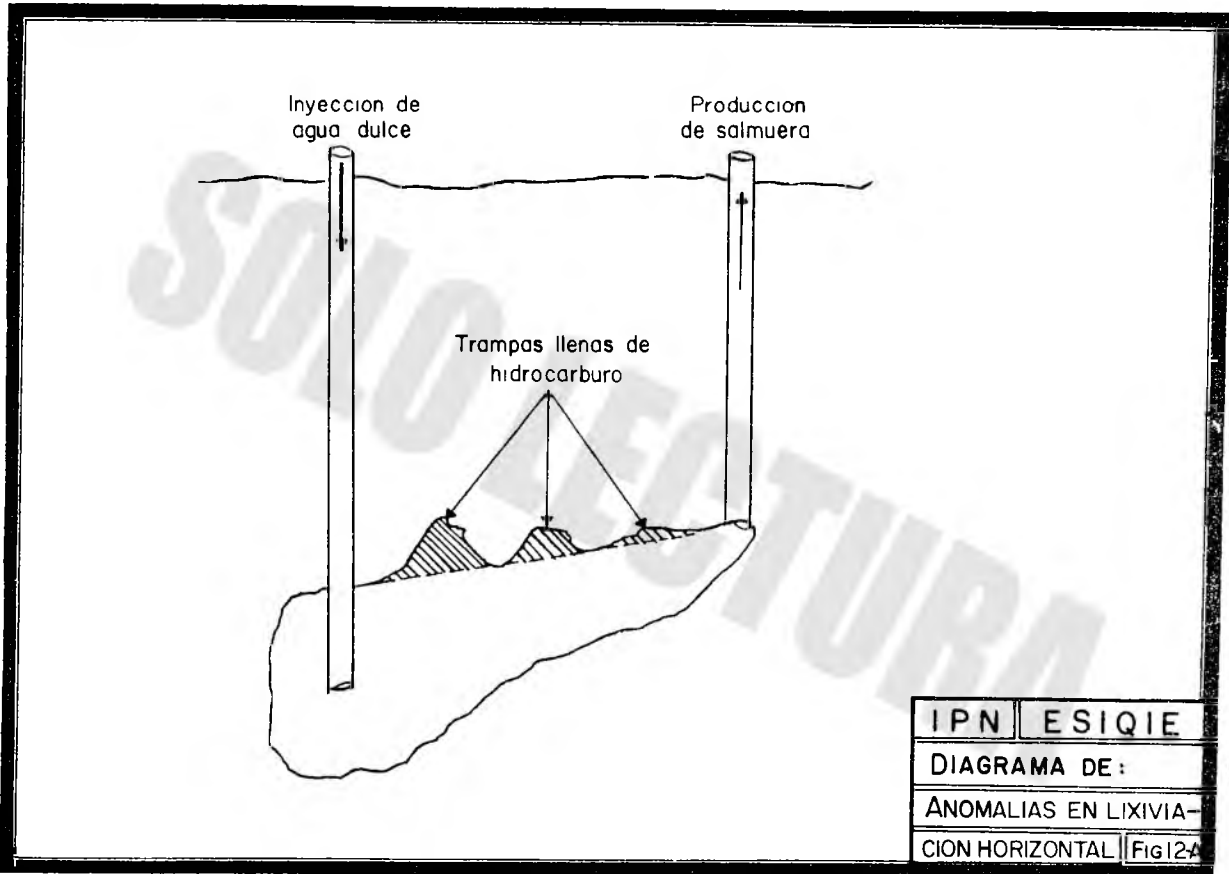
La lixiviación horizontal se toma en cuenta debido a que la estabilidad de la caverna es un tanto dudosa, además de considerar un espesor de sal pequeño. Este tipo de construcción consiste en perforar un pozo central y dos o más, adyacentes al primero en un radio de aproximadamente 100 mts. - Inicialmente, se inyecta el agua dulce por los pozos adyacentes y la salmuera formada sale por el pozo central originando una estructura en forma de salchicha, la cual se puede apreciar en la Fig. 12 y que proporciona la capacidad de almacenamiento apropiada.

Esta técnica de almacenamiento no está muy bien desarrollada debido a que se presentan ciertos problemas, como es el caso de que se formen bolsas de crudo, las cuales no son posibles recuperar y que ocasionan una pérdida económica que se deberá evaluar con la finalidad de verificar su factibilidad aún existiendo. Esto se aprecia mejor en la Fig. 12A.

Es importante saber que esta técnica es muy utilizada por -



IPN	ESIQIE
DIAGRAMA DE :	
LIXIVIACION HORIZONTAL	
DE UNA CAVERNA	Fig 12



IPN	ESIQIE
DIAGRAMA DE :	
ANOMALIAS EN LIXIVIA-	
CION HORIZONTAL Fig12A	

los salineros (productores de sal), a los cuales únicamente les interesa sacar la salmuera, no importando la forma de la oquedad que estén generando.

Cuando se trata de la realización del recinto mediante un solo pozo (lo cual considera un gran espesor de sal), el mecanismo para su generación se basa en la disolución de la sal, mediante la circulación de agua dulce a través de un pozo perforado con ese objeto.

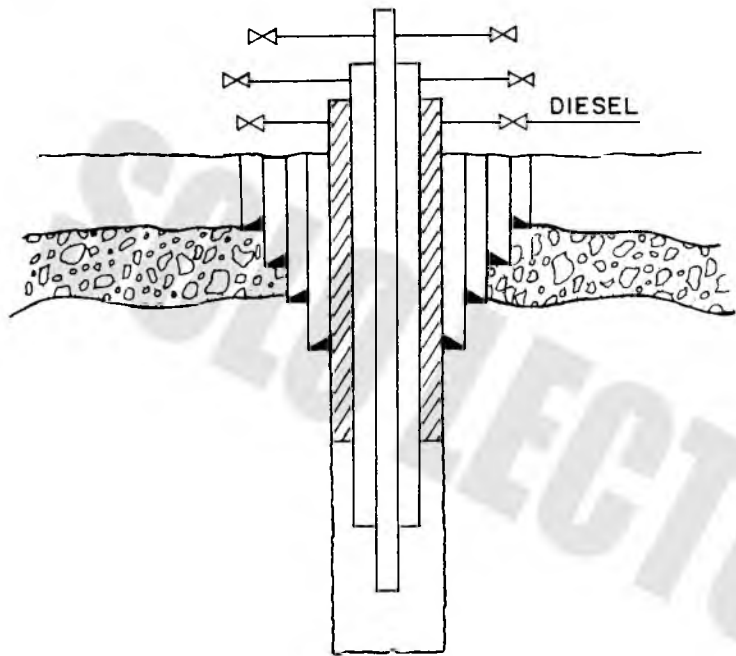
El pozo deberá contar con una tubería de revestimiento cementada desde la superficie hasta la profundidad que se tenga definida como techo o cima de la cavidad almacenadora y dos tuberías que se mantendrán colgadas y que serán movidas durante el proceso de disolución.

En la Fig. 13, se muestra el pozo de disolución con las características mencionadas.

El proceso para la generación de la cavidad puede llevarse a cabo mediante dos técnicas que son:

1.- Circulación Directa

Consiste en inyectar el agua dulce por el interior de la tubería de menor diámetro, recuperando la salmuera por el espacio anular entre las tuberías colgadas. Mediante este método de disolución se tiene un diámetro mayor en el fondo de la caverna. Las características principales de esta disolución son:



IPN	ESIQIE
DIAGRAMA DE :	
POZO DE DISOLU -	
CION	Fig 13

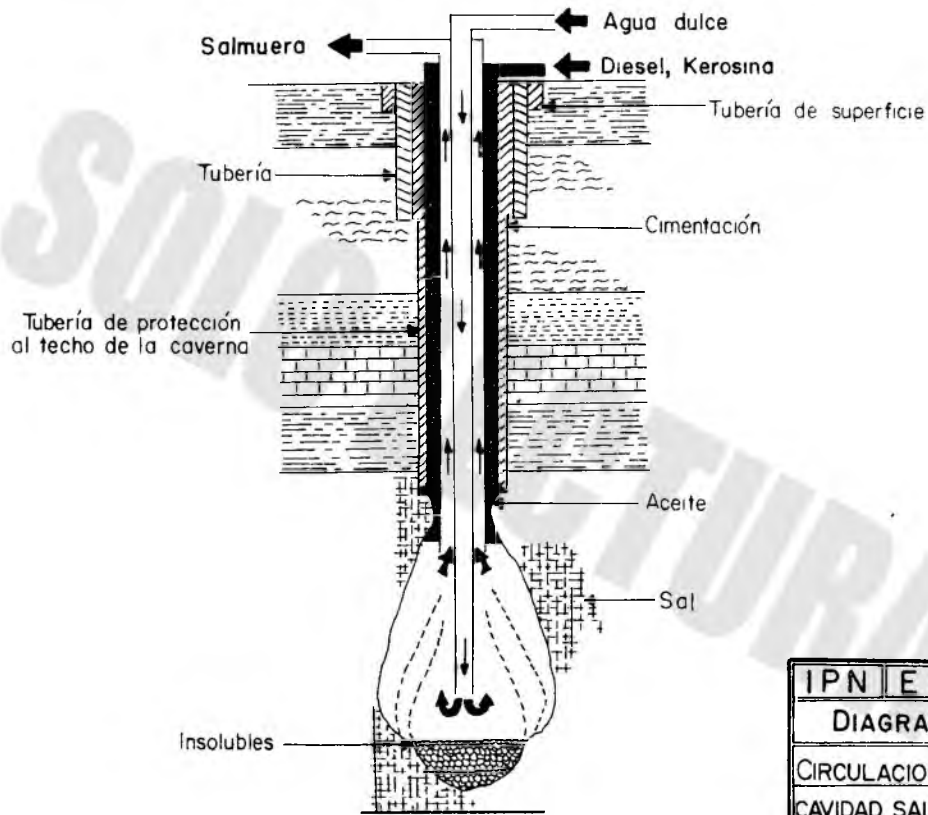
- a) Que la parte inferior aumentará en la medida en que aumente el caudal de agua suministrada.
- b) Que la salmuera de la parte inferior es más liviana, debido al ingreso contínuo de agua dulce por ella.
- c) Que la salmuera es relativamente homogénea en la caverna. Sale a una concentración que puede llegar a 85 ó 90%, según el caudal de agua dulce y el volumen de la caverna en ese momento.

2.- Circulación Inversa

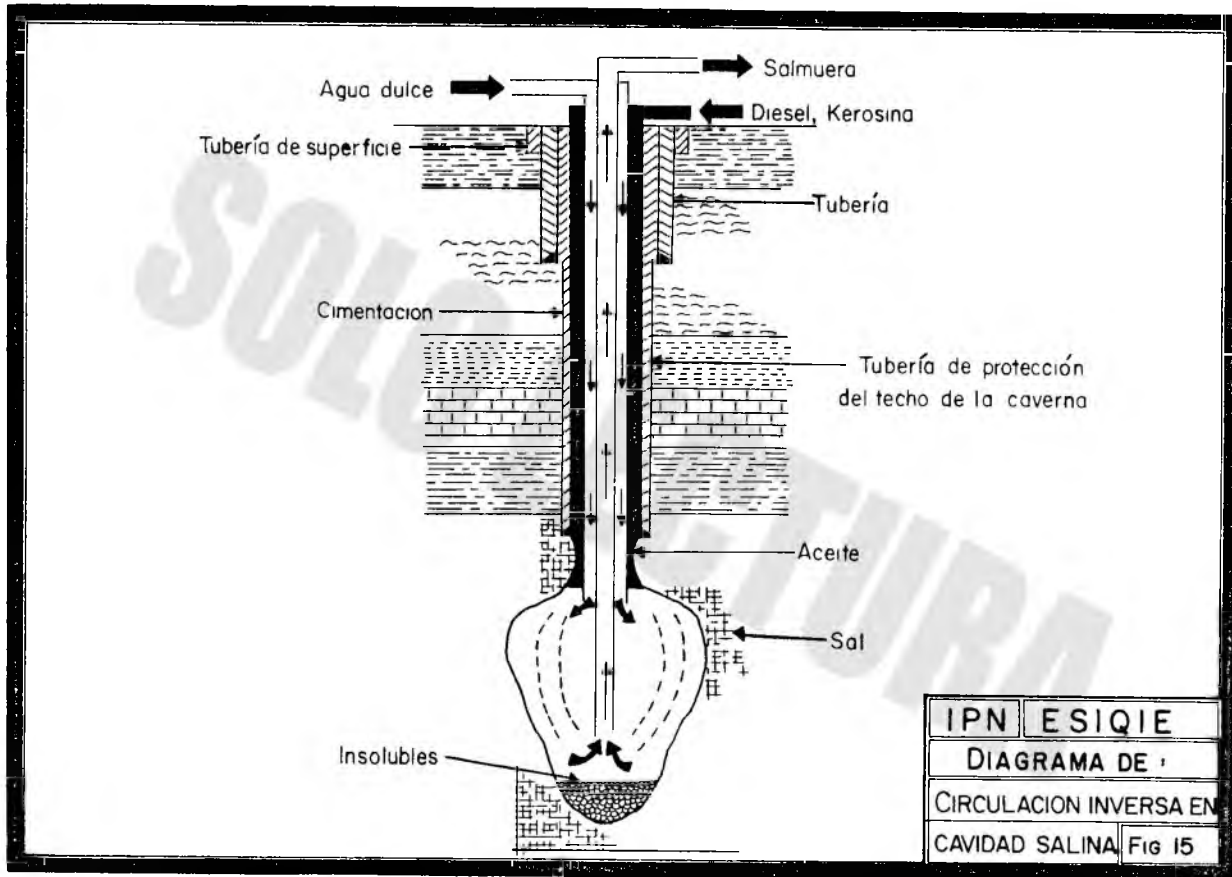
La inyección del agua dulce se lleva a cabo por el espacio anular entre las tuberías colgadas y la salmuera circula por la de menor diámetro, obteniéndose una caverna de forma cónica. Características principales de esta disolución:

- a) La parte superior aumenta más rápido.
- b) La salmuera que sale está muy concentrada, casi saturada, en cuanto que la caverna es bastante grande.
- c) Hay que aumentar el volumen de guarda a medida que la disolución progresa.
- d) Al finalizar la disolución, nos encontramos con una caverna con hidrocarburo, motivo del descenso de la guarda.
- e) Depósito de yeso cuando hay mucho SO_4 .

Las dos circulaciones se pueden apreciar mejor en las - Figs. 14 y 15.



IPN	ESIQIE
DIAGRAMA DE :	
CIRCULACION DIRECTA EN	
CAVIDAD SALINA	FIG 14



En ambos casos, es necesario mantener un colchón de fluido inerte como Diesel, Kerosina u otro, en el espacio anular entre la última tubería de revestimiento cementada y la tubería colgada de mayor diámetro para evitar la disolución prematura y descontrolada del techo de la cavidad, además de impedir que la salmuera ascienda por este conducto.

La construcción de las cavidades comprende básicamente dos etapas:

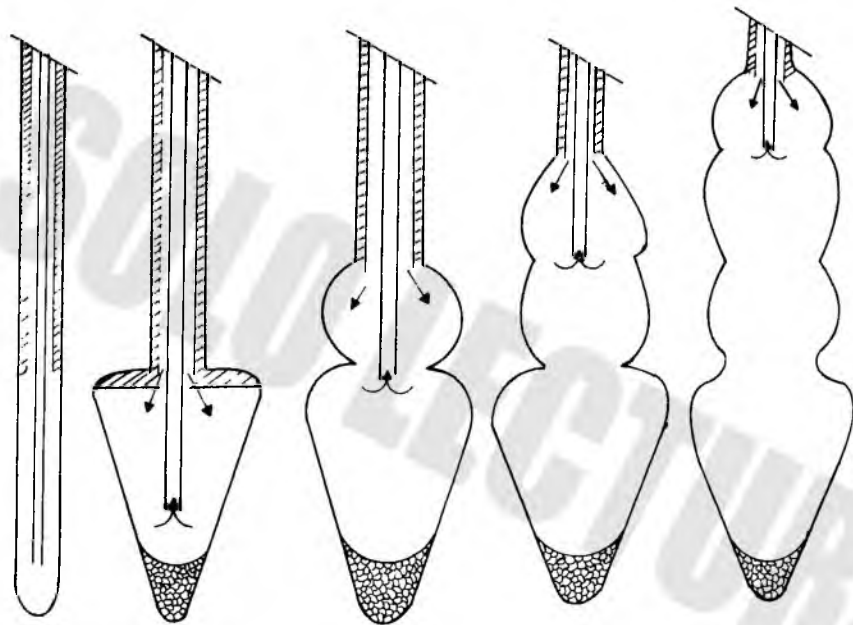
1.- Generación de la Zona de Captación

Tiene por objeto captar las impurezas insolubles que contiene la masa salina.

Primeramente se forma un receptáculo para captar el material insoluble proveniente de las impurezas que contiene la masa salina. La formación de este receptáculo se logra localizando el extremo inferior de la tubería de menor diámetro hasta la máxima profundidad de la caverna y el extremo inferior de la tubería colgada de mayor diámetro de una distancia del fondo igual a la altura de la zona de captación de insoluble.

2.- Desarrollo de la Cavidad

Terminada la zona de captación de insolubles se inicia el desarrollo de la caverna, lo cual se lleva a cabo mediante una secuencia de operaciones, constituidas por la elevación paulatina, del aparato de tuberías e inversión del proceso de circulación. Esto se comprende mejor en la Fig. 16.



IPN	ESIQIE
ETAPAS DE DESARRO	
LLO DE UNA CAVERNA	
POR DISOLUCION	
Fig 16	

Con este procedimiento se establece una disolución desde la parte inferior hasta la superior del intervalo de sal escogido.

Periódicamente es recomendable invertir la circulación del agua dulce, a fin de evitar el taponamiento de las tuberías por cristalización de la sal, así como, para dar una formación geométrica aceptable a la cavidad.

En esta etapa se incluye la formación del techo de la caverna cuya forma es importante para asegurar la estabilidad de la cavidad, ya que la concentración de esfuerzos es mayor en esta área.

Su geometría y la capacidad pueden conocerse utilizando medidores de volumen y registros acústicos de calibración.

Los controles "Sonar" o "Sonar de Calibración" de las formas de la caverna, deben ser efectuados en forma periódica en función de las cantidades de sal disueltas.

La cantidad de "Sonars" necesaria para cada caverna no puede ser sistemáticamente definida. Un límite inferior puede ser fijado en cuatro controles.

En función de los elementos recogidos por un análisis de los sucesivos "Sonars", será considerada una modificación de la programación teórica de la disolución.

Estas modificaciones pueden realizarse sobre uno o varios de los parámetros que caracterizan la disolución, que pueden ser:

- a) Posición de la tubería colgada de menor diámetro.
- b) Posición de la tubería colgada de mayor diámetro.
- c) Características del fluido entrante.
- d) Caudal.
- e) Modo de disolución.

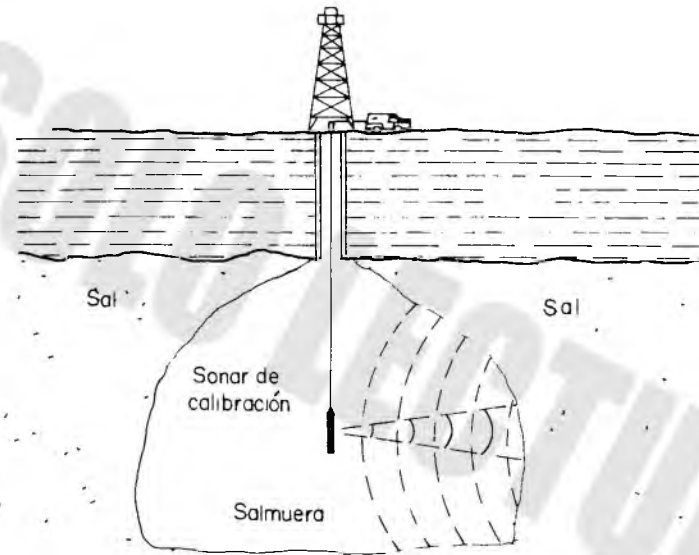
En las Figs. 17 y 18, se muestra la manera de como realizar un sonar, así como una gráfica indicándonos el registro obtenido de la forma de una cavidad en etapa de desarrollo, respectivamente.

Simultáneamente con el período de disolución se deberá ir generando un dispositivo para almacenar - una cantidad preestablecida de salmuera que por regla general excede al volumen útil de la cavidad.

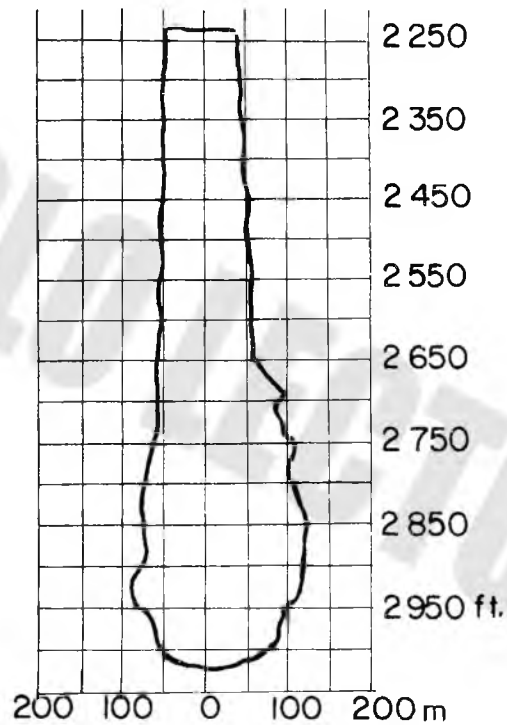
El requerimiento de un almacenamiento de salmuera es inobjetable, debido a que en la operación del - almacenamiento es necesario contar con ella.

La construcción de presas o albercas resulta ser - el medio más apropiado para el resguardo de la salmuera.

Los factores atmosféricos más importantes a considerar durante su construcción son:



IPN	ESI	QIE
DIAGRAMA ESQUEMATICO		
SONAR DE CALIBRACION		
PARA CAVERNAS	Fig 17	



IPN	ESIQIE
GRAFICA DE :	
REGISTRO DE UN SONAR	
DE CALIBRACION	Fig 18

VIENTO

El cual puede generar olas que ocasionarían el derrame de salmuera si no se tiene un sobrediseño.

LLUVIA

Se debe preveer la máxima precipitación posible con la finalidad de tener una capacidad excedente de presa para solventarla cuando se presente.

EROSION POR ANIMALES

Se deberá tomar en cuenta que existen ciertos animales que generan agujeros que pueden ocasionar problemas (tuzas, conejos, etc.).

Las presas generalmente contienen en su parte inferior una capa de arcilla que evite la filtración de H_2O y de esa manera proporcione una eficiente estanquidad.

Es muy usual que arriba de la arcilla se coloque una capa de arena filtrante, una capa de grava y encima de ésta un pequeño depósito de sal cristalizada.

De esta manera, se ha mencionado a grandes rasgos el algoritmo adecuado a seguir para la realización de la cavidad. Ahora, se tratará el caso específico que se indicó anteriormente.

En México existe una vasta región factible de poder llevar a cabo la realización de cavidades salinas, así, se pueden mencionar los domos de Colora-

do, Pajaritos, Nuevo Teapa, Abanicos, Minatitlán, La Venta y Tuzandepetl entre otros.

De los indicados, el de Tuzandepetl es el que con junta las mejores características o factores apro piados para el desarrollo de una cavidad, tales - como: ubicación, dimensiones, pureza de la sal, - factibilidad de perforación, disponibilidad de -- agua (Río Coatzacoalcos) e infraestructura reque- rida. Por tal motivo, nos referiremos exclusiva- mente a él.

El área Tuzandepetl se localiza en el estado de Ve racruz, aproximadamente a 12 kilómetros al Suroes- te de Coatzacoalcos (5.5 kilómetros al Suroeste - del Puerto de Nanchital) y a 16 kilómetros al No- roeste de Minatitlán.

Este domo salino tiene una profundidad en su parte más alta de 400 metros aproximadamente y en sus - costados de 1,000 metros, lo anterior para la cima de anhídrita-sal. El espesor de esta formación se ha determinado en aproximadamente 1,000 metros.

La parte más alta del domo salino de Tuzandepetl - está ubicado a 3.5 kilómetros al Sur de Nanchital y se puede llegar a él por carretera, con tránsito de vehículos durante todo el año.

En el área existe una cañada natural que tiene po- sibilidades de utilizarse como presa para el alma cenamiento de salmuera.

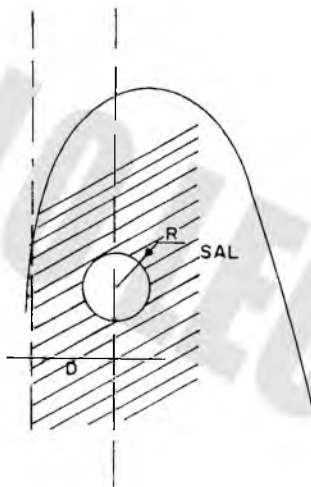
El domo salino tiene una extensión aproximada de - 10,000 metros de largo por 3,000 metros de ancho, por lo cual, es posible efectuar la construcción - de nuevas cavidades para incrementar paulatinamente la capacidad de la instalación, en la medida en que la demanda aumente y prácticamente no existe - limitación al respecto.

Por lo mencionado, se puede apreciar que el sitio, efectivamente considera la mayoría de los factores expuestos, aunado a que con respecto a la salmuera que se produzca, parte de ella se venda a compañías productoras de sal existentes ahí y la restante se dosifique al mar localizado a 15 kilómetros aproximadamente, o bien se inyecte a pozos depresionados. Asimismo, existen centros de procesamiento cercanos y a su vez el Puerto de Pajaritos por medio del - - cual se efectúan exportaciones.

En general, la condición dada para el almacenamiento es una condición de volumen total.

Primero, hay que calcular el número de cavernas ne cesarias para asegurar este volumen, es decir, conocer el volumen de una caverna. Por lo tanto, -- hay que tener la geometría de ésta. Para nuestro - caso únicamente será una cavidad la cual nos proporcione un volumen útil de 2 MMB.

La localización de la cavidad respecto a los bordes del domo se recomienda situar a una distancia D en tre el eje de la cavidad y el borde del domo tal - como se indica en la Fig. 19.



IPN	ESIQIE
LOCALIZACION DE LA CA	
VIDAD CON RESPECTO A	
LOS BORDES	Fig 19

Esta distancia D , depende de la profundidad de la oquedad, del radio R de la misma y de la presión interior.

En particular para cavidades de 1,000 metros, como es nuestro caso, encontramos que se puede tomar:

$$D = 4 \text{ a } 5 \times R$$

Es importante definir dos longitudes que son relevantes:

- L Distancia del techo de la sal a la zapata de la cañería de entubación (casing) cementada, y
- l Distancia desde la zapata de la cañería de entubación (casing) al techo de la cavidad.

Para la determinación de l se cuenta con la siguiente expresión:

$$D \leq 1.33 * l$$

que es un valor aproximado para cavidades que se encuentran en espesores de sal considerables.

Para determinar L , no hay ninguna regla precisa que defina esta longitud, la experiencia prueba que para una buena cementación, hay que fijar: $L > 30$ metros.

En nuestro caso y para todos los domos que tienen un espesor suficiente, recomendamos: $L = 50$ metros.

También es conveniente hacer mención de la relación:

$$H/2R = 10$$

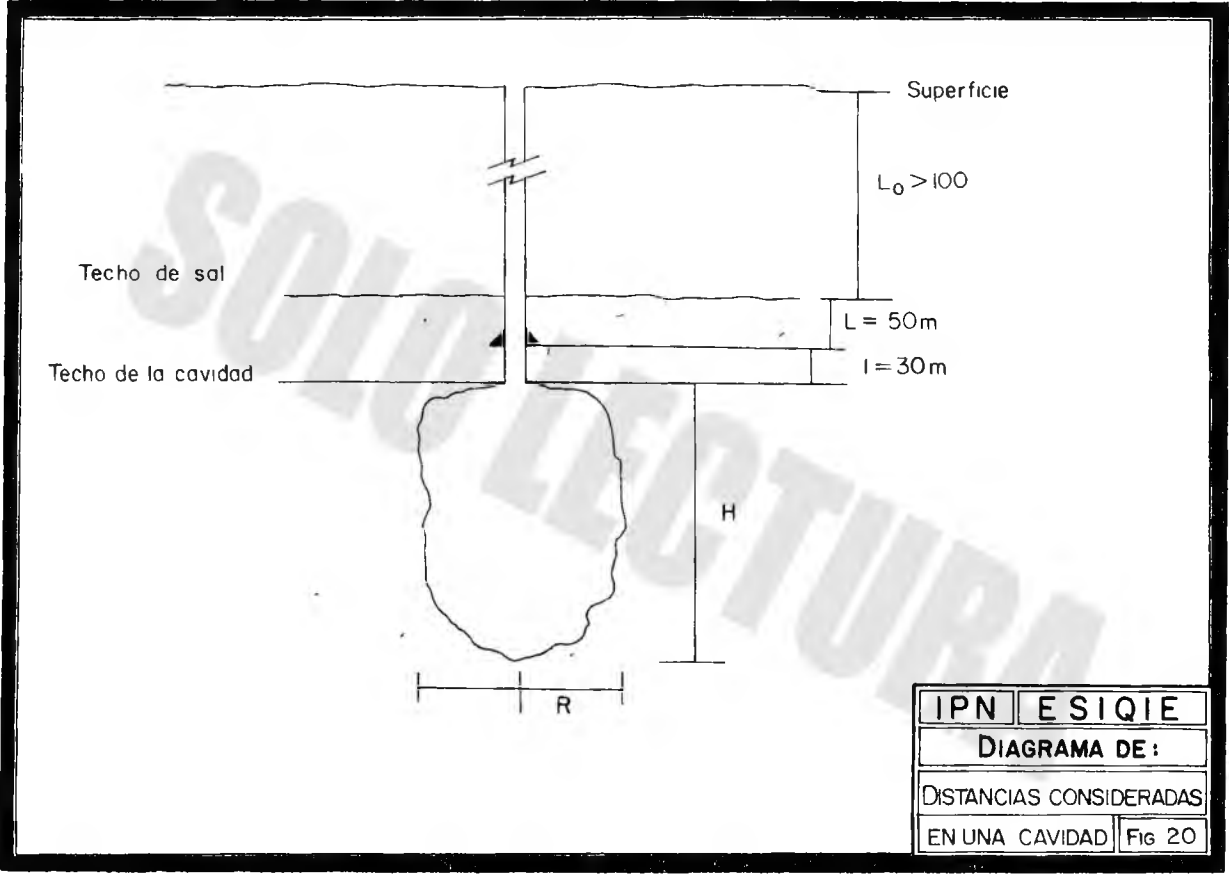
que representa una consideración muy conservadora, en virtud de que está sujeta a variar, obteniéndose valores diversos que fluctúan de 1 a 10. Lo anterior, se muestra más claramente en la Fig. 20.

Ahora bien, la forma ideal de una cavidad desde el punto de vista de estabilidad mecánica, es la de una esfera. En realidad muy pocas veces se realizan esferas. Se prefiere construir cavidades relativamente altas, que se asimilan a unos cilindros. Para un diámetro dado, es lo que permite almacenar el volumen más grande sobre una superficie dada. Sin embargo, la altura no puede ser aumentada tanto como se quisiera, ya que la profundidad de la interfase Hidrocarburo/Salmuera está limitada.

Si el espesor de la sal es suficiente, como es el caso de este domo, se aumentará el volumen por caverna bajando la cota de la zapata cementada dentro de la sal.

Nos encontramos frente a dos limitaciones:

La primera, concierne a la presión de aplastamiento del casing cementado. Por supuesto hay un gran interés económico en escoger tubos de dimensiones - standard. Podemos suponer que el casing no será nunca a presión atmosférica en su zapata, ni siquie



IPN	ESIQIE
DIAGRAMA DE:	
DISTANCIAS CONSIDERADAS	
EN UNA CAVIDAD	FIG 20

ra a una presión diferente a la de una columna de hidrocarburo. Se escoge entonces un casing cuya presión de aplastamiento sea al menos igual a la diferencia de presiones entre los terrenos y la presión interior así calculada.

La segunda, está en relación con la estabilidad de las cavidades. A medida que la profundidad de la caverna aumenta, entramos cada vez más en la zona de deformaciones no elásticas.

De eso resulta una pérdida de volumen, además los movimientos alternativos de fluido producen variaciones de presión que pueden dañar las paredes. - Las caídas de bloques son más frecuentes y entonces también las rupturas del tubing.

- Incidencia de los Materiales Insolubles

Cuando se habla del volumen de una cavidad, se trata en general del volumen de hidrocarburo - que se pueda almacenar allí. Sin embargo, en el momento de hacer el diseño de una cavidad, hay que darse cuenta de que existen diferentes volúmenes.

La masa salina contiene partes insolubles que caen al fondo. Al amontonarse estos materiales insolubles aumentan de volumen aparente. Puede haber hasta bloques de sal no disuelta.

Por otra parte, está recomendado no bajar el - tubing de producción demasiado profundo: en -

efecto, se conocen numerosos casos donde unos bloques de tamaño variable fueron arrastrados en el interior del tubing, acabando por obstruirlo hasta el punto de impedir toda circulación.

Para unos caudales del orden de $1,000 \text{ m}^3/\text{hr.}$, - la experiencia muestra que una distancia de - dos metros es suficiente para evitar este tipo de incidentes.

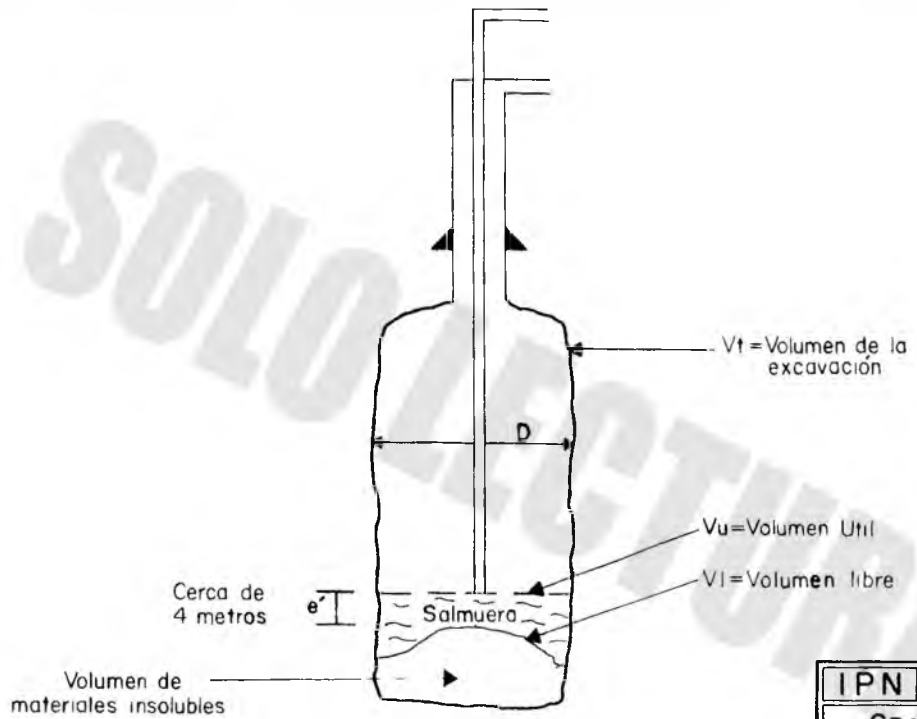
La Fig. 21, muestra como se descomponen los diferentes volúmenes que se deben considerar en una cavidad.

Si consideramos, V_t , el volumen total de la excavación, es el volumen que se encuentra al interior de las paredes.

V_c el volumen de sal disuelta, es también el volumen de la salmuera contenida en la cavidad al final de la lixiviación. Se notará que una parte de esta salmuera llena los vacíos del montón de materiales insolubles al fondo.

En efecto, las rocas insolubles están, en general, diseminadas en pequeños fragmentos y se ponen en montón aumentando de volumen.

Si f , es el coeficiente de aumento, en general, igual por lo menos a 1.8 de acuerdo a datos pro



IPN	ESIQIE
GRAFICA DE:	
VOLUMEN CONSIDERADO	
EN UNA CAVIDAD:	FIG 21

porcionados por GEOSTOCK (\$).

Y, x el porcentaje de materiales insolubles en volumen.

Se puede escribir la ecuación siguiente:

$$V_t = V_c + xV_t \text{ - - - - - } 1$$

Volumen total de excavación = Volumen Sal + Vo lumen insoluble.

Si V_l es el volumen libre, es decir, el volu-- men que sería visto por un sonar por ejemplo, es igual a:

$$V_l = V_t - V_f$$

$$V_f = xV_t * f$$

$$\text{y } V_l = V_t - fxV_t$$

Se considera también que cierto volumen libre, no es disponible para el almacenamiento debido a:

- La necesidad de colocar la zapata del tubing de explotación, dos metros arriba del punto más alto de los materiales insolubles.

- - - - -
 (\$) Compañía Francesa con una alta experiencia en la construcción de almacenamientos subterráneos.

- El hecho de que a menudo, el montón de materiales insolubles es más bien cónico. Se admitirá que eso equivale a duplicar la altura de dos metros.

Entonces, se pierde todavía $(\pi * D^2/4) * 4 \text{ m}^3$ de volumen para el almacenamiento.

Por lo tanto:

$$V_u = V_t - f_x V_t - 4\pi D^2/4 = V_t (1 - f_x) - \pi D^2$$

Donde:

V_u Es el volumen útil.

Lo que se conoce al realizar la lixiviación es:

- El volumen disuelto (V_c)
- El porcentaje de materiales insolubles.

Entonces, expresamos V_u en función de estos parámetros y nos queda:

$$V_u = V_c \frac{1 - f_x}{1 - x} - \pi D^2 \quad \text{--- 2}$$

Tenemos también, que la fórmula general para calcular el volumen de sal disuelta es:

$$V_c = \frac{V_e d_e}{d} \frac{(v_s - v_e)}{(1 - v_s)} \quad \text{--- 3}$$

Donde:

V_c Volumen de sal disuelta (m^3).

V_e Volumen de salmuera a la entrada (puede ser agua dulce) (m^3).

$v_e = \frac{S_e}{d_e}$ Concentración en peso de la salmuera.

S_e Salinidad a la entrada en (T/m^3) ó (Kg/l).

d_e Peso específico en (T/m^3) ó (Kg/l).

v_s Concentración en peso de la salmuera a la salida (m^3).

$v_s = \frac{S_s}{d_s}$

S_s Salinidad a la salida (T/m^3) ó (Kg/l).

d_s Peso específico a la salida (T/m^3) ó (Kg/l).

d Densidad de la sal = 2.168.

Simplificando la fórmula 3 para casos particulares, queda:

- Disolución con agua dulce.

$$S_e = 0$$

$$d_e = 1 \quad V_c = \frac{V_e}{d} \frac{v_s}{(1-v_s)} \quad \text{--- 4}$$

$$v_e = 0$$

- Disolución con agua de mar (15 °C).

$$S_e = 0.035 \text{ kg/dm}^3$$

$$d_e = 1.023 \text{ Kg/dm}^3$$

$$v_e = 3.47\%$$

$$V_c = 1.023 \frac{V_e}{d} \frac{v_s - 0.0347}{1 - v_s} - - - - - 5$$

Por consiguiente, auxiliándonos de las fórmulas anteriores, podemos hacer el cálculo para obtener la cantidad de agua dulce requerida para - realizar la cavidad.

Se desea un volumen útil de 2 MMB (318,000 m³).

$$V_u = 318,000 \text{ m}^3$$

x = 5% (esta consideración es conservadora, ya que de acuerdo a datos proporcionados por la compañía - - - GEOSTOCK, en la mayoría de los casos es un poco menor).

$$f = 1.8$$

Considerando que la cavidad tendrá una altura - aproximada de 200 metros y que para fines de - cálculo, la relación H/2R será de 5, obtenemos un \emptyset de 40 metros.

Basándonos con los datos estipulados, calculamos primeramente el volumen de sal disuelta con la ecuación 2:

$$V_c = (318,000 + 5,026.54) \frac{1 - 0.05}{1 - (1.8)(0.05)}$$

$$V_c = 337,225.517 \text{ m}^3$$

Si se emplea agua dulce el volumen requerido de

ésta, será:

De ecuación 4

$$V_e = \frac{V_c d (1 - v_s)}{v_s}$$

$$v_s = \frac{S_s}{d_s}$$

La salmuera saturada posee 330 gramos de sal/lit. aproximadamente, pero como nunca sale en su total saturación, sino en un 85 - 90%, se tiene:

$$\text{Salinidad} = 0.2805 \text{ Kg/l}$$

$$\text{Densidad} = 1.2 \text{ Kg/l}$$

$$v_s = \frac{0.2805}{1.2} = 0.234$$

Por lo tanto:

$$V_e = \frac{(337,225.517) (2.168) (1 - 0.234)}{0.234} = 2'396,616.669 \text{ m}^3 \quad (15'073,060.82 \text{ B})$$

Es decir, 1 volumen de cavidad es a 7.3 volumen de agua dulce.

Si se llegase a emplear agua de mar, tenemos:

De ecuación 5

$$V_e = \frac{(337,225.517) (2.168) (1 - 0.234)}{1.023 (0.234 - 0.035)} = 2'751,138.024 \text{ m}^3 \quad (17'302,754.88 \text{ B})$$

Es decir, 1 volumen de cavidad es a 8.7 volumen de agua de mar.

Como se podrá apreciar, la diferencia de agua empleada con respecto a un volumen de cavidad a desarrollar, fluctúa de 6 a 8 veces dependiendo del agua utilizada.

De acuerdo a las tuberías a usar durante el proceso de disolución, estas pueden ser muy diversas respecto a la proporción de diámetros de una a otra, así, tenemos de: 18 5/8, 13 3/8 y 8 5/8; 21 1/2, 13 3/8 y 7; 20, 14 y 7 1/2; - 18 5/8, 11 3/4 y 7", etc.; de los cuales los que proporcionan los mejores resultados respecto a una forma y estabilidad aceptable de la cavidad, son las mencionadas al final. Estos, alcanzan a manejar hasta 1,500 m³/hr. de flujo como máximo. De acuerdo a la experiencia que tiene la compañía GEOSTOCK, los flujos recomendables a utilizar en el período de disolución son de 200 a 300 m³/hr. y éstos valores son los que se tomarán en consideración para efectuar el cálculo del tiempo estimado para desarrollar dicha oquedad. Por lo tanto, tomando el caso más crítico de suministro de agua dulce, tomaremos el de menor flujo.

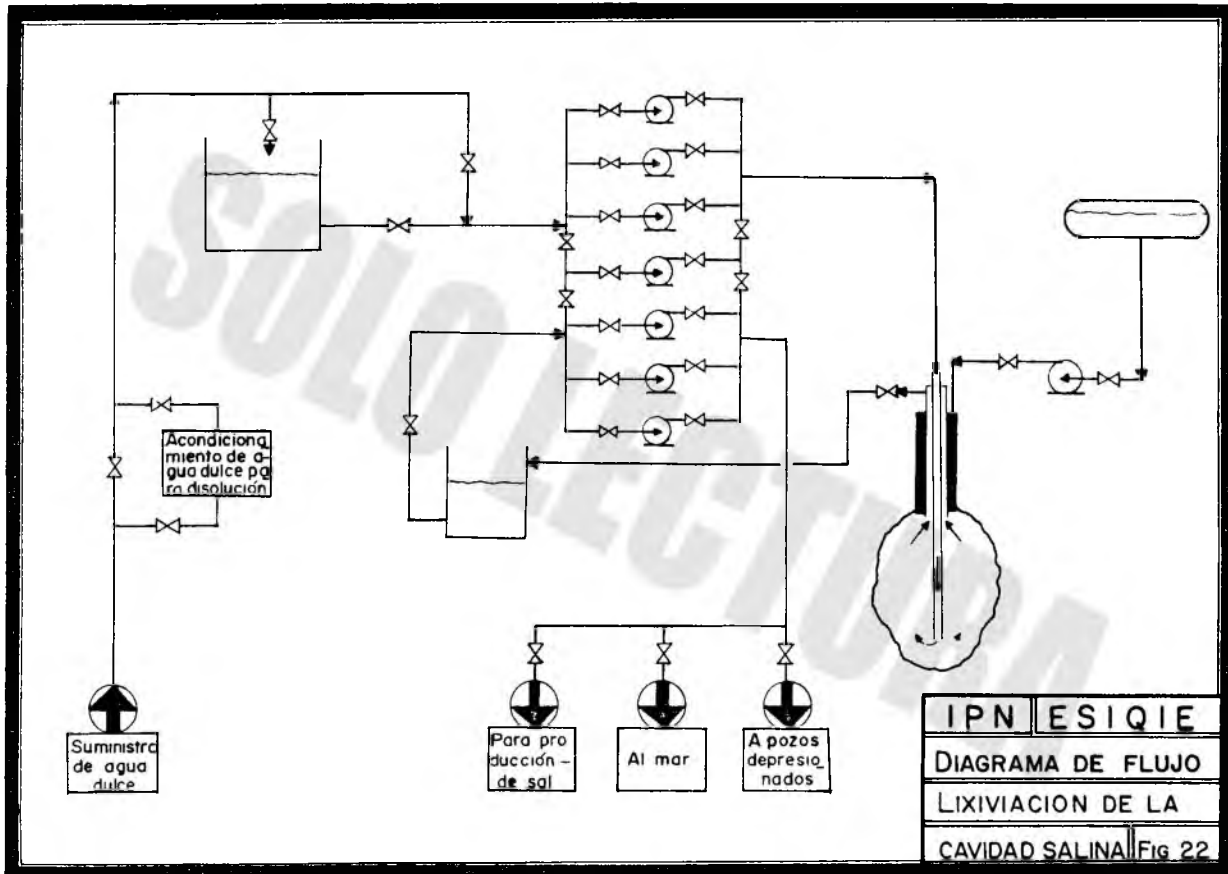
$$2'396,616.67 \text{ m}^3 \frac{1 \text{ hr.}}{200 \text{ m}^3} \frac{1 \text{ año}}{8,760 \text{ hr.}} = 1.37 \text{ años}$$

Esto implica que el tiempo mínimo requerido para realizar lo indicado, será de aproximadamente - 1.5 años.

De esta manera, se habrá llevado a cabo el perfo

do correspondiente a la Lixiviación de la Cavidad. El diagrama de flujo que nos indica y comprende este desarrollo, se muestra a continuación en la Fig. 22.

SOLO LECTURA



CAPITULO V

OPERACION

SOLO LECTURA

Al finalizar el período de disolución, la cavidad se encuentra llena de salmuera. En este estado se saca casi en su totalidad la tubería colgada de menor diámetro; la tubería colgada de mayor diámetro se baja hasta una distancia de 4 a 6 metros antes del fondo de la cavidad.

El anular que estaba ocupado por el sello de diesel u otro hidrocarburo, se utilizará para suministrar el hidrocarburo a almacenar.

El producto es inyectado a una presión suficiente para vencer la diferencia de carga hidrostática entre la salmuera y el producto y las pérdidas por fricción, de esa manera la salmuera sale por la tubería colgada (de mayor diámetro) y se dirige a las presas, mientras que el producto va ocupando el volumen dejado por ésta.

El suministro de producto o hidrocarburo, puede ser como máximo el equivalente a la capacidad total útil de la cavidad o bien menor a esta.

Cuando se desea recuperar el producto se efectúa el proceso inverso, es decir, se inyecta salmuera de las presas a una presión calculada que venza las pérdidas por fricción y proporcione el producto a la presión requerida, saliendo éste por el espacio anular.

La operación indicada se efectúa tantas veces como se requiera.

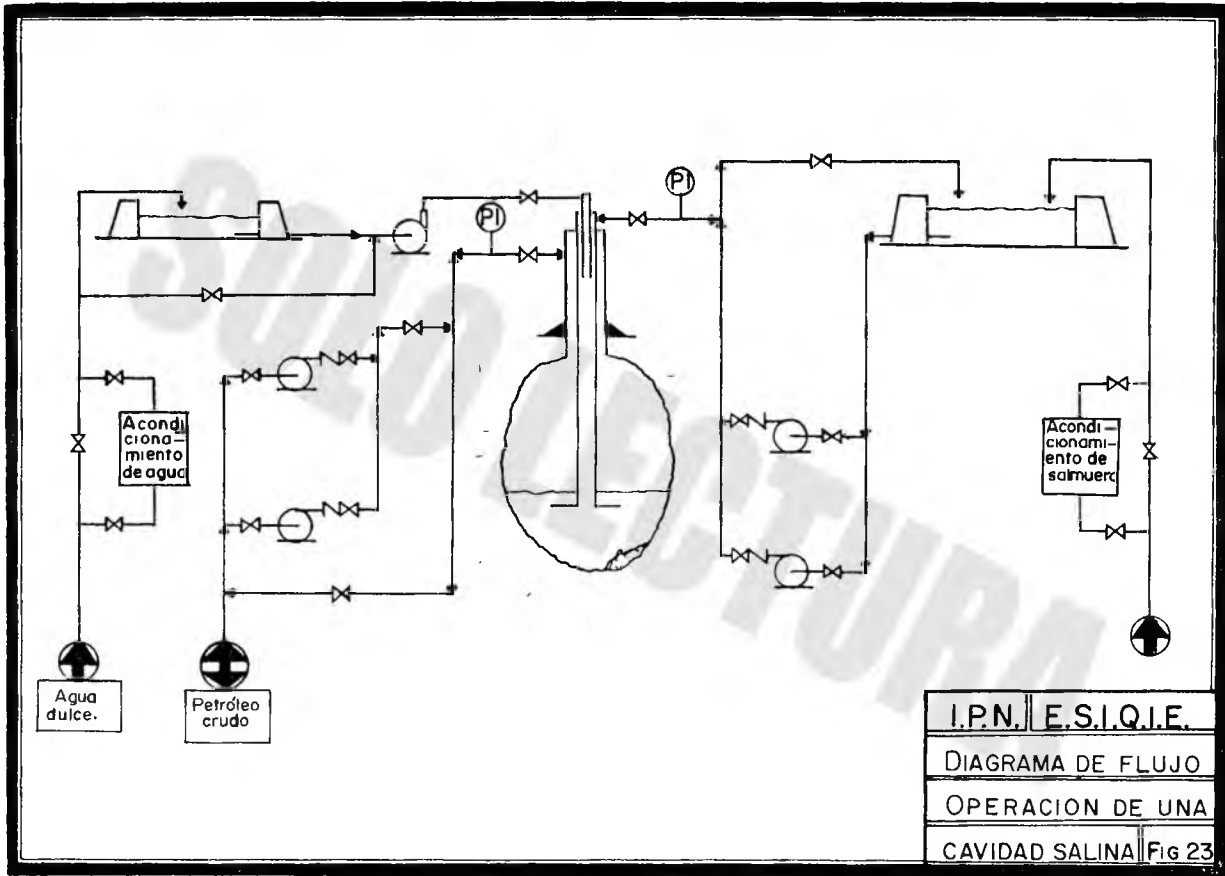
Se deberá verificar que la salmuera se encuentre saturada con la finalidad de no ir aumentando la capacidad de la cavidad por la constante disolución de la sal. La no saturación

ción puede ser ocasionada por la constante precipitación - pluvial, pero en épocas de verano donde existe un incremento de temperatura, se produce una determinada evaporación que puede generar una sobresaturación de la salmuera que - puede traer también problemas severos, debido a que es muy probable el aumento de cristalización de sal en el interior de la tubería colgada, obstruyendo de esta manera su fluidez.

Por lo anterior, se deberá tener un acondicionamiento constante de la salmuera a fin de evitar al máximo estos problemas.

Independientemente, de si la salmuera está sobresaturada o no, existe cierta cristalización de la sal en el interior de la tubería colgada, por lo que es conveniente tener un suministro de agua dulce, además de contar con la tubería colgada de menor diámetro (que se sacó casi en su totalidad), con la finalidad de introducir el agua dulce en la - parte donde existe el máximo cúmulo de sal a fin de disolverla y eliminar la obstrucción existente. Como es obvio, la tubería que suministrará el agua dulce, se deberá bajar hasta la parte donde se requiera.

Para obtener una mejor idea de lo mencionado, se muestra lo anterior en la Fig. 23.



CAPITULO VI

SERVICIOS AUXILIARES

SOLO LECTURA

SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

En virtud de que las instalaciones superficiales son relativamente pocas, se prevee que el consumo de energía eléctrica resultará bajo, ya que sólo se requerirá para alumbrado y operaciones de apoyo. Se ha considerado tener un suministro propio de ésta energía por medio de Turbogeneradores, - empleando combustible Diesel; pero previniendo cualquier posible falla, conviene disponer de la Comisión Federal de - Electricidad como suministro secundario.

SISTEMA DE COMBUSTIBLE DIESEL

Dado que el suministro de energía eléctrica principal se proporcionará por medio de Turbogeneradores a expensas de diesel, este sistema será de principal importancia. Necesariamente se deberá contar con un tanque atmosférico de tipo vertical para recepción y otro para almacenamiento. Se dispondrá de unidades purificadoras mediante centrifugación que a su vez descarguen a una presión adecuada. Conviene mencionar que el manejo de Diesel será por medio de bombas centrífugas. Las características del Diesel son:

Viscosidad, SSU 37.8 °C	33 - 45
Peso Específico	0.8
Poder Calorífico Bajo, BTU/lb	18,000
Presión de Suministro, Kg/cm ² man	1.0
Temperatura de Suministro, °C	29

SISTEMA CONTRA INCENDIO

Se estima que este sistema estará constituido principalmente, por dos bombas centrífugas para agua contra incendio. Los accionadores serán de motor eléctrico y motor diesel - para cada uno. Es conveniente contar con un tanque atmosférico para el almacenamiento del agua.

SISTEMA DE AIRE

Este sistema estará compuesto principalmente por dos compresores de aire con una presión de descarga apropiada para el suministro.

Es preciso considerar un paquete de secado para aire de instrumentos y dos tanques acumuladores de aire.

CAPITULO VII

EQUIPO EMPLEADO

SOLO LECTURA

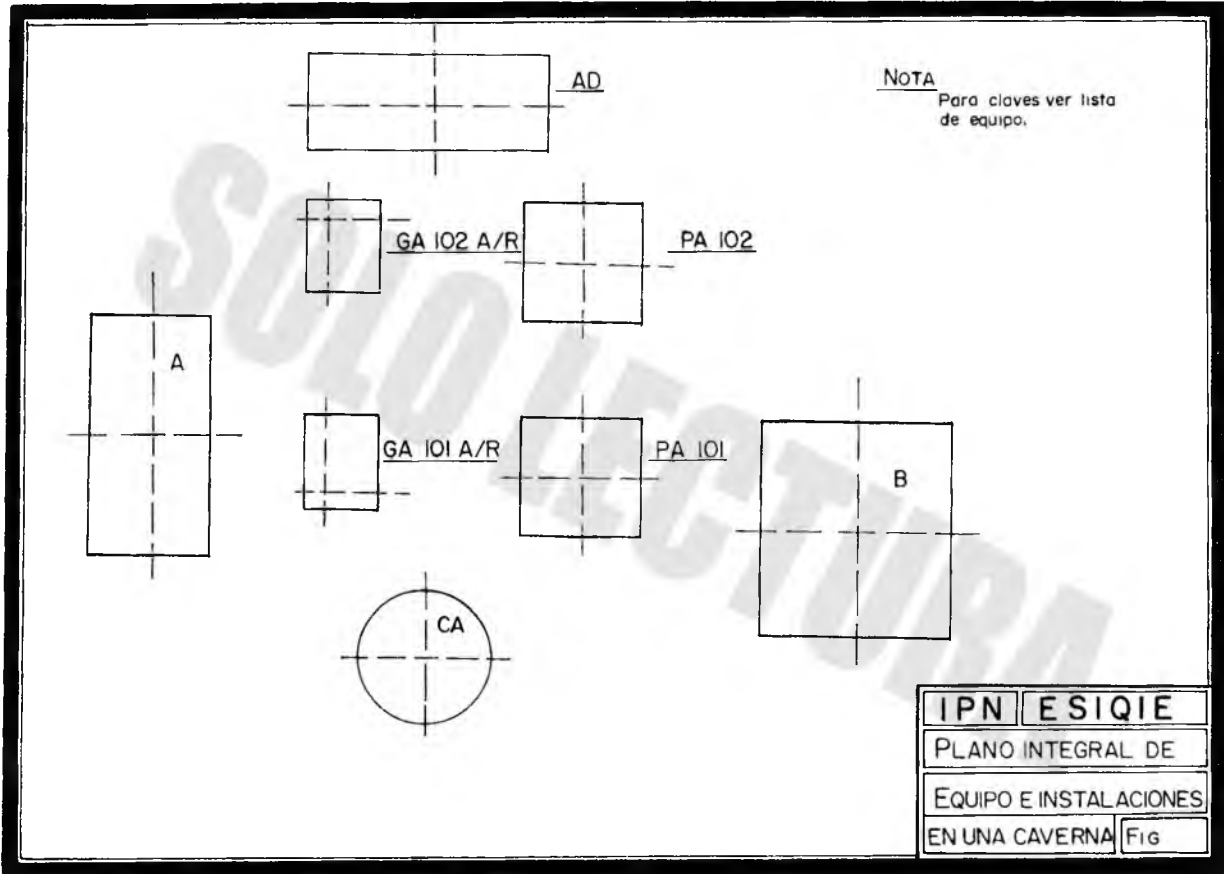
L I S T A D E E Q U I P O

<u>C L A V E</u>	<u>S E R V I C I O</u>
CA - 101 A	Caverna de Almacenamiento
AD - 101 A	Fosa de Almacenamiento de Salmuera
GA - 101 A/R	Bomba de Inyección de Crudo
GA - 102 A/R	Bomba de Inyección de Salmuera
GA - 103 A/R	Bomba de Inyección de Agua Dulce para Disolución de Sal
GA - 104 A/R	Bomba de Carga de Diesel
GA - 105 A/R	Bomba de Agua Contra Incendio
GE - 101 A/R	Turbogenerador de Diesel
A	Area para Cuarto de Control, Almacén y Edificio Habitacional
B	Zona de Tanques: Succión de Bombas de Crudo, Almacenamiento de Diesel y Agua
FB - 101	Tanque de Recepción de Diesel
FB - 102	Tanque de Almacenamiento de Diesel Cen trifugado
FB - 103	Tanque de Almacenamiento de Agua Contra Incendio
PA - 101	Estación de Medición
PA - 102	Paquete de Compresión y Secado de Aire de Instrumentos
PA - 103	Paquete de Purificación de Diesel, con sistente de Dos Unidades Centrifugadoras

CAPITULO VIII

PROCESO INTEGRAL

SOLO LECTURA



CAPITULO IX

CONCLUSIONES

SOLO LECTURA

La disponibilidad de almacenamiento apropiado para tener - un balance seguro en las exportaciones de petróleo, además de garantizar el suministro del mismo a los diferentes cen - tros de consumo puede solventarse tomando en consideración el almacenamiento subterráneo.

El conocimiento de los diversos tipos de almacenamiento sub - terráneo que existen, revisten gran interés por la escasa - difusión de información que se tiene acerca de ellos, es - por eso, que la presente cumple de una manera general con este propósito.

Las diversas características que presenta el almacenamiento superficial, se ven superados en su mayoría por el almacena - miento subterráneo que lo hacen propicio para generarlo.

De acuerdo al estudio somero realizado en la Zona Sur de - nuestro País, para determinar cual tipo de almacenamiento subterráneo proporciona las mejores ventajas técnico-econó - micas, se concluye que el almacenamiento en domos salinos es el más acertado.

La disolución de la sal para generar la cavidad requerida, puede llevarse a cabo por medio de agua caliente para propiciar un aumento en dicha solución, pero el incremento ob - tenido no reeditua apropiadamente los costos realizados para obtener el agua a la temperatura apropiada; por ello, se re - comienda elaborar la o - quedad con agua a temperatura ambiente.

Las instalaciones superficiales requeridas en la construcción y operación de cavidades salinas son relativamente pocas, utilizando un área pequeña; la instrumentación empleada se limita a medidores y/o controladores de presión y de flujo esencialmente.

SOLO LECTURA

SOLO LECTURA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Seadock, LOOP shareholders study federal licence terms.
LOOP... total investment of \$804 million required for
3.4 million BPD final capacity.

Storing oil products in excavated rock caverns.

Lee Corkill

Rev. Pipe Line Industry (June, 1977)

- 2.- LOOP construction well underway.

W.B. Read.

Rev. Pipe Line Industry (June, 1979)

- 3.- HPI Storage.

Underground Vs. Surface storage.

Rev. Hydrocarbons Processing (August, 1978)

- 4.- First in the U.S.

Transco procers salt cavern storage of high pressure
gas.

Rev. Pipi Line Industry (March, 1972)

- 5.- Underground Storage.

Moving closer to real pay dirt.

Rev. Chemical Engineering (January 16, 1978)

- 6.- FRP underground horizontal tanks for corrosive chemical

N.J. Kravs, Owens Corning Fiberglas Corp.

Rev. Chemical Engineering (February 11, 1980)

- 7.- Salt cavern storage development is gaining increasing acceptance.
Oil Week (December 5, 1977).
- 8.- Largest underground oil store.
International Petroleum Times (July 15, 1980)
- 9.- Underground caverns a developing storage method.
International Petroleum Times (July 15, 1980).
- 10.- Les roches salines et le storage souterrain.
Saline rocks and underground storage.
Claude Y. Germain.
- 11.- Mined storage caverns.
Company Fenix & Scisson, Inc.
1401 South Boulder.
Tulsa, Oklahoma 74119.
- 12.- Underground storage of oil and gas products.
Y. Ignatius.
- 13.- Method for the subterranean storage and withdrawal of a liquid.
Jack C.W. Fraser, Raymond R.
United States Patent.

14.- Economie et statistiques.

Le stockage souterrain: un nouvel "Age des Caverns".

U.P. Laporte.

15.- Almacenamientos subterráneos de gas natural en estructuras acuíferas, búsqueda de las mismas.

José Antonio Velasco San Pedro.

De Enagas. Rev. Ingeniería Química.

16.- Perspective on large scale oil storage by nuclear - devices.

Joseph R. Crump & Claude R. Hocott.

17.- Underground salt dome storage for North West German oil reserves.

18.- Sal cavities for storage of natural gas at Hornsea in Great Britain.

19.- Underground storage.

Solution-mined salt cavern.

Storage of fluid hidrocarbons.

L.T. Pasiechnyk. Project Engineer.

Western Underground contractorrs Ltd.

20.- Brine mining and storage in salt dome caverns.

Walt Haenggi & R.R. Swanke.

The dow chemical company.

- 21.- Storage method Vs. construction cost.
For LPG and crude oil.
- 22.- Underground oil storage in disosed mines.
Goran Wettlegren.
Suenka Vag AB, Solna Swetlen.
- 23.- Procédé de stockage de produits liquides dans, des
gisaments de set ou analogues.
Herlé et Léchopiez.
- 24.- Almacenamiento de petróleo en cavernas no lineadas en
roca.
E. Koskinen/asi.
Departamento de Ingeniería y Construcción.
NESTEOY 16 Octubre, 1978.
- 25.- SPE 10167
Expansion of solution cavern storage technology.
By Charles W. Querio. Mark Erik Steiner and William
E. Durnell.
- 26.- Process for the development of underground store for
fluid.
Jean-Mechel Noe, Jean-Marc Morisseau.
"GEOSTOCK".

27.- Underground storage of substances in permeable water bearing rock.

John Geoffrey Trotter.

Patent.

28.- Technology of gulf coast salt.

Domal salt, currently applied technology.

Solution mining.

Use of solution cavities for storage.

29.- System for the storage of petroleum products and other fluids in a rock.

Tore Jarker Hallenius, Karl Ivar Sage fors.

Patent.

30.- U.S. Department of energy.

Strategic petroleum reserve office.

Evaluation of the effects of Long-term-storage in salt caverns on the physical and chemical properties of - certain crude oils and disrillate fuel oils.

Kavernen Bau-Und-Betriebs.

31.- Design Variables in solution cavities for storage of solids, liquids and gases.

Shosei Serata and Thomas E. Cundey.

English Atreet, Berkeleg, California 94710 USA.

32.- Stability of caverns Created in rock salt by solution mining.

Gerard Vouille and Philippe Tassel.

Ceture d' Etudes de mecanique des roches de l Ecole des Mines de Paris.

33.- Problems in determination of the water content of rock salt samples and its significance in nuclear waste - storage siting.

Edwin Roedder, R.L. Bassett.

U.S. Geological Survey, Bureau of Economic Geology.

34.- Oil well producing method and system.

James F. Arnold.

United States Patent.

35.- Long-Term operation of underground storage in salt.

A. Clerc-Renaud and D. Dubois.

"GEOSTOCK".

36.- Economical ways of storing Hydrocarbons underground

M. Bergman.

Petrochemie vereiningt mit Brennstoff Chemie.

37.- The stratigraphy and micropalaentology of the cretaceous

Brenton formation and the PB-A/1 well, Near Knysna, Cape Province.

I.R. Metachlan, P.W. Brenner and I.K. Mc Millan.

38.- Offset access well offers solution to problem of debris accumulation in bedded salt storage cavities.

Thomas B. Piper.

Staff Geologist, Wyandotte chemicals corporation.

39.- Transportation and storage API abstracts/Literature.

Underground storage, January 1980.

40.- Información obtenida en el Seminario sobre "Almacenamiento subterráneo en domos salinos".

Impartido por la compañía francesa "GEOSTOCK".

41.- Estudio de factibilidad de almacenamiento de hidrocarburo en cavidades subterráneas.

IMP "SIPE".

42.- Explosion Impacts in underground crude oil storage - facilities.

D.E. Shaw, M.N. Plooster, R.P. Ellison.

Underground space Marzo/Abril 1981.

43.- 25 ans d' experience les atouts des stock ages souterrains.

M. Francois Fantin.

D.E.T.N. du G.P.F.

44.- Meeting the mined underground storage requirements for the national strategic crude oil storage program.

C.T. Brandt.

Fenix & Scisson, Inc.

Tulsa, Oklahoma.