

50521
39



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

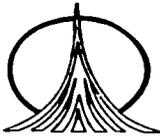
"ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA DISPONER DE
SALMUERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CRUDO EN
DOMOS SALINAS".

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
ALEJANDRO LUIS ROJAS

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. PABLO EDUARDO VALERO TEJEDA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Unidad en la diversidad
Zaragoza Frente al Siglo XXI

MEXICO, D. F.

SEPTIEMBRE 2033.

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZO EN EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO (IMP), EDIFICIO 28, SEGUNDO NIVEL, ALA ORIENTE BAJO LA DIRECCIÓN DEL M. EN I. PABLO EDUARDO VALERO TEJEDA, FUE APOYADO POR EL PROGRAMA DE BECAS DE TESIS A NIVEL LICENCIATURA DEL INSTITUO MEXICANO DEL PETROLEO .

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma De México, por su confianza en los jóvenes de este país.

Agradezco al M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejeda por su paciencia y comprensión en la elaboración de este trabajo

Agradezco a todas las personas que realmente se interesaron por las versiones preliminares de este documento, por que sus observaciones contribuyeron a mi superación personal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEDICATORIAS

A DIOS: POR QUE ME HA PERMITIDO LLEGAR A DONDE HE QUERIDO Y ME HA PERMITIDO SEGUIR EN ESTE MUNDO, A PESAR DE TODO.

A MIS PADRES: CARMEN ROJAS Y MODESTO LUIS POR QUE SIN SU ESFUERZO, APOYO INCONDICIONAL Y COMPRESIÓN NO LO HUBIERA LOGRADO, POR SU LIBERTAD HACIA AMI, LO HE CONSEGUIDO.

A MIS HERMANOS: ESTELA, RAYMUNDO E HILDA, POR QUE SIEMPRE ME HAN APOYADO , ME HAN BRINDADO SUS CONSEJOS Y COMPAÑÍA, POR SU CARÍÑO Y PACIENCIA.

A FRIDDEL GUADALUPE FLORES BAUTISTA POR TODO LO QUE HEMOS VIVIDO JUNTOS

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO, LA MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS DE ESTE PAÍS Y ESPECIALMENTE A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA. POR QUE DEBIDO A INSTITUCIONES COMO ESTA ES QUE LOS MEXICANOS PODEMOS SEGUIR CREYENDO QUE EL FUTURO PUEDE SER MEJOR.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

El petróleo crudo en México es vital ya que genera una gran cantidad de ingresos al país. Debido a ello PEMEX a tomado en cuenta los factores que pueden afectar de manera indirecta la producción de crudo. Entre ellos destacan los fenómenos climatológicos (huracanes y mal tiempo) así como las restricciones a la producción derivadas de los efectos del mercado mundial.

La infraestructura actual de PEMEX para el almacenamiento de crudo solo contempla 2.5 días de inventario (o tiempo de residencia) por lo que cuando se rebasa este lapso de tiempo se tienen que tomar medidas para disminuir la producción con los consecuentes problemas operativos, logísticos y de falta de ingresos.

PEMEX creó una infraestructura de almacenamiento de petróleo crudo en la década de los 80's, entre la cual destaca la formación de cavernas en el domo salino de Tuzandepetl, Veracruz. Las cavernas tienen una gran capacidad de almacenamiento y su funcionalidad fue planeada con la flexibilidad necesaria para manejar el almacenamiento de cualquier tipo de crudo. Con esta infraestructura PEMEX puede captar o suministrar grandes volúmenes de crudo dependiendo de las necesidades prevalcientes en el mercado.

Existe una desventaja técnica de dicha infraestructura para su operación eficiente. Para realizar un movimiento de extracción del crudo almacenado es necesario contar con un fluido que lo desplace, en donde el volumen de petróleo extraído es equivalente al volumen del fluido inyectado. Debido a que las cavernas se encuentran en un medio salino no es muy factible extraer el crudo con agua dulce ya que ocurre una lixiviación adicional de la caverna, y si no es controlada genera deformaciones que a mediano o largo plazo pueden producir inestabilidades estructurales que provocan el cierre u obstrucción de la cavidad, con las consecuentes pérdidas en infraestructura y capacidad de almacenamiento.

El fluido más utilizado para realizar la operación de llenado y vaciado de crudo es salmuera (agua saturada con sal), el problema que surge con esta sustancia es disponer de grandes cantidades almacenada sin que sufran cambios de concentración y disponible en cualquier momento.

La capacidad de extraer o inyectar crudo depende de la cantidad almacenada de salmuera. La capacidad total de almacenamiento de las cavernas es de 12.5 MMB, de estos 4.8 MMB son destinados como receptáculo de insolubles y sello. PEMEX cuenta con una presa (presa B) con una capacidad de almacenamiento de 4.5 MMB, por lo que es necesario disponer de 3.2 MMB de salmuera para poder explotar las cavidades a su capacidad normal.

En la actualidad los fenómenos climatológicos adversos han sido mas frecuentes y la necesidad de disponer de salmuera es más apremiante, por ello se a elaborado este trabajo, tratando de dar una solución aun problema que afecta a nuestro país.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVOS

- 1.- Conocer las características generales de almacenamiento en cavernas subterráneas creadas en México
- 2.- Conocer las características del crudo producido en México y la problemática que se genera cuando el clima afecta la producción de crudo.
- 3.- Investigar las cualidades de los domos salinos, la tecnología necesaria para generar las cavernas en su interior y los procedimientos necesarios para poder utilizar las cavidades.
- 4.- Plantear una solución alterna al problema que actualmente enfrenta el almacenamiento de crudo en cavidades, creado en el domo salino de Tuzandepetl , el cual consiste en disponer de la cantidad de salmuera necesaria para realizar el desplazamiento de crudo de las cavidades.
- 5.- Evaluar las condiciones técnicas de las soluciones alternas, planteadas para la obtención de salmuera.
- 6.- Evaluar las condiciones económicas de las alternativas planteadas para la obtención de salmuera.
- 7.- En base a las condiciones técnicas y económicas elegir la mejor propuesta para la obtención de salmuera.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

CONTENIDO

1. – Antecedentes.

Página

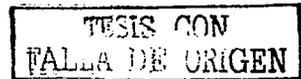
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Generalidades sobre almacenamiento en cavidades subterráneas.	4
1.2.1 Tipos de almacenamiento subterráneo.	4
1.2.1.1 Almacenamiento en cavidades salinas.	5
1.2.1.2 Almacenamiento en minas en roca.	5
1.2.1.3 Almacenamiento en minas abandonadas.	6
1.2.1.4 Almacenamiento en cavidades creadas por explosiones nucleares.	6
1.2.1.5 Almacenamiento en tierra congelada.	6
1.2.1.6 Almacenamiento en mantos acuíferos.	7
1.2.1.7 Almacenamiento en yacimientos agotados de gas o petróleo.	7

2. – Características del crudo pesado en México.

2.1 Tipos de crudo.	8
2.1.1 Características físicas.	9
2.1.2 Características químicas.	10
2.2 Producción de crudo en México.	10
2.3 Producción de crudo en los últimos años.	15
2.4 Pronósticos de producción en el futuro.	21

3. – Características de los domos salinos.

3.1 Localización de los domos salinos en México.	23
3.1.1 Características del domo salino de Tuzandepetl.	24
3.2 Características geofísicas.	25
3.3 Características de la sal para almacenamiento.	26
3.3.1 Características químicas de la sal.	26
3.3.2 Condiciones para el almacenamiento de hidrocarburos.	26
3.4 Proceso de formación de cavidades.	28
3.4.1 Lixiviación directa.	32
3.4.2 Lixiviación inversa.	33
3.4.3 Método combinado.	35
3.5 Servicios necesarios para lixiviación.	40
3.5.1 Arreglo de Tuberías.	40
3.5.2 Agua para lixiviación.	40
3.5.3 Aceite de sello.	41
3.5.4 Salmuera de lixiviación.	41
3.6 Proceso de llenado y vaciado de cavidades con crudo (explotación)	42



4. – Determinación de alternativas técnicas para la obtención de salmuera.

4.1 Infraestructura actual de PEP Tuzandepetl.	43
4.1.1 Infraestructura actual del almacenamiento de Tuzandepetl.	43
4.1.2 Infraestructura instalada desde la construcción.	44
4.1.3 Situación actual.	45
4.2. Requerimientos de PEP Tuzandepetl.	46
4.3 Alternativas para la obtención de salmuera	46

5.-Evaluación técnica de las alternativas de obtención de salmuera para el almacenamiento de crudo en domos salinos.

5.1 Salmuera de CYDSA con infraestructura de CYDSA	48
5.1.1 Antecedentes.	48
5.1.2 Análisis preliminar de las cavidades.	49
5.1.2.1 Uso de la cavidad 203 para recuperar salmuera.	51
5.1.2.2 Programa de acondicionamiento de la cavidad 203.	53
5.1.2.3 Análisis del crecimiento de la cavidad 203 por la recuperación de salmuera.	57
5.1.3 Requerimiento de equipo mecánico	59
5.1.2 Requerimientos de tuberías.	53
5.2 Opción II utilización de la salmuera saturada de CYDSA mediante la infraestructura de PEP	61
5.2.1 Análisis preliminar.	61
5.2.1.1 Programa de acondicionamiento de la cavidad.	61
5.2.2 Condiciones de operación.	64
5.2.3 Requerimiento de equipo superficial.	64
5.2.4 Requerimiento de equipo mecánico.	65
5.2.5 Requerimientos de tuberías.	67
5.2.6 Área eléctrica.	68
5.2.6.1 Equipo para el área de lixiviación.	68
5.2.6.2 Equipo para la bocatomá.	68
5.3 Opción III desplazamiento de crudo de las cavidades 300's con agua de río.	70
5.3.1 Análisis de las cavidades.	70
5.3.2.1 Clasificación de las cavidades en regulares e irregulares.	73
5.3.1.2 Selección de las cavidades para el desplazamiento de crudo con agua dulce.	74
5.3.2 Análisis general de estabilidad de las cavidades.	74
5.3.2.1 Descripción de los registros sonares.	75
5.3.2.2 Análisis de los techos de las cavidades.	75
5.3.2.3 Análisis del fondo de las cavidades.	75
5.3.2.4 Estudio de velocidad de cierre de las cavidades.	76
5.3.3 Programa de acondicionamiento de instalaciones superficiales.	76
5.3.4 Condiciones de operación.	78

5.3.5	Requerimiento de equipo superficial.	78
5.3.6	Requerimientos de equipo mecánico.	79
5.3.7	Requerimientos de tuberías.	81
5.4	Opción IV generación de salmuera por lixiviación de los pozos 400's	83
5.4.1	Programa de acondicionamiento de los pozos 402 y 403.	83
	5.4.1.1 Programa de acondicionamiento de instalaciones superficiales.	84
5.4.2	Programa de lixiviación de los pozos.	86
	5.4.2.1 Diseño de las cavidades.	86
5.4.3	Pruebas a pozos y cavidades, pruebas de Estanquidad	94
5.4.4	Condiciones de operación.	95
5.4.5	Requerimientos de equipo superficial.	96
5.4.6	Requerimientos de equipo mecánico.	98
5.4.7	Requerimientos de tuberías.	101

6.-Evaluación económica de las alternativas técnicas de obtención de salmuera para el almacenamiento de crudo en domos salinos

6.1.	Métodos de estimación.	105
6.1.1	Factores que afectan la estimación económica.	105
6.2	Índices de costos	107
6.3	Tipos de estimaciones	107
	6.3.1 Estimación durante la planeación	107
	6.3.1.1 Método	108
	6.3.2 Estimación preliminar de ingeniería	109
	6.3.2.1 Método	109
	6.3.3 Estimación detallada de ingeniería	110
	6.3.3.1 Método	111
	6.3.4 Estimación en la fase de construcción	111
	6.3.4.1 Método	112
6.4	Procedimiento	112
6.5	Estimación de costos	117
	6.5.1 Estimación de costos, opción 1	117
	6.5.2 Estimación de costos, opción 2	118
	6.5.3 Estimación de costos, opción 3	119
	6.5.4 Estimación de costos, opción 4	120

7.- conclusiones y recomendaciones

7.1	Opción 1, salmuera de CYDSA con infraestructura de CYDSA.	121
7.2	Opción 2, salmuera de CYDSA con infraestructura de PEP.	122
7.3	Opción 3, desplazamiento de crudo con agua dulce.	122
7.4	Opción 4, generación de salmuera por lixiviación de los pozos 400's.	123

8.- bibliografía

124

G

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

TABLA		PÁGINA
1.2.1	"Eventos por año"	3
1.2.2	"escenario por mal tiempo"	3

CAPÍTULO 2

TABLA		PÁGINA
2.1.1	"Tipos de crudo"	8
2.1.2	"Características físicas de los crudos base"	9
2.1.3	"Características químicas de los crudos base"	10
2.2.1	"Producción de crudo por región y activo, Región Marina noroeste"	11
2.2.2	"Producción de crudo por región y activo, Región Marina suroeste"	12
2.2.3	"Producción de crudo por región y activo, Región sur"	13
2.2.4	"Producción de crudo por región y activo, Región Norte"	14
2.3.1	"Producción de crudo por tipo, Región Marina noroeste"	16
2.3.2	"Producción de crudo por tipo, Región Marina suroeste"	17
2.3.3	"Producción de crudo por tipo, Región sur"	18
2.3.4	"Producción de crudo por tipo, Región norte"	19
2.3.5	"Total de crudo por tipo, total"	20
2.4.1	"Pronóstico de producción de crudo"	22

CAPÍTULO 3

TABLA		PÁGINA
3.4.1	"Cualidades de lixiviación por fracturación entre pozos"	29
3.4.2	"Cualidades de lixiviación por caverna aislada"	30
3.4.3	"Características de lixiviación directa"	32
3.4.4	"Características de lixiviación inversa"	33

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 4

TABLA		PÁGINA
4.1.1	"Capacidad por tipo de crudo"	43

CAPITULO 5

TABLA		PÁGINA
5.1.1	"Resumen de las cavidades de la compañía CYDSA"	51
5.1.2	"Volumen de cavidades de la compañía CYDSA"	52
5.1.3	"Análisis de disponibilidad"	53
5.1.4	"Programa general de actividades para generar salmuera considerando la primera opción"	55
5.1.5	"Análisis del crecimiento de la cavidad 203"	57
5.1.6	"Tiempo de disposición de salmuera en función del numero de cavidades"	57
5.1.7	"Incremento del diámetro de la cavidad 203 por lixiviación"	58
5.1.8	"Relación de equipo e instrumentos "	58
5.1.9	"Material de tubería"	59
5.2.1	"Análisis del crecimiento de la cavidad 203"	64
5.2.2	"Análisis hidráulico para lixiviación de la cavidad TUZANDEPETL-203"	62
5.2.3	"Programa general de actividades para generar salmuera considerando la segunda opción"	63
5.2.4	"Relación de equipo e instrumentos"	64
5.2.5	"Material de tuberías"	67
5.3.1	"Registros sonares"	70
5.3.2	"Análisis de cimas y bases de las cavidades TUZ-300'S"	71
5.3.3	"Análisis de volúmenes perdidos en las cavidades por obstrucción de bloques"	71
5.3.4	"Análisis de los diámetros de las cavidades para la determinación de los intervalos de inyección de agua dulce"	72
5.3.5	"Clasificación de cavidades con diámetros variables y configuración irregular"	73
5.3.6	"Clasificación de cavidades con diámetros amplios y configuración regular"	73
5.3.7	"Cavidades que se explotaran con agua dulce"	74
5.3.8	"Registros sonares de las cavidades"	75
5.3.9	"Programa general para el acondicionamiento de las instalaciones consideradas en la tercera opción"	77
5.3.10	"Relación de equipo e instrumentos"	78
5.3.11	"Material de tuberías"	81
5.3.12	"Material de tubería"	82

TABLA		PÁGINA
5.4.1	"Programa general para el acondicionamiento de las instalaciones consideradas en la cuarta opción"	85
5.4.2	"Datos para la generación de las cavidades 400's"	86
5.4.3	"Programa de lixiviación de las cavidades 402 y 403"	87
5.4.4	"Fluidos manejados en la lixiviación de los pozos 402 y 403"	88
5.4.5	"Especificación de las tuberías de lixiviación"	88
5.4.6	"Hidráulica de lixiviación del pozo 402, caídas de presión"	90
5.4.7	"Hidráulica de lixiviación del pozo 402, caídas de presión"	91
5.4.8	"Hidráulica de lixiviación del pozo 402, caídas de presión"	92
5.4.9	"Relación de equipo e instrumentos"	96
5.4.10	"Materiales de tubería"	101
5.4.11	"Materiales para bombas GA-102 A/B"	102
5.4.12	"Comparación de las cuatro opciones técnicas"	104

CAPITULO 6

TABLA		PÁGINA
6.5.1	"Estimado de costos, primera opción"	117
6.5.2	"Estimado de costos, segunda opción"	118
6.5.3	"Estimado de costos, tercera opción"	119
6.5.4	"Estimado de costos, cuarta opción"	120
6.5.5	"Resumen de costos"	120

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Апехо А

Апехо В

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

L

ANTECEDENTES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1. ANTECEDENTES

El objetivo de este capítulo es conocer los antecedentes sobre el almacenamiento subterráneo y las causas que han obligado a México a incursionar en este tipo de tecnología, así como el panorama actual de la necesidad de contar con almacenamiento de crudo en grandes capacidades y bajo costo.

La idea de almacenar hidrocarburos en el subsuelo terrestre fue concebida en Alemania durante la primera guerra mundial. La patente de esta tecnología fue otorgada a una compañía de exploración alemana en 1916. Aunque en 1915 fueron los primeros intentos de almacenamiento de gas natural en yacimientos depresionados en Welland County, Ontario, Canada.

Las primeras cavernas planeadas para almacenamiento de hidrocarburos en Estados Unidos fueron realizadas a principios de los años 50's. Posteriormente en 1950 se da la primera aplicación de almacenamiento en cavidad salina. Almacenamiento de Gas L.P. en el domo Pierce Junción, en Texas, USA.

Los trabajos de exploración de la sal en los domos salinos del sureste de México con fines de aprovechamiento industrial de la sal, se iniciaron durante el año de 1960 y fue a fines de 1962 cuando PEMEX desarrolló un programa de exploración en los domos salinos de Pajaritos, Teapa Viejo y Tuzandepetl.

De acuerdo a lo anterior, el pozo Pajaritos No. 3 fue perforado de octubre de 1962 a febrero de 1963, sin embargo la perforación se suspendió a la profundidad de 2,088 m., debido a la mala calidad de la sal, encontrando tramos de lutita con trazas de sal, baja recuperación de núcleos por abundante fracturamiento así como presencia de cavidades.

En caso del pozo Teapa No. 201 perforado de marzo a junio de 1963 también fue suspendido a la profundidad de 1,110 m., ya que la sal se encontró muy contaminada de anhídrita, lutita, magnesio y sales de potasio.

Con los pozos Tuzandepetl 201, y 202, perforados a profundidades de 1,100 y 1,500m. (de marzo a mayo y de agosto a octubre de 1963), se localizó la cima de la sal a 351 y 326 m respectivamente, con una pureza en NaCl del 96% como promedio general. Además las pruebas de producción que se realizaron fueron satisfactorias, lo que determinó su utilización industrial como productores de salmuera.

Para prevenir interrupciones en la producción de estos pozos, tales como reparaciones al equipo de bombas, limpieza de las líneas, etc., se perforaron los pozos 201-a con la cima de la sal a 351 m. y profundidad de 1,500 m. El pozo 203, el cual alcanza una profundidad de 1,400 m y encontró sal a partir de los 435 m (sal con intercalaciones de anhídrita). El pozo 204 fue puesto en explotación durante los primeros meses de 1989 a una profundidad de 1,500 m. En este pozo la cima de la sal fue encontrada 390 m.

Con la decisión de explotar la sal para fines alimenticios, la compañía CYDSA ha lixiviado cuatro cavidades en el domo salino de Tuzandepetl desde 1963 (cavidades 201a, 202, 203 y 204).

de las cuales solo una continúa en explotación (204), las otras tres están actualmente sin uso, en la figura 5.1.1 se presenta el plano de localización de las cavidades antes mencionadas.

En México se perforó en 1961 el pozo Tuzandepetl 7 (en Veracruz), con el fin de almacenar 79,500 m³ de propano líquido, pero el proyecto tuvo que abandonarse, porque las tuberías se taponaron con cristales de sal, al suspender temporalmente la construcción por falta de equipo.

El proyecto de almacenamiento de crudo en nuestro país localizado en Veracruz surgió como respuesta a la necesidad de tener terminales de almacenamiento que permitiesen aprovechar al máximo la relación oferta demanda de crudo.

El Plan Nacional de Desarrollo 1982 - 1988 marco lo siguiente:

" Para aumentar la eficiencia en la producción y distribución de hidrocarburos se racionalizará el aprovechamiento de hidrocarburos a través de la ampliación del sistema de ductos, de la capacidad de almacenamiento de crudo y refinados y de la infraestructura portuaria."⁽¹⁾

Debido a que el almacenamiento subterráneo presenta ventajas sobre el superficial y también a que diversos estudios^(2,3) confirmaron que de los diferentes tipos de almacenamiento subterráneo existentes, el más factible en nuestro país, era el construido en sal, se decidió llevar a cabo la ingeniería necesaria para la construcción de cavidades de almacenamiento.

Petróleos Mexicanos, (PEMEX) con la finalidad de incrementar su capacidad de almacenamiento de crudo en 10 millones de barriles decidió construir 12 cavidades en el domo salino de Tuzandepetl, Ver. Para ser utilizadas con fines estratégicos, de operación, logística de distribución y transporte para cumplir con la demanda nacional y los compromisos de exportación.

El inicio del proyecto fue en julio de 1985 y se terminó en abril de 1992, la vida útil de las cavidades es de 40 años.

Es necesario recalcar que varias cavernas no se pueden utilizar debido a que no se cuenta con salmuera para desplazar el crudo, por lo que es necesario encontrar la manera óptima de disponer de salmuera y poder realizar movimientos de almacenamiento y desplazamiento de crudo. Frente a una rigidez en la cadena de producción, una proporción importante de la demanda fluctúa en función de las condiciones climáticas o económicas, como las que se enlistan:

- Tensiones internacionales
- Variaciones internacionales
- Variaciones semanales (impacto del fin de semana en el consumo de gas)
- Variaciones diarias (contraste día/ noche)
- Variaciones horarias (administración de redes de transporte de gas en cantidades nominales, alimentación de centrales hidroeléctricas, etc.

Los ritmos de producción de crudo pesado se han elevado significativamente desde el 2001 a la fecha, lo anterior aunado al diferimiento en tiempo de la reconfiguración de las refinerías del país, obliga a un manejo mayoritario de exportación.

La producción de crudo en el 2001⁽⁴⁾ fue de 1,945 MBD y alcanzara un máximo de 2,422 MBD en el 2004, por lo que es necesario incrementar las capacidades de transporte y almacenamiento para los próximos años.

Otro factor que ha impactado notablemente los programas de producción de crudo en las últimas fechas son los fenómenos climatológicos que han provocado situaciones extremas como los cierres de pozos, con el consiguiente diferimiento de la producción.

En base a datos estadísticos de contingencias meteorológicas, se requiere disponer de una capacidad de almacenamiento hasta de 5.5 días, en tanto que la infraestructura actual solo afronta 2.6 días de mal tiempo, como se muestra en las siguientes tablas (1.2.1 y 1.2.2).

Las tablas 1.2.1 y 1.2.2 muestran las estadísticas de cierre de puertos

Tabla 1.2.1 "Eventos por año"

Días/año	Número de eventos por año							
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1	4	9	5	9	10	13	28	28
2	5	9	13	9	9	5	22	22
3	8	4	2	5	2	4	4	7
4	2		3	3	2	2	5	1
5	1				1	5	2	1
6		1			1			
7		1						
8		1						
Total	51	60	49	54	53	68	61	59

Tabla 1.2.2 "Escenario de mal tiempo"

Puerto	Número de días de cierre					
	1	2	3	4	5	6
Cayo arcas				*		
Dos bocas						*
Pajaritos						*

En el año 2001 la situación fue la siguiente:

- El transporte de crudo de plataformas en la Sonda de Campeche hacia la Terminal Marítima Dos Bocas (TMDB) en Tabasco, estuvo limitado a 1,500 MBD, que en una situación de emergencia sólo manejo una producción máxima de 2,300 MBD, considerando un flujo de 800 MBD al FSO (Flotín Estructure Offshore)⁽⁵⁾
- Debido a los altos niveles de inventario en el FSO y TMDB se contó con una capacidad de almacenamiento para afrontar hasta 2.6 días de mal tiempo.

- La falta de rebombeo en Cardenas (El misterio), Tabasco, se limitó a una capacidad efectiva de 2,100 MBl.
- Como resultado de las restricciones del sistema, los eventos de cierre de puertos por mal tiempo de 5.5 días, tuvieron un efecto de producción diferida de 1,300 MBl. Lo cual provoca la caída de ingresos de divisas por este concepto, teniendo un impacto la economía de manera directa.

1.2 GENERALIDADES SOBRE ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES SUBTERRANEAS.

Las aplicaciones de almacenamiento subterráneo son muy variadas, pero sus aplicaciones en la actualidad son:

El almacenamiento de fuentes de energía: en dos formas principalmente

- Almacenamiento de hidrocarburos en volúmenes importantes de gas natural comprimido, Gas LP, etileno, petróleo crudo, y productos refinados (diesel, gasolina, keroseno)
- El almacenamiento de aire comprimido CAES (Compressed Air Energy Storage) en relación con los ciclos día /noche de las centrales eléctricas

El almacenamiento de desechos.

- Desechos nucleares, laboratorios subterráneos, almacenamiento de desechos base y media actividad.
- Desechos industriales o químicos (Alemania, USA, CEU)
- Residuos de incineración doméstica.

El almacenamiento de productos alimenticios:

- Contenedores subterráneos refrigerados para alimentos congelados (Escandinava)
- Agua dulce (Brasil, Escandinava.)

1.2.1. TIPOS DE ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO

En general los almacenamientos subterráneos se dividen en:

1. - Almacenamientos en cavidades.

Son construidos efectuando oquedades en el subsuelo, utilizando distintas técnicas, de acuerdo al tipo de formación geológica existente, se describen cinco tipos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Cavidades salinas
- Cavidades minadas en roca
- Minas abandonadas
- Explosiones nucleares
- Tierra congelada.

2.- Almacenamiento en medios porosos.

Son adecuados para almacenamiento, si arriba de la formación existe una cobertura hermética que no permita escapes de producto. Debe existir también adecuada porosidad que permita un volumen aceptable por almacenar y una permeabilidad tal que facilite la inyección y la extracción del producto. A este tipo pertenecen los siguientes:

- Acuíferos.
- Yacimientos agotados de gas o petróleo

1.2.1.1 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES SALINAS.

Se realizan en grandes capas salinas por medio de lixiviación empleando agua dulce. Se produce salmuera, la cual se extrae por inyección del hidrocarburo, el cual se extrae por inyección de salmuera ocasionando un movimiento cíclico.

1.2.1.2 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES MINADAS EN ROCA.

Las etapas para desarrollar este tipo de almacenamiento son:

1. - Obtener información geológica de la zona considerada que permita conocer las posibles zonas de fallas y las necesidades de refuerzos y soportes.
2. - Llevar a cabo la operación de minería.
3. - Equipar la caverna para almacenamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La construcción de la caverna debe efectuarse en roca mecánicamente competente, homogénea, libre de fallas mayores, con baja permeabilidad y que no reaccione con el producto almacenado.

La profundidad debe ser tal que la caverna se encuentre:

- Abajo del nivel freático.
- Tan cerca de la superficie como sea posible.
- Debajo de una capa de suficiente grosor, que no cause problemas al techo de la cavidad.

Dado que la mayoría de las veces, el techo y las paredes de la cavidad presentan cierta porosidad, debe proveerse de un método para sellar todas las fisuras y obtener una cavidad completamente hermética. Por lo cual se tienen dos tipos de cavernas: fisuradas y no fisuradas.

En el caso de cavidades no fisuradas, el sello es logrado por medio del principio hidrodinámico: donde el crudo almacenado está flotando sobre una cama de agua y dado que la caverna se localiza bajo el nivel freático, el agua ejerce una presión hidrostática en todos los puntos de la caverna, la cual es mayor a la interna, evitando fugas. De estas cavidades se conocen dos tipos:

- Cavidad con lecho de agua fijo. El nivel de agua se mantiene fijo y el nivel del producto varia. El nivel de la cama de agua puede ser natural o artificial.
- Cavidad con lecho de agua variable. El nivel del producto es constante y el agua es variable, cuando la caverna está "llena", el grosor de agua es mínimo, cuando está "vacía" se llena de agua.

Por otra parte las cavidades fisuradas requieren de un recubrimiento interno que puede consistir de varias capas de pintura aspreada en todas las paredes de la caverna. Es un método mucho más costoso que el anterior, no obstante :

- Puede construirse en roca de baja estabilidad
- No necesita de agua circundante
- El producto esta protegido de contaminaciones externas.

1.2.1.3 ALMACENAMIENTO EN MINAS ABANDONADAS.

Frecuentemente se utilizan minas abandonadas como almacenamiento, que pudieron haber sido de carbón, sal, caliza, lignito, etc. Deben aplicarse pruebas que aseguren que el techo no ha sufrido deterioros, como hundimientos, a causa de las operaciones de minería. Una vez que se ha cambiado el uso de la cavidad a almacenamiento aplican las mismas consideraciones que para cavernas en rocas.

1.2.1.4 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES CREADAS POR EXPLOSIONES NUCLEARES.

Para este tipo de cavidades el problema principal consiste en escoger un sitio, a una profundidad adecuada en donde pueda ser colocado el explosivo. La cavidad formada por una explosión nuclear controlada es inicialmente una esfera que degenera en una cavidad cilíndrica, debido al colapso del techo. La detonación causa que algo de roca se vaporice y otra se funda, por lo que se forma un charco de roca que formará el piso de la cavidad. Debido al impacto de la explosión se crean unas fracturas que se propagan desde el punto de disparo y cuya extensión es arriba del punto de disparo 6 a 8 veces el radio de la esfera inicial, a los lados del punto de disparo 3 veces el radio de la esfera inicial y abajo del punto de disparo 1.5 veces el radio de la esfera inicial.

1.2.1.5 ALMACENAMIENTO EN TIERRA CONGELADA.

Este tipo de almacenamiento se construye cerca de la superficie. Basándose en el hecho de que, al refrigerar la tierra, se congela el agua que contiene y se crea una barrera impermeable que permitirá el almacenamiento de hidrocarburos.

Debe tomarse y analizarse varias muestras del subsuelo para determinar sus propiedades durante el congelamiento y su estructura, y de esta información se determinan las dimensiones óptimas del tanque y lo requerimientos de refrigeración.

1.2.1.6 ALMACENAMIENTO EN MANTOS ACUÍFEROS

El término acuífero se aplica a formaciones subterráneas porosas que contienen agua que puede moverse libremente, ocupando los espacios libres entre granos de arena. Cuando se lleva a cabo el almacenamiento, el producto desplaza al agua, alejándola del pozo de inyección. Son necesarios los siguientes requisitos:

- Una estructura impermeable con una forma tal que permita la acumulación del hidrocarburo.
- Una capa de roca saturada de agua, que imponga limitaciones hacia arriba y lateralmente, para asegurar que el producto almacenado no migre a causa de la flotación. Un tipo muy común es el llamado anticlinal.
- Un contenedor o lecho poroso de roca, en el cual se pueda inyectar o extraer hidrocarburos a través de pozos.
- Es necesario que la formación se encuentre a una cierta profundidad que permita el almacenamiento a una presión mucho mayor que la atmosférica, idealmente cercana a las presiones típicas en los ductos.
- El agua debe de estar presente para confinar el producto en todas direcciones, sellando la roca.
- La duración del reconocimiento de una estructura es de aproximadamente tres años.

1.2.1.7 ALMACENAMIENTO EN YACIMIENTOS AGOTADOS DE GAS Y PETRÓLEO

Los yacimientos agotados de gas o petróleo son almacenamientos que pueden ser utilizados en corto plazo, ya que cuentan con registros que comprueban la hermeticidad de la estructura. Funcionan de igual modo que los pozos de gas o petróleo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO PESADO EN MÉXICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. - CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO PESADO EN MÉXICO

2.1 TIPOS DE CRUDO

El objetivo de este capítulo es conocer las características físicas y químicas de los diferentes tipos de crudo así como los diferentes lugares en donde se procesan y la producción en los últimos años.

En la república mexicana se extraen más de 13 tipos de petróleo crudo con diferentes características físico-químicas, por lo cual se divide en tres zonas, la norte, centro y sureste, las cuales están constituidas por áreas productoras siendo al norte, el golfo de Sabinas y Burgos, el centro esta constituido por Poza rica y Papaloapan, y la zona del sureste por Chiapas, Tabasco y Sonda de Campeche. Por las características del petróleo para los procesos de refinación Nacional y de exportación se llevan a cabo mezclas de los diferentes tipos de crudo para atender a los consumidores con las especificaciones requeridas. Los petróleos vírgenes obtenidos son previamente estabilizados, es decir, se le elimina la mayor cantidad de agua salada, (deshidratación) y el gas asociado y posteriormente desalados para cumplir con las principales especificaciones como son el contenido de agua y sedimento, contenido de sal y su presión de vapor.

Tabla 2.1.1 "Tipos de crudo"⁽⁶⁾

TIPO DE CRUDO	REFINERÍAS					
	CADEREYTA RVO LEON	MADERO TAMPS	MINA TITLAN VER	SALAMANCA GTO.	SALINA CRUZ OAX	TULA IGO
LIGEROS						
MAYA						
DESPUNTADO DE CANGREJERA						
PENTANOS DE CANGREJERA						
NAFTA LIGERA DE CANGREJERA						
POZOLEO						
OLMECA A LUB						
MARINO NFO Y PZR						
MURO HORCON						
ALAMO						
GASOLINA POZA RICA						
PAPALOAPAN						
ARENQUE						
TAMAULIPAS						
PANUCO						
CACALILAO						
NARANJOS						
TERCIARIO (LA VENTA)						
EL PLAN (NO CEROSO)						

La rentabilidad de cada centro de trabajo en PEMEX-Refinación, es un renglón de vital importancia y para ello resulta prioritario ejercer un eficiente aprovechamiento del petróleo como materia prima. En las refinerías del sistema PEMEX-Refinación, se procesa una gama de mezclas de petróleo crudo con propiedades fisicoquímicas propias diferentes, que se clasifican como ligeros, intermedios y pesados.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En la siguiente tabla se muestran valores característicos de los petróleos crudos base que se extraen de las zonas de explotación.⁽⁶⁾

Tabla 2.1.2 "Características físicas de los crudos base"

PROPIEDAD	MAYA	LIGERO	RECONOS TITUIDO	MAR F O	PAPA LOAPAN	AREN QUE	TAMAU LAPAS	PANUCO	MURO ALAMO	NARAN JOS	ITSMO
Peso Esp. A 60/60 °F	0.9229	0.8580	0.8580	0.9133	0.7838	0.8644	0.9478	0.9871	0.9568	0.8957	0.8674
Gravedad API	21.32	33.42	34.00	23.43	49.03	32.50	17.79	11.85	16.39	26.48	31.63
Presión de vapor reid. (ps)	4.70	6.00	8.00	6.50	8.40	11.60	3.70	2.30	6.90	5.80	6.00
Viscosidad cinemática, cSt a											
15.0 °C	367.5	12.11	13.89	287	2.35	25.80	3200	34652	14564	72.63	14.52
21.1 °C	281.09	10.26	12.34	183.70	2.27	17.71	2010	20122	7965	34.08	12.31
25.0 °C	236.13	9.35	11.43	140.10	2.19	15.02	1520	15105	5242.4	44.01	10.97
Temperatura de solidificación -30	<-42	-33	-24	<-45	-21	-6	-3	-6	-27	-33	
Poder calorífico bruto, BTU/lb	18870	19520	19550	18054	19982	19476	18740	18396	18648	19208	19452
Poder calorífico neto, BTU/lb	17820	18330	18345	17934	18695	18290	17678	17405	17614	18070	18268
Insolubles en C5 % peso	14.47	3.21	2.94	4.90	2.80	1.60	15.90	21.00		13.30	3.70
Insolubles en C7 % peso	11.22	1.89	1.32	2.50	1.50	1.90	12.90	15.90		11.10	3.10
Carbon Condensat % peso	11.76	4.15	4.68	11.95	3.90	5.82	13.30	13.60	14.42	7.82	4.61
Carbon Residuos % peso	11.35	3.83	4.15	11.14	3.60	5.60	12.70	12.58	13.89	7.62	4.49
Agua por destilación % vol.	0.40	<0.05	<0.05	0.40	0.05	0.05	0.20	0.40	0.05	0.05	0.05
Agua y sedimento % vol.	0.20	0.10	0.05	0.40	0.05	0.20	0.40	0.42	0.20	0.05	0.05
Sedimento por extracción Agmas Sol. (14/1000) (3)	0.22	0.25	0.14	0.03	0.01	0.02	0.02	0.60	0.05	0.01	0.03
Sol. (14/1000) (3)	65.75	12.50	<0.25	30.50	1.75	3.21	87	150	111.7	16.8	19.5

Se puede observar que el crudo maya es el mas pesado en comparación del crudo istmo, además de que contiene un mayor contenido de sal. Otro punto que resalta es su alta viscosidad lo cual obliga a que se realicen mezclas de los diferentes tipos de crudo para poder ser procesados.

Cabe resaltar que el crudo maya es el que se extrae en mayor proporción en la república mexicana y es el que se procesa en los seis centros de refinación mostrados en la tabla 2.1.1 "Tipos de crudo".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

En la siguiente tabla se resumen las principales características químicas de los crudos base.

Tabla 2.1.3 "Características químicas de los crudos base"

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS CRUDOS BASE											
PROPIEDAD	MAYA	LIGERO	RECONS TEUBER	MAR P. C.	PAPALOA PAN	ARINQUE	TAMAU LIPAS	PANUCO	MURRI ALAMO	NARANJOS	ISTMO
Azufre total % peso	3.64	11.98	13.13	11.79	12.40	12.60	11.63	11.40	11.70	11.80	11.90
Factor de caracterización KLEB	11.76	6.00	8.00	6.50	8.40	11.60	3.70	2.30	6.90	5.80	6.00
Nitrogeno basico ppm	1169	982	265	814	287	355	285	275	948	517	217
Nitrogeno total ppm	3378	1192	912	2525	958	1176	2565	3387	2850	1559	716
Nº de neutralización mgKOH/g	1.16	0.44	0.08	1.94	1.08	0.92	1.57	2.15	0.37	0.92	0.25
Metales ppm											
Fe	0.80	0.50	3.20	1.80	0.01	2.40	0.80	2.30	7.50	0.90	5.20
Ca	0.70	0.20	0.04	0.10	0.03	0.20	0.60	1.80	1.90	0.20	0.50
Ni	53.80	9.20	10.40	43.00	15.10	15.60	41.30	62.40	64.53	32.40	14.30
V	271.30	43.80	52.80	208	28.10	6.7	229	320	314	111	46.30
Acido sulfúrico ppm	130	140	12	11	40	12	24	37	647	10	100
Mercurio ppm	151	107	71	80	312	48	145	183	32.40	34	100

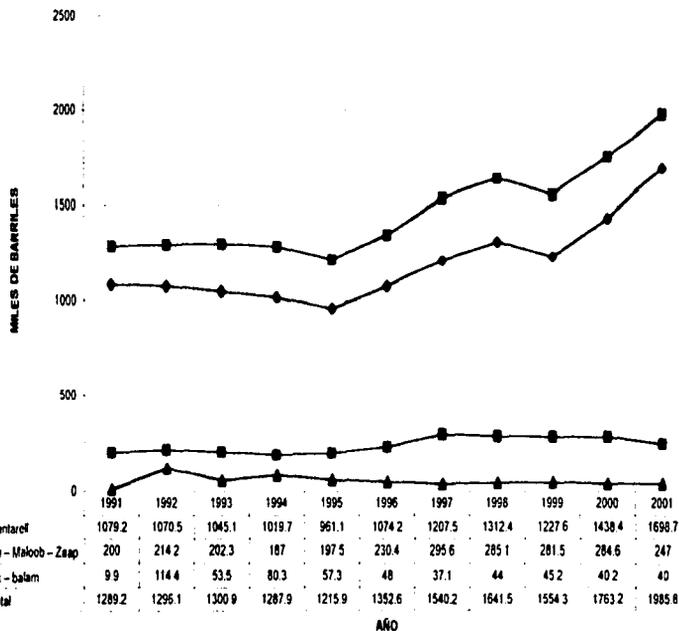
Nuevamente se observa que el crudo maya es el extremo del crudo istmo, sin embargo todos contienen materiales contaminantes que como impurezas causan inestabilidad en los equipos de proceso y en las condiciones de operación, así como ensuciamiento.

2.2 PRODUCCIÓN DE CRUDO EN MÉXICO.

A continuación se da la producción de petróleo crudo por región y activo de explotación (miles de barriles diarios)⁷⁾

TESIS CON
FALSA DE ORIGEN

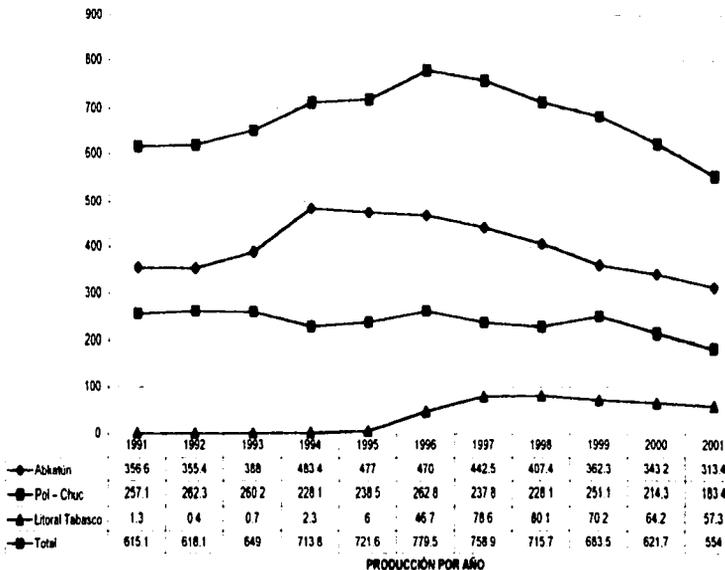
TABLA 2.2.1. "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR REGIÓN Y ACTIVO, REGIÓN MARINA NOROCCIDENTE



Se observa como la producción del activo Cantarell va en aumento mientras que los otros permanecen más o menos igual

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

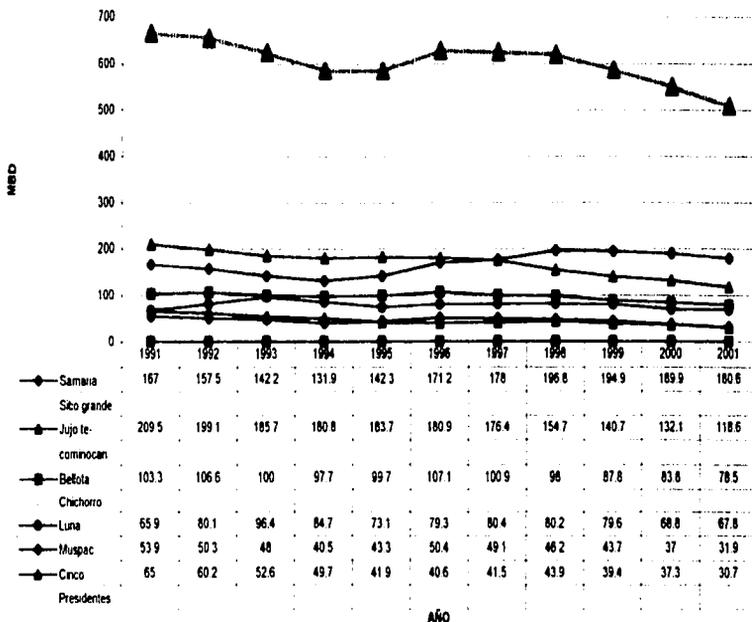
TABLA 2.2.2. "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR REGIÓN Y ACTIVO, REGIÓN MARINA SUROESTE"



TESIS COM
FALLA DE CUARENTA

En general se observa como la producción va decreciendo en los activos.

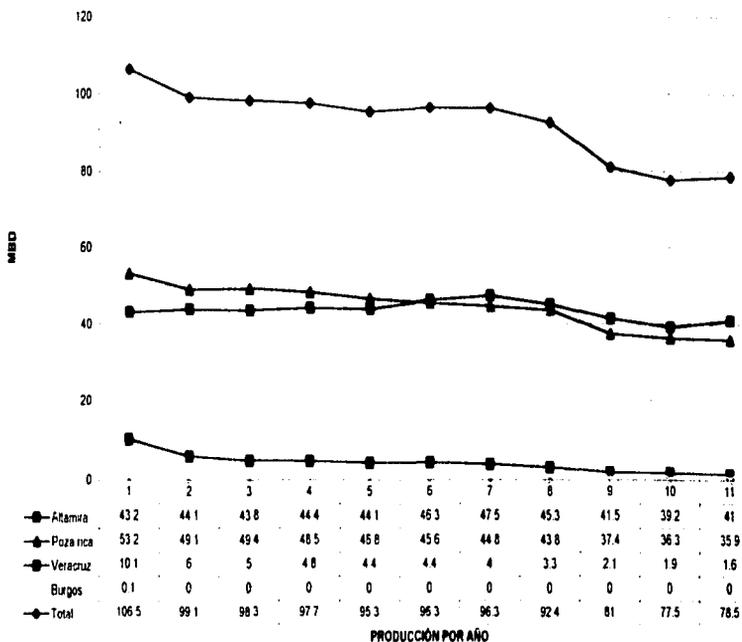
TABLA 2.2.3 "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR REGIÓN Y ACTIVO, REGIÓN SUR



La producción en la región sur en general va decreciendo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 2.2.4 "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR REGIÓN Y ACTIVO, REGIÓN NORTE"



Nuevamente se observa como la producción va decreciendo

TESIS CON
 FALLA DE CALIDAD

Se observa en la tabla 2.2.1 la región marina noreste ha incrementado su producción en todos sus activos, no así para la región marina suroeste, excepto por su activo en litoral tabasco.

El balance promedio de la región sur es que su producción ha decrecido excepto en algunos activos, al igual que la región norte.

2.3 PRODUCCIÓN DE CRUDO EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

A continuación se presentan datos de la producción de crudo por tipo y región.⁽⁷⁾

En la tabla anterior se puede observar que el crudo ligero y el crudo supertigero has disminuido su producción en los últimos diez años, lo cual ha ocasionado que el crudo maya sea el más importante en la actualidad, (este es uno de los motivos por lo cual se elaboro este trabajo) y el que más divisas genera por su exportación.

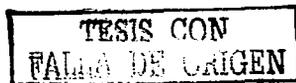
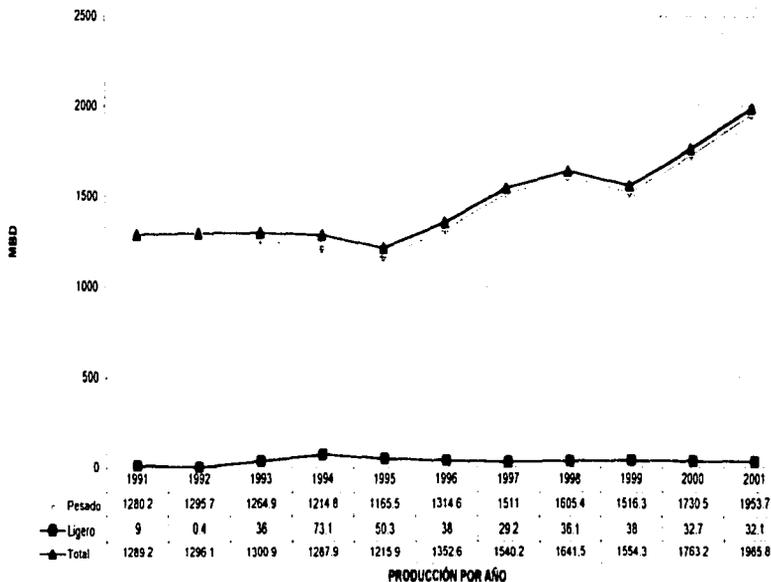


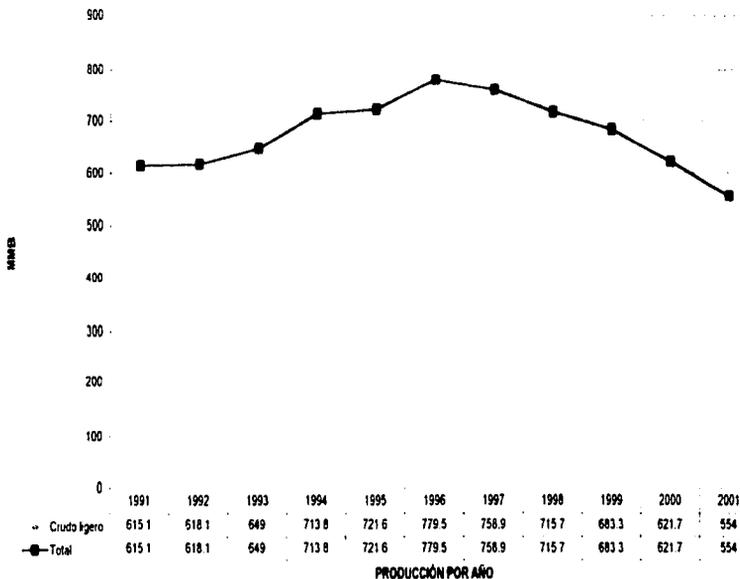
TABLA 2.3.1. PRODUCCIÓN DE CRUDO POR TIPO, REGIÓN MARINA NOROCCIDENTE



Se observa como la producción va creciendo en esta región

TESIS CON FALLA DE CUBIEN

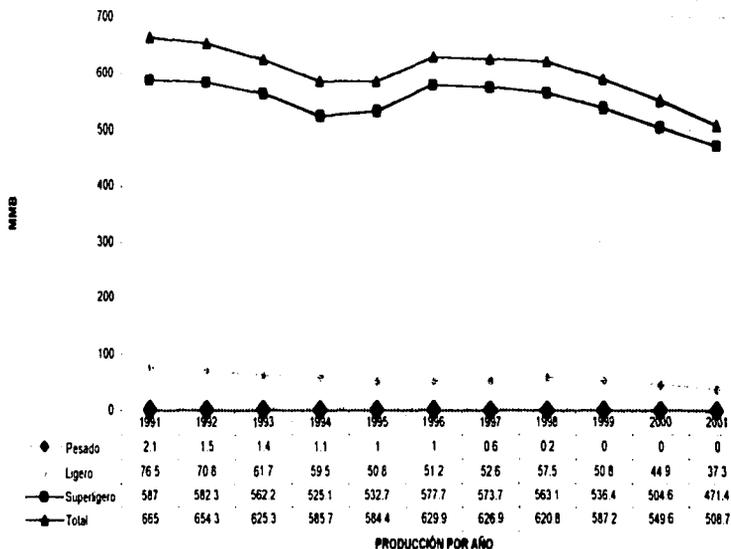
TABLA 2.3.2 "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR TIPO REGIÓN MARINA SURCOESTE"



En esta región la producción ha decrecido

TESIS CON
 FALLA DE CALZEN
 NOU

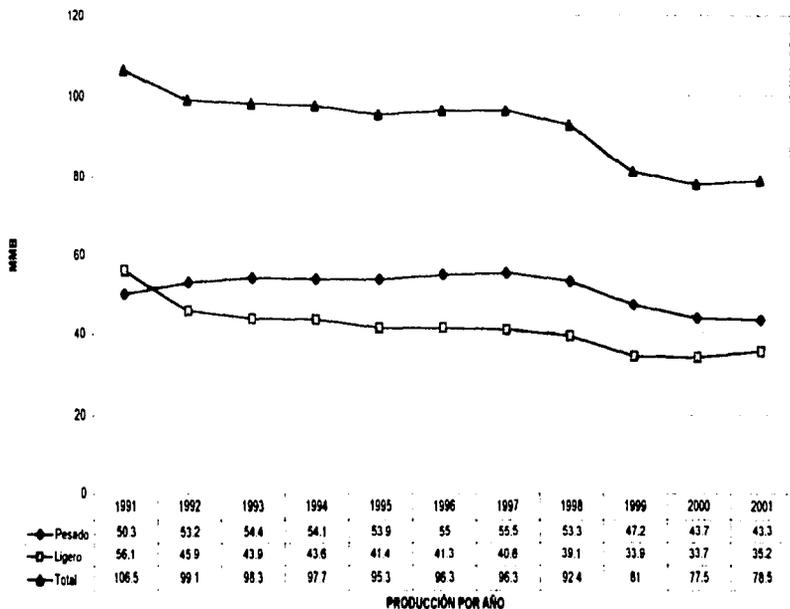
TABLA 2.3.3 "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR TIPO REGIÓN SUR"



El crudo pesado se dejó de producir y en general va decayendo la producción

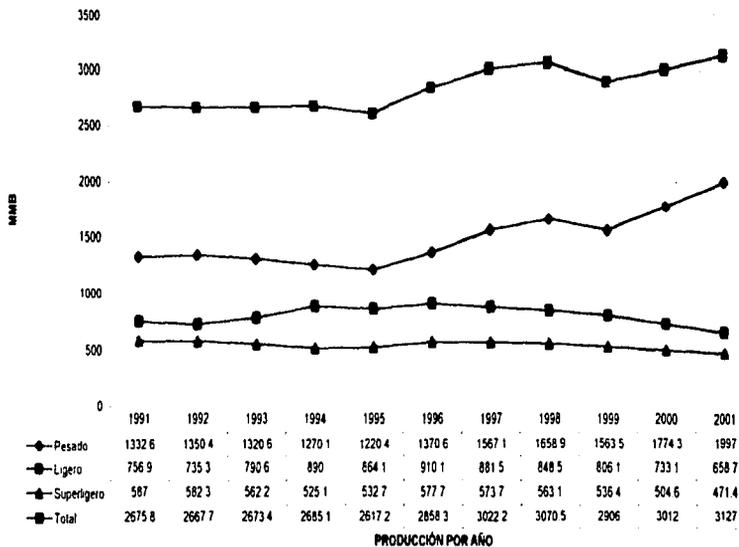
TESIS CON
 FALLA DE CALIBRE

TABLA 2.3.4 "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR TIPO REGIÓN NORTE"



La producción de crudo pesado va decayendo.

TABLA 2.3.5 "PRODUCCIÓN DE CRUDO POR TIPO, TOTAL"



En general, se observa como la producción de crudo pesado se ha incrementa

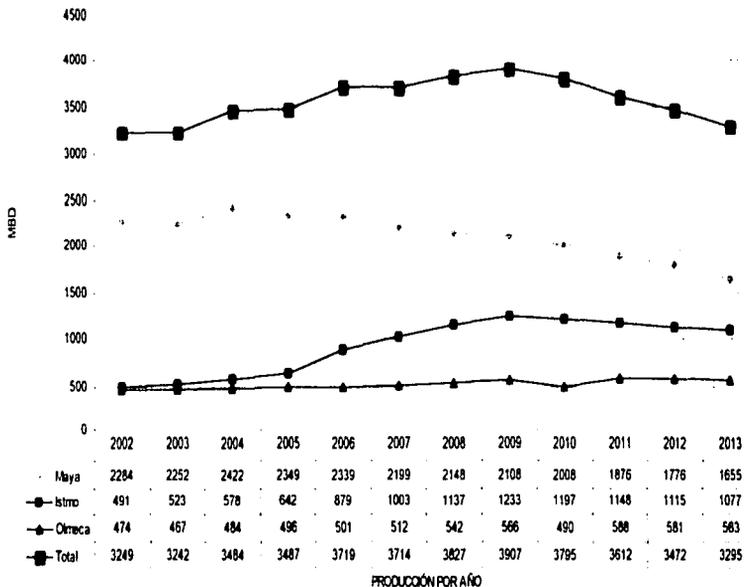
2.4. PRONÓSTICOS DE LA PRODUCCIÓN EN EL FUTURO.

PEMEX refinación a realizado pronósticos sobre la producción del crudo en futuro, y de ellas se desprende que esta década será marcada por el aprovisionamiento del energético. Los datos a futuro se muestran a continuación.⁽⁶⁾

Se observa que el crudo maya decrecerá en su producción y el crudo istmo y olmeca crecerán en su producción si se descubren mas yacimientos en el futuro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 2.4.1.1* PRONOSTICO DE PRODUCCIÓN DE CRUDO POR TIPO, REGIONES MARINA Y SUR 2002-2013



La producción de crudo decae en el futuro sino se descubren nuevos yacimientos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS DOMOS SALINOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS DOMOS SALINOS.

3.1 LOCALIZACIÓN DE LOS DOMOS SALINOS EN MÉXICO

El siguiente mapa (Fig. 3.1.1) muestra las dos grandes zonas del país en cuyo subsuelo se encuentra sal: Cuchillo Parado y Monterrey (en el norte del país) además de la zona del istmo de Tehuantepec (en el sureste)



Figura 3.1.1 "Localización de domos salinos en México."

De acuerdo a las características de las necesidades de almacenamiento, el estrato salino que resulta más adecuado es el del Istmo de Tehuantepec.

PEMEX realizó estudios ^(2,3), para elegir el domo más adecuado de entre 85 que se encuentran en esa zona, eligiéndose el de Tuzandepetl por poseer características adecuadas, las cuales se enlistan a continuación:

- Techo de sal a poca profundidad.
- Sal de buena calidad (contenido de NaCl mayor del 95 %).
- Cercanía a centros de consumo, sistemas de distribución y centros de embarque a exportación
- Espesor del techo de sal adecuado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL DOMO SALINO DE TEHUANTEPEC

A continuación se enlistan las características del depósito salino del istmo de Tehuantepec ⁽⁹⁾

Extensión:

- Largo = 300 Km.
- Ancho = 70 Km.

Localización:

- Sur de Veracruz y Norte de Tabasco.

Este se divide en 6 zonas, las cuales se mencionan a continuación.

➤ Zona 1

I) Medias aguas - Jaltipan (2000 Km²)

- 1. - Jaltipan.
- 2. - Medias aguas.
- 3. - Moralar.
- 4. - Tancamichapan.
- 5. - Soledad.
- 6. - Amexquite.
- 7. - Nopalapa.
- 8. - Texistepec.
- 9. - Almagres.
- 10. - Juile.

II) Tabasqueño - San Cristóbal. (11 * 3 Km²)

III) Buena vista Chichonal. (20 * 15 Km²)

IV) Cabritos (8 * 3 Km²)

V) Romero Rubio

➤ Zona 2 (12 * 10 Km²)

I) Remolino del Carmen

II) Mazate

III) Los muertos

IV) Tecuanapa

➤ Zona 3 (7 * 4 Km²)

I) Chinameca

➤ Zona 4

I) Laguna Nueva

II) San Pedro

III) Pedregal.

➤ Zona 5

I) Rabon Grande - Moloacan (25 * 20 Km²)

- 1. - Rabon Grande.
- 2. - Pajaritos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 3. - Tuzandepetl.
- 4. - Santa Rosa.
- 5. - Nuevo teapa.
- 6. - Ixhuatlan.
- 7. - Moloacan.
- 8. - Minatitlan.
- 9. - Los abanicos.

II) Colorado

III) Área este de Rabon Grande - Moloacan. (7 * 4 Km²)

- 1. - Acalapa. (6 * 5 Km²)
- 2. - Tortuguero, Punta Gorda y Tonalá.
- 3. - El plan y los Soldados.
- 4. - La venta, el Roble, Magallanes, Pailebot y Yucateco.
- 5. - Ogarrio, palo blanco y la Central.
- 6. - El rosario.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

➤ Zona 6

- I) Santa Ana.
- II) El dorado y Norte de Huimanguillo
- III) Jalapa
- IV) Medellín (23 km al sureste de Cd PEMEX , está el domo más al este, conocido a la fecha)
- V) Zanapa

En el siguiente mapa (fig.3.1.2) se muestra la localización de tuzandepetl.

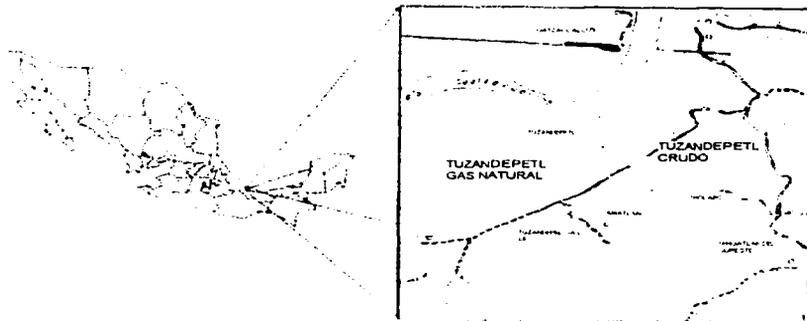


Figura 3.1.2 "Localización del domo salino de Tuzandepetl"

Cabe mencionar que en el mundo, los países que cuentan con almacenamiento subterráneo son:

- Alemania
- Bélgica
- Canadá
- E.E.U.U.
- Francia
- Corea
- Marruecos
- México.

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS.

Para conocer la sal de los pozos, PEMEX ⁽⁴⁾ realizó la perforación del pozo TUZ 300 en abril de 1985. Se realizaron diversas pruebas y análisis de probetas de sal del pozo TUZ 300, los cuales permitieron obtener la siguiente información:

- * Se comprobó la existencia de una falla N-NE/S-SO
- * Existe un banco de anhídrita de 18 metros (entre 978 y 996 metros) el cual debía de excluirse del intervalo de lixiviación.
- * Arriba del banco de anhídrita existía un espesor de sal suficiente para crear las cavidades a una cota conveniente
- * Entre el pozo TUZ 300 y los pozos de IQUISA, la sal tenía un espesor y una superficie suficientes para realizar 12 cavidades.
- * La sal termina a 2500 metros de la superficie.
- * Arriba del banco de anhídrita, existe una sal con grano fino y características mecánicas elevadas y abajo del banco, existe una sal inferior con cristales gruesos de sal y características mecánicas menos elevadas.
- * La parte superior de la masa salina contenía más minerales fácilmente solubles que la parte inferior y que podrían ser:
 - ❖ Carnalita (Densidad = 1.6)
 - ❖ Epsómita (Densidad = 1.68)
 - ❖ Schoenita (Densidad = 2.1)
 - ❖ Tachyhidrita (Densidad = 1.66)
- * El porcentaje promedio del contenido de insolubles es
 - Parte superior 10 a 12 %
 - Parte inferior 2 a 3 %

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LA SAL PARA ALMACENAMIENTO.

La sal que se utiliza para almacenamiento debe cumplir con ciertas características que se pueden determinar de la siguiente manera:

3.3.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA SAL.

Para determinar las características de la sal, se requiere hacer un análisis geofísico para determinar los siguientes factores⁽¹⁰⁾:

- Definir la calidad de la sal
- Definir la calidad de la cubierta de roca
- Conocer las propiedades de la sal (Para almacenamiento y comercialización.)
- Definir la posición de la caverna.

Se encontró que:

- 1.- El mineral salino más común es la sal gema o halita (NaCl), densidad = 2.2 gr/cm^3
- 2.- De entre las sales de importancia hay que citar: Silvina (KCl), Carnalita, ($\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Cainita, (KClMgSO_4) y Langbeinita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$)
- 3.- Como acompañantes de las sales aparecen todavía, en la mayoría de los casos diversa sales de Sodio y Magnesio de entre las cuales se citan las siguientes: Bischofita, Sstrakanita, Vanthoffita, Kieserita, todos los yacimientos de sal guardan estrecha relación con la anhidrita y el yeso.

3.3.2 CONDICIONES PARA EL ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS.

Para lograr el objetivo del almacenamiento de hidrocarburos es necesario satisfacer ciertas condiciones, entre las cuales destacan las siguientes:

- 1- La presencia de un espesor suficiente de sal, a una cota conveniente y en una superficie suficientemente alta para permitir la implantación de cavidades.
- 2.-La calidad de la sal debe cumplir con lo siguiente⁽¹¹⁾:
 - ❖ Tener características mecánicas convenientes para asegurar a largo plazo la estabilidad de las cavidades.
 - ❖ No contener demasiados insolubles. (Estos se acumularán en el depósito de insolubles y a largo plazo se perderá volumen útil de la cavidad)
 - ❖ No contener bolsos o bancos espesos de sales más solubles que el cloruro de sodio. (Potasias, las cuales se disuelven más y ocasionan configuración irregular y derrumbes a largo plazo)
- 3 - Se deben contemplar las posibilidades de:
 - Desechar o almacenar la salmuera de lixiviación.
 - Crear grandes presas que permitan lograr la cantidad de movimientos deseados.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

- El abastecimiento de grandes cantidades de agua, necesaria para la lixiviación.

4.- La forma de la cavidad resultante se conforma con criterios específicos, dictados por los requerimientos de integridad estructural o por la funcionalidad de la cavidad. Frecuentemente las condiciones de forma se expresan en términos del radio máximo permisible aunado a la altura máxima de la cavidad o a un espesor en la parte superior de la caverna y una distancia con respecto a otras cavidades cercanas.

El criterio recomendado por Geostock es⁽¹¹⁾:

- Localizar la cavidad de tal modo que la influencia de esta sobre el bordo del domo salino sea insignificante
- Cuando se tienen varias cavidades vecinas, debe existir un pilar de sal de un espesor mínimo recomendado a fin de evitar que se derrumbe y se provoque una comunicación entre cavidades, que generaría una formación con techo inestable muy susceptible a sufrir derrumbes
- La distancia mínima que debe existir entre los ejes de cavidades vecinas esta dada por :

$$l \geq 1.4D_1 + 1.4D_2 + 20$$
- En donde D_1 y D_2 son los diámetros y la constante 20 m, es un margen de seguridad para tener en cuenta la incertidumbre sobre la posición exacta del eje de la cavidad (eje real) con relación a la vertical de la cabeza del pozo (eje ideal).

5.- Las condiciones de forma tienen que ser satisfechas durante el tiempo de vida del proyecto, teniendo en cuenta que los ciclos de llenado y desalojo pueden causar disolución adicional y causar inestabilidades estructurales.

6.- La salinidad de la salmuera debe estar dentro de cierto valor recomendado

7.- Las operaciones de bombeo deben restringirse bajo cierto límite de presión o energía máxima. Este generalmente será el caso para cuando existan facilidades en el desarrollo de cavidades adicionales. Las limitaciones se pueden imponer en el flujo de circulación debido a problemas causados por excesivas vibraciones de tuberías, cavitación o erosión causada por la turbulencia.

3.4. PROCESO DE FORMACIÓN DE CAVIDADES.

Para la formación de las cavidades en domos salinos se perfora un pozo y se inyecta agua, al estar en contacto con la sal, ocurre el fenómeno de lixiviación, lo que genera un agujero, el cual durante esta etapa se encontrará lleno de salmuera.

El principio fundamental de la disolución, reside en el hecho de que una salmuera es capaz de disolver sal, mientras no esté saturada, durante el desarrollo de este trabajo se considera el uso de agua dulce. Existen dos métodos principales

- Por fracturación entre pozos
 - Por cavernas aisladas
- 
- Con un solo pozo
 - Con varios pozos

El método de facturación entre pozos consiste en perforar primero dos pozos en sal, a una distancia que puede variar de 50 a 150 m. Con una técnica apropiada se crea una fractura entre la sal en los dos pozos. La lixiviación se lleva a cabo utilizando uno de los pozos como pozo de inyección de agua y el otro como productor de salmuera, por lo que a continuación se enlistan sus ventajas y desventajas.

Tabla 3.4.1 "Cualidades de la lixiviación por facturación entre pozos"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1.- Se dispone rápidamente de una gran superficie de contacto sal - salmuera, por lo que se obtiene rápidamente salmuera saturada.	1.- Ocasiona derrumbes de terrenos, por lo cual en algunos lugares se prohíbe la técnica
2.- Es el método preferido para la producción de sal.	2.- No es posible controlar la forma de la cavidad formándose ésta en la proximidad del pozo de inyección de agua dulce, por lo que es necesario intercambiar el pozo de agua dulce con el de salmuera después de un tiempo.
	3.- La fractura presenta partes altas que permiten el estancamiento de producto, cuyo costo debe sumarse a la inversión
	4.- El hecho de no controlar la forma de la cavidad reduce el volumen útil de la cavidad, porque no siempre se pueden posicionar los tubos a la máxima profundidad

A continuación se muestra en la siguiente figura el procedimiento para este tipo de lixiviación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

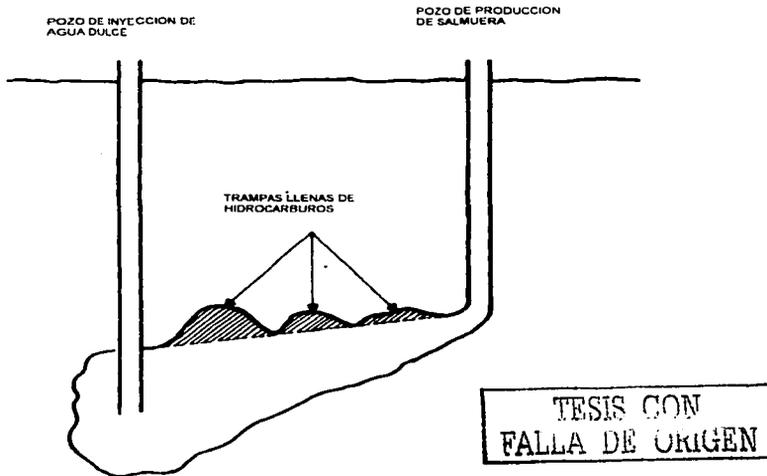


Figura 3.4.1 "Fracturación entre pozos"

El procedimiento por caverna aislada con un solo pozo es más ampliamente utilizado, se lleva a cabo por un sistema de tubos concéntricos, a continuación se muestran sus principales ventajas y desventajas

Tabla 3.4.2 "Cualidades de lixiviación por caverna aislada"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1.- Permite un control de la forma de la caverna con un procedimiento controlado.	1.- Debido a las caídas de presión los flujos quedan limitados
	2.- No es fácil controlar irregularidades durante el desarrollo
	3.- Es necesario equipar los pozos adicionales

2.- La lixiviación y la explotación se llevan a cabo por un sistema de tubos concéntricos.	4.- Es difícil conservar un desarrollo simétrico durante la explotación
3.- Es el más ampliamente utilizado y se conocen sus detalles, lo cual permite un mayor control.	5.- Es necesario equipar los pozos adicionales
	6.- En caso de paro, una caverna más grande ocasiona que salga de operación un porcentaje mayor de almacenamiento

A continuación se muestra el método de caverna aislada con un solo pozo

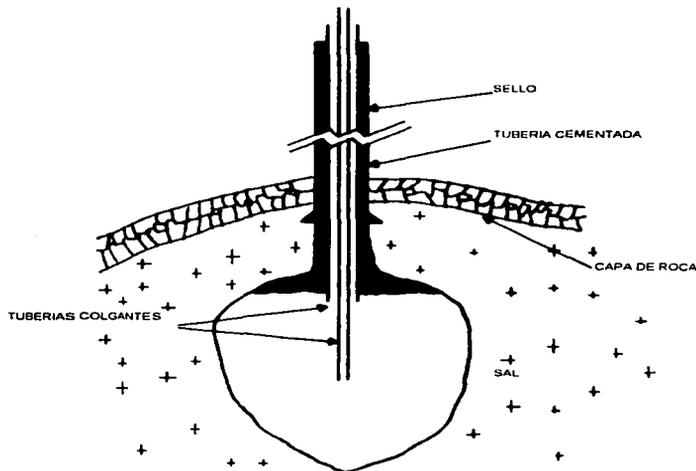


Figura 3.4.2 "Caverna aislada con un solo pozo."

En cualquiera de los dos métodos de formación de cavidades, es necesaria la presencia de un sello, que impedirá que siga disolviéndose el techo de la cavidad por acción del agua inyectada. El sello puede ser líquido o gaseoso, pero en cualquier caso debe ser insoluble en la sal.

En el caso del procedimiento por caverna aislada con un pozo, el sello se inyecta por un tercer tubo concéntrico de tamaño mayor a los otros dos que se mencionaron

3.4.1 LIXIVIACIÓN DIRECTA

Existen dos modos principales de llevar a cabo la disolución en una caverna aislada con un solo pozo.

- * Lixiviación directa.
- * Lixiviación inversa.

Las características de la lixiviación directa se muestran a continuación.

Tabla 3.4.3 "Características de la lixiviación directa."

CARACTERÍSTICAS DE LA LIXIVIACIÓN DIRECTA	
1	Entrada del agua por el tubo central
2	Salida de salmuera por el anular.
3	Crecimiento más rápido en la parte inferior de la cavidad.
4	La salmuera a la salida de la caverna tiene una concentración de 85 a 90 %.
5	La salmuera menos concentrada esta en el fondo.

A continuación se muestra la figura de la lixiviación directa, como se estructura y el tipo de caverna generada

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

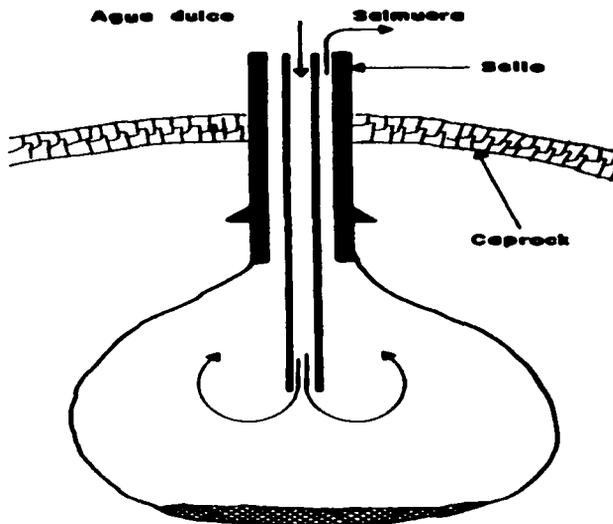


Figura 3.4.3 "Lixiviación directa"

3.4.2 LIXIVIACIÓN INVERSA

Tabla 3.4.4 "Características de la lixiviación inversa."

CARACTERÍSTICAS DE LA LIXIVIACIÓN INVERSA	
1	Entrada de agua por el anular
2	Salida de salmuera por el tubo central
3	Crecimiento más rápido en la parte superior de la cavidad
4	La salmuera a la salida de la caverna está prácticamente saturada
5	La salmuera menos concentrada está en la parte superior
6	Es necesario aumentar el volumen de sello a medida que la disolución progresa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7	Al final de la lixiviación se tiene una caverna llena de sello
8	Probabilidad de cristalización de la salmuera en el tubo central (menor área disponible para la salmuera)
9	Deposito de yeso cuando hay mucho SO_4

A continuación se muestra como se estructura y el tipo de caverna generada

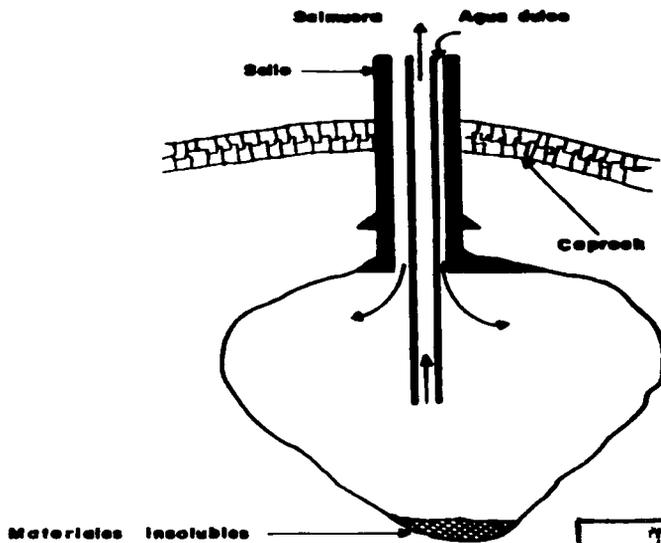


Figura 3.4.4. "Lixiviación inversa"

3.4.3. MÉTODO COMBINADO

Durante el desarrollo real de la lixiviación se utilizan los dos métodos mencionados para lograr la cavidad con la forma deseada y obtener el volumen deseado; la cavidad se forma en cuatro etapas.

- a) Generación del receptáculo de insolubles.
- b) Formación de la chimenea.
- c) Generación de la cavidad principal.
- d) Desarrollo del techo.

A continuación se detallan cada una de las etapas.

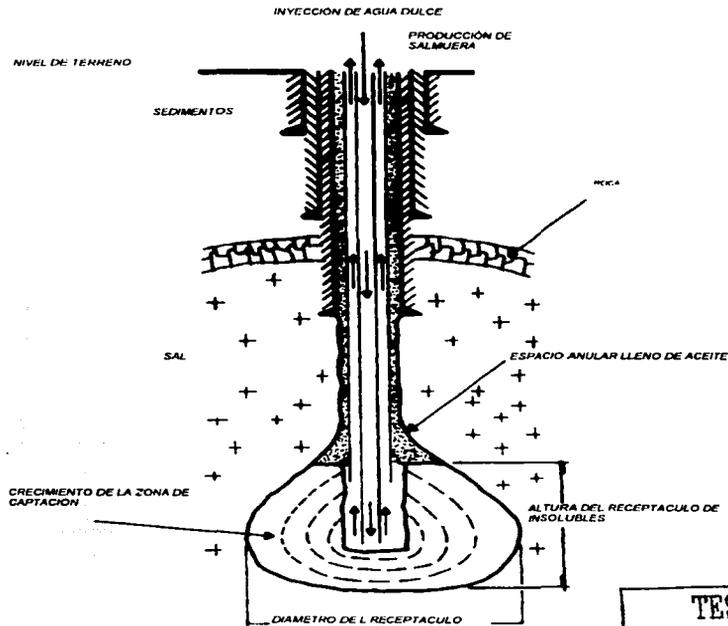
- a) Generación del receptáculo de insolubles.

Como su nombre lo indica, en esta etapa se forma un receptáculo en el fondo de la caverna, con el objeto de recibir el material insoluble del estrato y su tamaño depende de ellos.

La construcción de este receptáculo puede omitirse en algunos casos, de acuerdo con el porcentaje de material insoluble que tenga la masa salina. Un límite convencional es 3%, en caso de tener un porcentaje menor, es posible omitirlo. En caso contrario se recomienda su desarrollo.

Para formar esta zona de captación, se localiza el extremo inferior de la tubería colgante de menor diámetro hasta el fondo y el extremo inferior de la otra tubería colgante a una distancia del fondo igual a la altura programada para ese receptáculo como se muestra en la siguiente figura. (es práctica general utilizar circulación directa durante esta etapa).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.4.5 "Formación del receptáculo de insolubles."

b) Formación de la chimenea.

Antes de desarrollar el volumen total de la caverna, el diámetro del agujero es ampliado hasta aproximadamente 1.5 metros. El espacio resultante recibe el nombre de chimenea y se desarrolla con el objeto de evitar un posible estancamiento de las tuberías. Además se ha experimentado que se promueve una configuración más uniforme de la caverna. En esta etapa, la tubería colgante

inferior se coloca hasta el fondo y la exterior, cerca del techo de la cavidad. En estas condiciones se utiliza normalmente circulación directa para disolver la sal, en la forma que se observa en la siguiente figura.

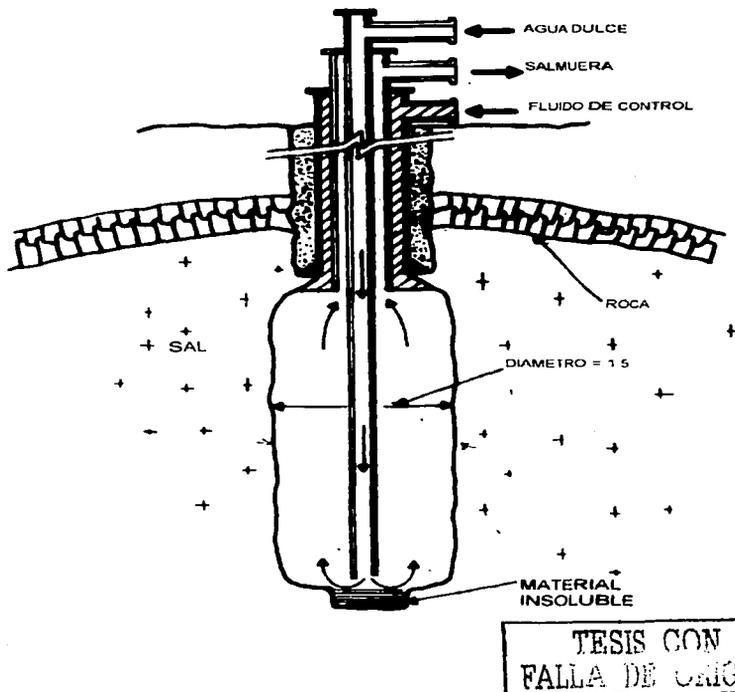


Figura 3 4 6 "Formación de la chimenea"

c) Generación de la cavidad principal.

Durante esta etapa, se disuelve la mayor parte del volumen de la caverna, combinando la circulación directa y la inversa. Esto puede lograrse por dos métodos.

Método I.- Terminando la zona de captación de insolubles y la chimenea, la disolución de la masa salina se lleva cabo desde la parte inferior hasta la superior del intervalo escogido, colocando las tuberías colgantes a diferentes profundidades. En cada profundidad, se disuelve la sal hasta el diámetro programado manteniendo todo el tiempo el fluido de control al nivel del extremo inferior de la tubería colgante exterior. Los extremos inferiores de las tuberías se separan una distancia igual a la longitud del intervalo que se pretenda disolver.

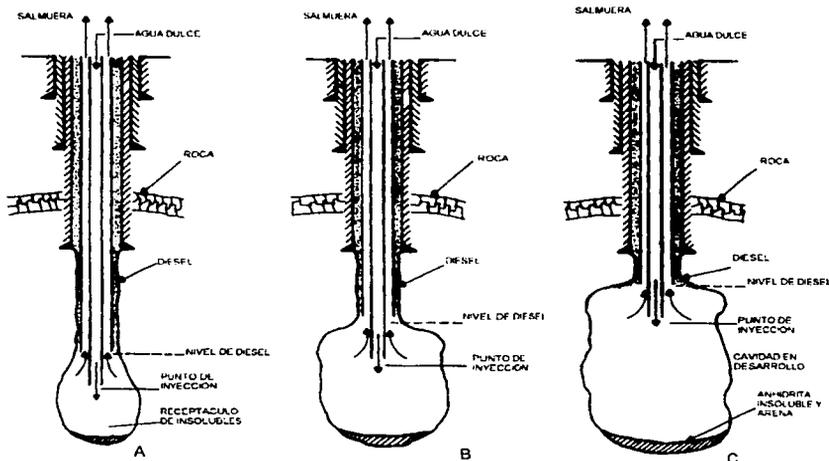


Figura 3.4.7 "Formación de la cavidad principal."

Método II.- Es necesario también, haber terminado el receptáculo de insolubles y la chimenea. En este caso la tubería interior se mantiene fija en el fondo de la caverna, moviéndose hacia arriba únicamente la tubería colgante exterior a diferentes profundidades. El agua dulce se inyecta a través del espacio anular entre las tuberías colgantes.

Además de mover el punto de inyección, se manipula el fluido de sello. En cada profundidad, dicho fluido se extrae para exponer un intervalo de sal, circulando agua dulce hasta alcanzar el diámetro predeterminado.

En ambos métodos, la disolución se realiza en diferentes pasos, hasta alcanzar la profundidad donde se inicia el techo de la cavidad.

d) Desarrollo del techo.

Para mayor estabilidad del techo de la caverna, es preciso darle una forma cónica con un ángulo de más o menos 80° , respecto a el eje del pozo; con tal fin, las dos tuberías colgantes se mueven por pasos a partir de la profundidad de la zapata de la última tubería cementada, con una separación de 3 a 5 metros entre sí. La forma es controlada mediante la inyección del fluido inerte (sello) e inyectando agua dulce por circulación inversa.

Cada etapa se dará por terminada cuando se haya disuelto el volumen programado, lo cual se comprueba por medio de un registro o sonar.

Este dispositivo emite pulsaciones sónicas y recibe el retorno de estas, la información obtenida será utilizada para:

a) Determinar la estructura del techo. Si el soporte del techo fuese inadecuado, la resistencia de la formación podría excederse y resultar en hundimientos que requerirían costosas operaciones para remediarlas. A veces las tuberías se dañan y es necesario reemplazarlas a un costo muy alto.

b) Determinar el tamaño de real de la caverna.

c) Determinar la forma de la cavidad.

d) Revisión del programa de lixiviación.

e) Propósitos exploratorios.

f) Checar que se toma una acción correctiva adecuada.

g) Como guía para la terminación.

El equipo utilizado consiste esencialmente en tres partes: el silbato o bocina, la fuente de poder y el registrador.

El aparato se introduce en el pozo con un solo cable. El silbato produce una pulsación sónica intermitente, la cual es enfocada hacia un lugar en particular. La onda sonora viaja a través del fluido en la cavidad chocando con las paredes y reflejándose hacia el receptor.

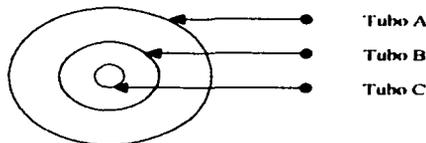
Cuando se desea obtener una caverna debe considerarse que no todo el volumen excavado puede ser utilizado para el almacenamiento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5 SERVICIOS AUXILIARES PARA LIXIVIACIÓN

3.5.1 ARREGLO DE TUBERÍAS

Durante la lixiviación se utilizarán 3 tubos concéntricos: A, B, C.⁽¹¹⁾



El tubo C y el anular formado entre los tubos B y C, permitía introducir o extraer agua y salmuera cuando se lleve a cabo la lixiviación directa o inversa.

El anular formado entre los tubos A y B, tenían la función de manchar diesel de sello.

Durante la fase de explotación, solo existen dos tubos concéntricos, eliminándose el tubo de menor diámetro utilizado en la lixiviación (Tubo C). Los tubos A y B no serán reemplazados, son los mismos que se utilizaron para crear la cavidad, por lo cual la tubería debe escogerse para dar servicio en lixiviación y posteriormente en explotación.

3.5.2. AGUA PARA LIXIVIACIÓN.

Se debe de tener una fuente de suministro de agua, de tal forma que ésta no sea una limitante para llevar a cabo la lixiviación⁽¹²⁾. El único requisito que debe cumplir el agua para poder ser utilizada en la lixiviación, es el de tener un contenido de sales menor al de saturación, por lo tanto debe aplicarse un tratamiento enfocado hacia la protección de los equipos y tuberías a fin de evitar problemas como:

- Crecimiento de microorganismos.
- Corrosión.
- Taponamientos.

El crecimiento de microorganismos debe evitarse ya que pueden generar ambientes corrosivos dependiendo del tipo de microorganismos presentes.

La corrosión es un proceso electroquímico por lo que es necesario que exista una fuente de voltaje y un circuito eléctrico completo. De forma general la corrosividad aumenta si:

- La conductividad aumenta.
- Baja el pH.
- Aumentan los gases ácidos disueltos.(O₂, CO₂, H₂S)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Aumenta la temperatura.
- La velocidad del fluido es nula o baja.

Taponamientos

En tuzandepetl, los equipos o tuberías pueden obstruirse si en agua de lixiviación se presenta:

- a) Crecimiento de microorganismos.
- b) Gran cantidad de sólidos suspendidos.

3.5.3. ACEITE DE SELLO.

Para llevar a cabo la lixiviación controlada es necesario contar con el aceite o gas de sello, la ventaja de utilizar aceite de sello es su facilidad para almacenarlo y manejarlo en conjunto con la salmuera de salida, por lo que se debe de considerar un volumen suficiente para su uso en la formación del cuerpo de la caverna.

3.5.4. SALMUERA DE LIXIVIACIÓN

Para la salmuera de lixiviación producida en la formación de las cavernas se deben considerar tres problemas al extraerla.

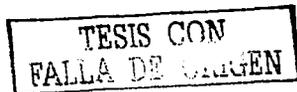
- a) Corrosión
- b) Taponamientos
- c) Separación de aceite de sello

DESECHO DE SALMUERA DE LIXIVIACIÓN

La descarga de salmuera de lixiviación debe preverse antes de desecharla pasando previamente por una fosa para acondicionamiento de salmuera para separar sólidos insolubles o suciedad, que se arrastran de las cavidades, a fin de evitar el atascamiento de las bombas que envían la salmuera hacia su lugar destino final.

Es importante mencionar que en algunos casos durante la lixiviación se genera contaminación de la salmuera con el aceite de sello, en este caso antes de mandarla a una fosa de acondicionamiento de salmuera, es necesario separar la salmuera contaminada y mandarla a una fosa de separación API.

Los taponamientos se eliminan agregando agua dulce a los mecanismos atascados o taponados.



3.6 PROCESO DE LLENADO Y VACIADO DE CAVIDADES CON CRUDO (EXPLOTACIÓN)

El crudo que se recibe o envía a Tuzandepetl, proviene de la estación de distribución, control y mezclado de crudo de Palomas. Dicha estación es capaz de:

- Controlar la distribución de crudo hacia cangrejera, Salina Cruz, Nuevo Teapa y Pajaritos.
- Mezclar en forma automática, diferentes tipos de crudo ligero.
- Enviar y recibir crudo para enviarlo a rebombeo en las instalaciones de Tuzandepetl sin pasar por cavidades.
- Llevar a cabo la limpieza de las líneas Palomas-Tuzandepetl.

El almacenamiento de crudo requiere de un sistema de bombeo, capaz de proporcionar la presión suficiente para introducir el crudo a cavidades. La inyección de crudo provocará el desplazamiento de la salmuera contenida en la cavidad. En la línea de salida, la salmuera tendrá una presión de 2 Kg/cm^2 o la suficiente para alcanzar las cuencas de almacenamiento de salmuera (presas A y B)¹²¹.

Para el vaciado de crudo se usa la salmuera parcialmente saturada, almacenada en las presas A y B, para desplazar el crudo de las cavidades. La presión necesaria para introducir la salmuera a cavidades la proporcionarán las bombas para inyección de salmuera. El crudo saldrá de la cavidad que se este vaciando, con la presión necesaria para llegar a la estación Palomas sin necesidad de rebombeo y cumplir satisfactoriamente con las condiciones de integración de esa estación.

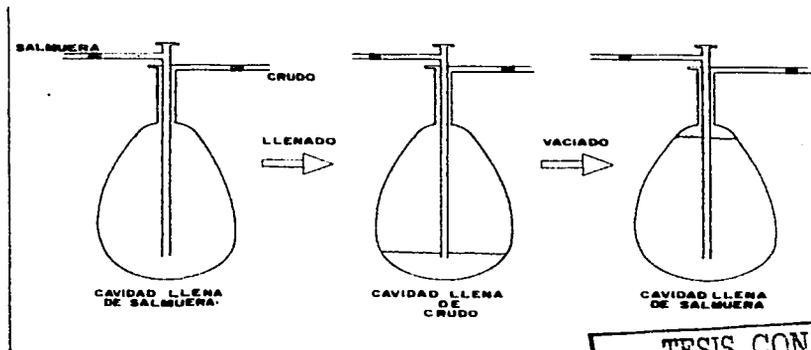


Figura 3.4.8 "Proceso de operación"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4. DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE SALMUERA

El problema de cierre de puertos y pozos petroleros causado por causas climatológicas tiene repercusiones en el ámbito nacional, debido a que el petróleo genera importantes fuentes de divisas a nuestro país.

Uno de los puntos clave para solucionar este problema es contar con un capacidad de almacenamiento para absorber la cantidad de crudo que no se procesa o exporta. Debido a lo anterior PEMEX EXPLORACIÓN PRODUCCIÓN (PEP) decidió aumentar su capacidad de almacenamiento utilizando la capacidad real de las cavernas creadas en el domo salino de Tuzandepetl.

El principal obstáculo para poder utilizar las cavernas tiene que ver con la magnitud del almacenamiento y la disposición de salmuera, debido a que para poder desplazar el crudo almacenado es necesario inyectar un volumen equivalente de salmuera y para desplazar la salmuera y almacenar el crudo es necesario un equivalente de crudo. Lo cual requiere que se cuente con grandes lugares de almacenamiento para poder contener el volumen de salmuera.

Por lo tanto debido, a que la salmuera de lixiviación de la fase de construcción fue desechada al mar, excepto el volumen de la "presa B", es necesario realizar un estudio técnico - económico para buscar la opción más viable para disponer de la salmuera necesaria para desplazar el crudo o almacenarlo y poder utilizar la capacidad del almacenamiento. Para realizar la determinación de las alternativas técnicas es necesario considerar la infraestructura actual de Tuzandepetl, los requerimientos de salmuera y las posibles fuentes de salmuera así como la infraestructura necesaria para cada opción.

4.1 INFRAESTRUCTURA DE TUZANDEPETL

4.1.1 INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE ALMACENAMIENTO DE TUZANDEPETL

La infraestructura de almacenamiento de Tuzandepetl es la siguiente:

Tuzandepetl cuenta con doce cavidades con una capacidad total de almacenamiento para crudo Maya, Istmo y Olmeca de 9.3 millones de barriles.

Tabla 4.1.1 "Capacidad por tipo de crudo"

Istmo	2 530 MMB
Olmeca	1 537 MMB
Maya	4 140 MMB

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El arreglo típico por cavidades es el siguiente:

Istmo:	Cavidades 306, 316 y 318.
Olmeca:	Cavidades 312, 314, 332, 334, 338, 340
Maya:	Cavidades: 302, 311, 331

Las cavidades se encuentran a una profundidad promedio de 600 m. y tienen unas dimensiones de aproximadamente 200 m. de altura y entre 30 y 40 m. de diámetro para una capacidad de almacenamiento promedio de 750 mil barriles cada una, espaciadas entre sí 225 m.

El crudo se recibe por medio de dos oleoductos uno de 36" de diámetro para crudo maya y otro de 24" de diámetro para crudo Istmo u Olmeca y se envía a la estación Palomas con una capacidad de 950 MBD con ocho bombas de 150 MBD con 220 HP. que descargan a una presión de 49 a 53 kg/cm², en función del tipo de crudo que se maneja hacia las cavidades.

Para vaciar las cavidades se dispone de un sistema de bombeo de salmuera que permite obtener un nivel de presión de descarga de 18 kg/cm² que se utiliza de acuerdo a lo siguiente:

- La necesidad de desplazar columnas de diferentes tipos de crudo.
- La caída de presión en los aparejos de las cavidades que difiere para cada tipo de crudo como una función del crudo.

El sistema de bombeo de salmuera está constituido por un grupo de ocho bombas de 150 MBD de 900 hp. y una presión de 18 kg/cm². El nivel de presión se obtiene del arreglo en serie.

4.1.2 INFRAESTRUCTURA INSTALADA DESDE LA CONSTRUCCIÓN

Durante la construcción de las cavernas en el domo salino se utilizó equipo que aun está disponible, entre el cual podemos mencionar los siguientes:

Sistema de captación e inyección de agua

Se tiene un sistema de captación que consta de la obra de succión y de la boca toma FE-101. La obra de succión consiste en una tubería que une el río Coatzacoalcos con la boca toma, no se requiere de bombeo y se cuenta con una malla para evitar el paso de sólidos grandes. La boca toma tiene una capacidad de 1080 m³. Dentro de ella se inyecta cloro para evitar la proliferación de materia orgánica¹³.

Para enviar agua de la boca toma a terminal de almacenamiento en Tuzandepetl, se utilizaron las bombas para suministro de agua cruda, GA-101 AD/ 2R, con una capacidad de 50 MBPD cada una y una ΔP de 7.7 kg/cm², suficientes para vencer las pérdidas de presión por fricción y la ΔP del filtro FD-101/R. La descarga se efectúa directamente a la fosa para almacenamiento de agua tratada FE-105., la cual tiene una capacidad de 4000 m³.

TESIS CON
FALLA DE CARGEN

Para inyectar el agua a cavidades para lixiviación se utilizan las bombas de inyección de agua a domos GA-102 AB/R que succionan directamente de la fosa FE-105 y las bombas GA-117 GA/R, GA-115AB/R.

Separación de algunos insolubles.

Para lograr la separación de los insolubles arrastrados del domo salino, se instaló una fosa para acondicionamiento de salmuera en la que se proporciona al fluido un tiempo de residencia de aproximadamente 12 horas, suficiente para efectuar la separación por diferencia de densidades.

De modo similar al sistema de agua de lixiviación se dispone de filtros para proteger de atascamiento las partes móviles de las bombas de salmuera de desecho.

Una posible causa de taponamiento lo constituye la precipitación de sal, que normalmente ocurre cuando se presenta un cambio en las condiciones físicas, las cuales bajan la solubilidad debajo de las concentraciones presentes, ocasionando la formación y precipitación de cristales. La solución fue diluir con agua dulce a fin de disolver los cristales de sal utilizando bombas de des cristalización.

Para la separación de aceite de sello la fosa para acondicionamiento de salmuera tiene también la función de separar pequeñas cantidades de diesel de sello que la salmuera hubiese arrastrado, una bomba de diesel contaminado de tipo flotante lo succiona y envía hacia una fosa de separación agua-aceite tipo API, en la cual se efectuará una separación más completa de fases.

4.1.3 SITUACIÓN ACTUAL.

El almacenamiento de domos salinos se encuentra en la siguiente situación

- Actualmente en Tuzandepetl se cuenta con doce cavidades con una capacidad nominal total de 12.5 MMB de los cuales un volumen de 4.8 MMB es destinado como receptáculo de insolubles y sello, resultando una capacidad útil de 7.7 MMD.
- La capacidad de operación actual está limitada a 4.5 MMB, que es la capacidad de la presa "B" de salmuera. Para aprovechar al máxima la capacidad útil, se requiere disponer de 3.2 MMB adicionales de salmuera.

En lo respectivo a la operación actual

- El volumen promedio almacenado en el periodo fue de 1.484 MMB.
- El movimiento de crudo refleja una extracción neta de 13.9 MBD de crudo maya.
- En el periodo del año 2001 la utilización de la capacidad operativa fue de 33% y de 19% la capacidad útil.

Debido a ello es necesario analizar las alternativas posibles para poder obtener la salmuera necesaria para poder aprovechar al máximo la capacidad de las cavidades.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 REQUERIMIENTOS DE PEP TUZANDEPETL.

Se busca satisfacer los siguientes requerimientos de PEP Tuzandepetl

Salmuera saturada para la explotación de crudo en diciembre del 2002 en tanto se construye la presa A

- 1,000,000 de barriles mínimo
- 3,700,000 de barriles máximo.
- Flujo máximo de 150,000 Barriles.

4.3 ALTERNATIVAS PARA LA OBTENCIÓN DE SALMUERA

Por lo anterior se puede observar que se necesita un incremento en la producción de salmuera ya que de acuerdo a los requerimientos de PEP se necesitan 3.2 MMB y 3.7 MMB máximo. Por eso es necesario buscar alternativas para tener ese incremento, actualmente cerca de PEMEX-Tuzandepetl se encuentra la compañía productora de sal CYDSA (Sales del Istmo), que es una posible proveedora de salmuera por lo que dicha compañía podría proporcionar la salmuera requerida. Por lo que se decidió evaluar la infraestructura de CYDSA para conocer si podría satisfacer la demanda como primera opción, teniendo en cuenta las siguientes alternativas.

A) A continuación se muestran las características de los domos salinos de CYDSA

- Numero de cavidades disponibles : 3.
- Cima de la sal: entre 350 a 400 m
- Fondo promedio de las cavidades: 1500 m
- En ocho meses se tendrá disponible una cuarta cavidad.
- Profundidad promedio de la parte superior de las cavidades: 80 m.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B) Para la segunda opción se considera disponer de la salmuera de CYDSA con la infraestructura de PEMEX, por lo que se tendría lo siguiente

- Uso de la cavidad 203 de manera inmediata.
- Integración de otra cavidad en función de los programas de almacenamiento y estudios que actualmente se realizan.

C) Como tercera opción viable se planteo desplazar el crudo con agua dulce, para ello es necesario evaluar todos los conceptos asociados para poder determinar los posibles daños a las cavidades así como la infraestructura necesaria para obtener el agua dulce y la salmuera.

- Se tienen definidas cinco cavidades para este proposito.
- El volumen optimo que se puede explotar de esta manera es de 2,600,000 bls

- El volumen máximo que se puede explotar de esta manera es de 3,000,000 bls.

Como cuarta opción se pensó en realizar la lixiviación de pozos 400 y al mismo tiempo proporcionar salmuera utilizando la infraestructura de la opción 3.

Los pozos 400s son dos, se encuentran en Tuzandepetl y serán generadas para el almacenamiento de gas natural, gas L.P. o crudo. Por lo que además de generar salmuera se tendrían dos cavidades más.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS DE OBTENCIÓN DE SALMUERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CRUDO EN DOMOS SALINOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

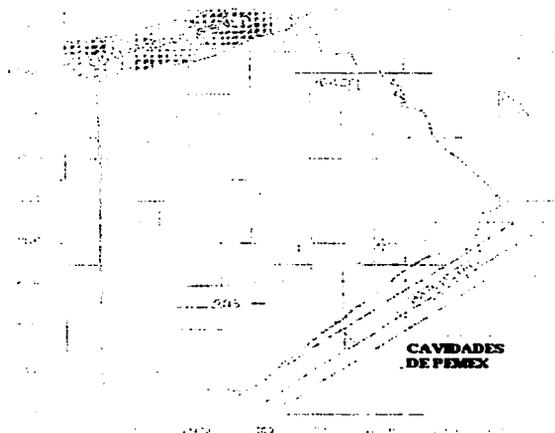
5.-EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALTERNATIVAS DE OBTENCIÓN DE SALMUERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CRUDO EN DOMOS SALINOS.

En este capítulo se lleva a cabo la evaluación técnica de las alternativas establecidas en el capítulo anterior

5.1. SALMUERA DE CYDSA CON INFRAESTRUCTURA DE CYDSA.

En esta alternativa se utilizarían las cavidades de la compañía CYDSA con el fin de producir la salmuera necesaria para almacenar crudo, por lo que se lleva a cabo un análisis de las cavernas de la compañía CYDSA y su infraestructura.

5.1.1 ANTECEDENTES.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.1.1 "Localización de cavidades"

La compañía CYDSA ha lixiviado 4 cavernas con fines alimenticios en el domo salino desde 1963 (Las cavidades 201, 202 203 y 204) y las pone a disposición de PEMEX .

Para saber cuales de ellas utilizar fue necesario realizar un análisis de ellas .

5.1.2 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LAS CAVIDADES

PROFUNDIDAD (Figuras 5.1.2 Y 5.1.3.)

La profundidad inicial de las cavidades fue de 1,500 m aproximadamente, sin embargo debido a la acumulación de material insoluble así como de bloques de sal precipitados durante la lixiviación de los pozos, actualmente el fondo de estas se ha levantado de manera considerable, por ejemplo en la cavidad 202, el fondo se levanto de 1,375 a 1,327 m.

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO (Figuras 5.1.2 Y 5.1.3)

Actualmente todas las cavidades tienen una tubería de revestimiento cementada a una profundidad promedio de 500 m

LIXIVIACIÓN.

La lixiviación de las cavidades se ha realizado sin control alguno, ya que su objetivo primordial es la extracción de salmuera, por lo que la configuración de las mismas es muy irregular como se vera mas adelante, lo anterior representa un problema para el almacenamiento de hidrocarburos, ya que el rango de presiones a que estará sujeta la cavidad podría ocasionar derrumbes sobre todo cuando se tenga la presión mínima de operación.

DISTANCIA ENTRE CAVIDADES

La distancia entre las cavidades es variable, tienen una separación de 200 m entre el eje de cada pozo, tal como se muestra en la figura 5.1.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

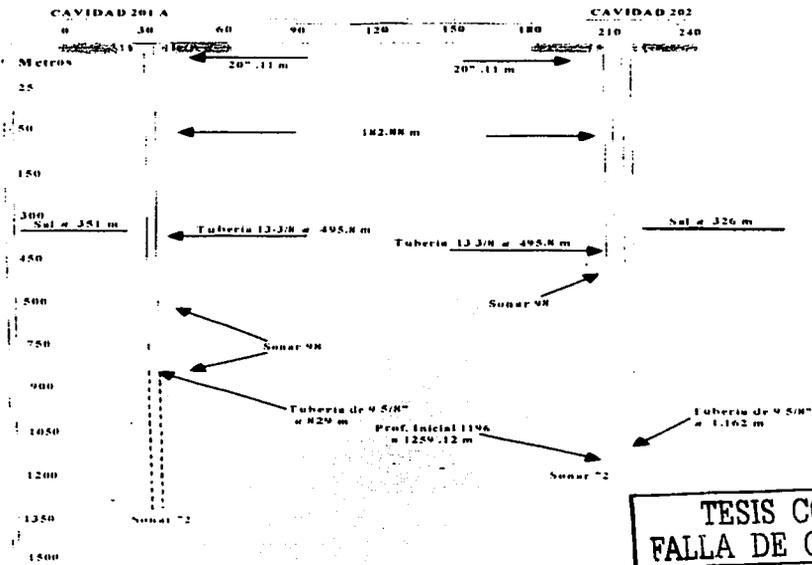


Figura 5.1.2. "Cavidades Tuzandepetl 201 A y 202"

CONFIGURACIÓN DE LAS CAVIDADES.

Las cavidades de la compañía CYDSA, presentan una configuración irregular, derivada del tipo de lixiviación realizada, ya que estas cavidades fueron desarrolladas con fines de explotación de la sal, y no para usarse para almacenamiento de hidrocarburos.

En la tabla 5.1.1 se presenta un resumen del estado actual de las cavidades; además podemos apreciar que actualmente las cavidades 201 A y 202 están comunicadas (figura 5.1.2), y se utilizan para depositar los residuos generados en la planta de sal de la propia compañía, inyectando los residuos por el pozo 201 A y recuperando la salmuera desplazada por el pozo 202.

La cavidad 203 actualmente está fuera de operación, y presenta un bloqueo a la profundidad de 800 m, tiene un volumen de aproximadamente 10 millones de barriles de acuerdo a los registros de producción de sal, sin embargo no se tiene la configuración por falta de registros sonares de la parte inferior de la

cavidad. Solamente se tiene un sonar tomado en 1994 que registró la parte alta (590-810 m) determinando un volumen de 41,000 barriles aproximadamente, el cual indica que la parte inferior está totalmente obstruida.

La cavidad 204 esta actualmente en lixivación y suspenderá su operación una vez que se inicie la disolución del pozo Tuzandpeti 405.

Tabla 5.1.1. "Resumen de las cavidades de la CIA. CYDSA"

CONCEPTO	CAVIDAD 201_A	CAVIDAD 202	CAVIDAD 203	CAVIDAD 204
FECHA DE PERFORACION	1963	1963	1981	1988
FR SUPERFICIAL	20' GRADIENTINA A 60 M	20' GRADIENTINA A 29.75 M	20' GRADIENTINA A 30 M	20' GRADIENTINA A 48 M
FR PRODUCCION	13.30" A 493.8 M, GRADIENTINA 55.54 LITROS	13.30" A 493.8 M, GRADIENTINA 55.54 LITROS	13.30" A 507 M GRADIENTINA 55.54 LITROS	13.30" A 589 M GRADIENTINA 55.54 LITROS
CAJETAZAL	API 2000 LITRO	API 2000 LITRO	API 2000 LITRO	API 2000 LITRO
TUBERIAS COLGADAS	9.50" A 827 M Y 5.4" A 900 M	9.50" A 1,162 M	10.4" A 702 M	10.4" A 1,170 M Y 4.1" A 1,192 M
CIMA DE LA SAL	351 M	326 M	435 M	390 M
ESPESOR DE SAL REVESTIDA	144.8 M	109.8 M	152 M	102 M
DIAMETRO DEL POZO ACTUAL	30" A 792 M	DE 27 A 30" A 1198 M	30" A 612 M	NO SE CONOCIÓ, PERO SE SUPONE EL ORIGINAL YA QUE ESTA PROFUNDO POR DISEÑO
CONFIGURACION DE LA CAVERNA	CAVIDAD PEQUEÑA EN LA PARTE SUPERIOR Y UNA CAVIDAD GRANDE EN LA PARTE INFERIOR	UNA SOLA CAVIDAD CON UNA CONFIGURACION PREFEERENCIAL	CAVIDAD PEQUEÑA EN LA PARTE SUPERIOR Y UNA CAVIDAD GRANDE EN LA PARTE INFERIOR	CAVERNA UNICA CON UNA TUBERIA DE DIFERENCIA DE CONFIGURACION PREFEERENCIAL
PERIODO DE OPERACION	ACTIVIDADES DE DISOLUCION DE 1963 A 1981 (20 AÑOS SIN ACTIVIDAD)	ACTIVIDADES DE DISOLUCION DE 1963 A 1981 (USO LIMITADO EN 1986)	ACTIVIDADES DE DISOLUCION DE 1982 A 1992	ACTIVIDADES DE DISOLUCION DESDE 1989 A LA FECHA
DISPOSICION DE DESECROS DE SALMUERA	DESDE 1990 SE DISPONEN EN MANTENIMIENTO DE SOLDADOS SEPARADORES DE LOS DESECROS DE SALMUERA	DESDE 1990 SE DISPONEN EN MANTENIMIENTO DE SOLDADOS SEPARADORES DE LOS DESECROS DE SALMUERA	ACTUALMENTE SIN USO	EN LIXIVACION
ACCESO A LA PARTE BAJA DE LA CAVIDAD	ACTUALMENTE BLOQUEADA	ACTUALMENTE BLOQUEADA	ACTUALMENTE BLOQUEADA	EN LIXIVACION

5.1.2. USO DE LA CAVIDAD 203 PARA RECUPERAR SALMUERA

De acuerdo al análisis realizado a las cavidades y de la información proporcionada por la compañía CYDSA, se obtuvo la siguiente información enfocada al uso de la salmuera de las cavidades de la compañía antes mencionada para cubrir los requerimientos de PEMEX:

- Actualmente la compañía CYDSA tiene disponible únicamente la cavidad 203 para la producción de salmuera

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

- CYDSA esta realizando estudios para el almacenamiento potencial de gas natural en las cavidades 201-A y 202 (comunicadas) así como en la 204.
- Actualmente CYDSA no tiene infraestructura para el bombeo de agua de río para la producción de salmuera que requiere PEP.
- Se prevé que a partir de enero del 2003, CYDSA estará en condiciones de suministrar salmuera a PEP con su propia infraestructura con un flujo limitado de 30.190 bpd (200 m³/hr).
- Actualmente el pozo 203 está acondicionado con T.R. de 10 ¼" hasta 702 m.
- CYDSA no cuenta con T.R. de 7" para el acondicionamiento del pozo previo a la producción de la salmuera que requiere PEP.
- Las cavidades 201-A y 202 se utilizan para la inyección de los desechos de salmuera de la planta de producción de sal en pajaritos (sulfatos amargos).

A partir de la información de la compañía, CYDSA, se decidió que la cavidad 203, es la única disponible para la producción de salmuera, por lo que fue analizada a detalle.

El pozo se perforó en 1981 y lixiviado de 1982 a 1992 cuando se obstruyó la parte baja de la cavidad, el volumen lixivado es de aproximadamente 10 millones de barriles (tabla 5.1.1.), sin embargo, la mayor parte de este volumen está en la parte baja que está obstruida; en la parte superior se tiene un volumen de aproximadamente 41,000 bls en el intervalo de 590 a 817 m, que es el intervalo que se propone lixiviar para obtener la salmuera que se requiere.

Como puede observarse en la figura 5.1.3, actualmente no se conoce la configuración de la parte baja de la cavidad, ya que nunca fue registrada mediante registro sonar, la única parte registrada está en la parte superior (590-817 m).

Este pozo fue perforado a una profundidad de 1,400 m iniciando su lixiviación en 1982, en 1992 se obstruyó la parte baja de la cavidad, se intentó recuperarla sin éxito, por lo que se decidió suspender la lixiviación y operar únicamente la cavidad 204.

Tabla 5.1.2. "Volumen de las cavidades de la CIA, CYDSA"

CAVIDAD	VOLUMEN DE SAL PRODUcida DE ACUERDO AL REGISTRO DE PRODUCCIÓN DE SALMUERA (BARRILES)	VOLUMEN DE SAL DE ACUERDO AL REGISTRO DE PRODUCCIÓN DE SAL DE LA PLANTA (BARRILES)
201-A	6'083,000	11'800,000
202	9'757,000	(COMUNICADAS)
203	11'473,000	9'870,000
TOTALES	27'313,000	21'670,000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

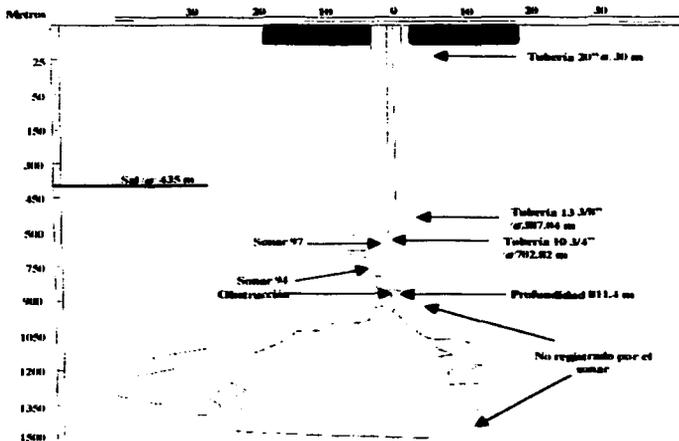


Figura 5.1.3 "Cavidad 203 de CYDSA"

5.1.2.2. PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA CAVIDAD 203.

La primera opción considerada para el estudio, fue que la compañía, CYDSA suministrará la salmuera requerida por PEP, sin embargo actualmente no cuentan con la capacidad de bombeo para este propósito y solamente podría suministrar 200 m³/hr a partir de enero del 2003, situación que no cubre los requerimientos de PEP en función del siguiente análisis: (tabla 5.1.3.)

Tabla 5.1.3. "Análisis de disponibilidad"

DISPONIBILIDAD DE CYDSA	REQUERIMIENTOS DE PEP
DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA HASTA ENERO DEL 2003	REQUIERE EL SERVICIO EN NOVIEMBRE DEL 2002
FLUJO MÁXIMO DE 22,000 BPD	REQUIERE DE 150,000 BPD
DISPONIBILIDAD DE 1,000,000 EN 1.5 MESES	SE REQUIERE EN 10 DÍAS APROXIMADAMENTE
DISPONIBILIDAD DE 3,700,000 BLS EN 6 MESES	SE REQUIERE EN 1 MES APROXIMADAMENTE

El uso de la cavidad Tuzandpetl 203 para la producción de salmuera se puede realizar a través de tres escenarios:

- a) Perforación de un pozo nuevo para comunicar la cavidad inferior.
- b) Comunicar la parte inferior de la cavidad, lo que implica la lixiviación del intervalo obstruido.
- c) Lixiviación de la parte superior de la cavidad que tiene un volumen de 40,000 BLS, separada de la parte inferior por una obstrucción a 800 m aproximadamente.

El primer escenario (inciso a) contempla la perforación de un nuevo pozo, el cual tendría un diámetro mayor que el actual, lo que nos daría un gasto mayor, sin embargo, esto incrementaría de manera sustancial los costos de operación y no se alcanzaría el flujo requerido.

El segundo escenario (inciso b) se considera que es el más tardado y costoso, ya que por experiencia de las cavidades de crudo, se ha observado que es muy difícil comunicar dos cavidades separadas por una obstrucción intermedia.

Se considera que el mejor escenario (inciso c) es continuar lixiviando la parte superior de la cavidad (590-800 m), ya que se puede disponer de salmuera en el corto plazo, para lo cual se tendría que realizar las siguientes actividades:

- 1.- Renta de equipo y acondicionamiento del pozo (incluye prueba de estanqueidad y registros de calibración).
- 2.- Colocar la tubería de revestimiento de 11 ¼ " a 590 m, colgar e instalar cabezal y conexiones superficiales y probar (incluye compra de T.R.)
- 3.- Ariete computarizado para T. R. De 11 ¼".
- 4.- Introducir tubería de revestimiento de 7" a 800 m colgar e instalar cabezal y conexiones superficiales y probar.
- 5.- Apriete computarizado para T. R. De 7".
- 6.- Eliminar conexiones superficiales e instalar árbol de válvulas y conexiones superficiales definitivas y probar.
- 7.- Unidad de alta presión.
- 8.- Inyección de diesel.
- 9.- Inyección de agua dulce y producción de salmuera.

Al final de la explotación con salmuera, se podría utilizar esta cavidad para disponer de los desechos producidos por la planta de sal u otros residuos como recortes y lodos de perforación, previa prueba de hermeticidad.

En la figura 5.1.4 se observa el programa general de acondicionamiento y construcción de instalaciones de las instalaciones superficiales, como puede apreciarse, se podría disponer de salmuera en enero del 2003. Para el desecho de la salmuera se requerirá del acondicionamiento del salmueroproducto, de otra manera no se podrá inyectar el crudo a las cavidades.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 5.1.4 PROGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES PARA GENERAR SALMUERA CONSIDERANDO LA PRIMERA OPCIÓN

REQUERIMIENTOS	PERIODO DE VACIADO				PERIODO DE LLENADO				PERIODO DE VACIADO				PERIODO DE LLENADO				PERIODO DE VACIADO										
	2002								2003								200										
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ADQUISICIÓN DE TUBERÍA DE 7"																											
INTRODUCCIÓN DE 700 M DE TUBERÍA DE 7" A LA CAVIDAD 203																											
ADQUISICIÓN DE TUBERÍA DE 10"																											
INSTALACIÓN DE LINEA DE AGUA Y SALMUERA DE 10" DE LA CAVIDAD 203 A LA PRESA B																											
INSTALACIÓN DE LA PLACA DE ORIFICIO																											
BOMBEO DE SALMUERA DE LA CAVIDAD 203 LA PRESA B																											
LICITACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL SALMUERODUCTO																											
LICITACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SALMUERODUCTO																											

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5.1.2.3. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA CAVIDAD 203 POR LA RECUPERACIÓN DE SALMUERA

Tabla 5.1.5 "Análisis del crecimiento de la cavidad 203"

VOLUMEN ACTUAL		: 41,000 BLS (598-800M)				
VOLUMEN TOTAL		: 10,000,000 BLS (598-1400M)				
VOL. DE SALM (BLS)	GASTO (m ³ /hr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	CRECIMIENTO DE CAVIDAD (BLS)	VOL acum (598-800 m) (BLS)	VOLUMEN TOTAL (BLS)	TIEMPO DE RECUPER.
1,000,000	150	1.2000	166,667	207,667	10,166,667	43
2,000,000	150	1.2000	333,333	374,333	10,333,333	87
3,000,000	150	1.2000	500,000	541,000	10,500,000	130
3,700,000	150	1.2000	616,667	657,667	10,616,667	161

Como puede apreciarse en la tabla 5.1.5., la explotación de salmuera de la cavidad 203, con instalaciones de CYDSA, no satisface los requerimientos de PEP, ya que el tiempo de recuperación de es crudo muy lento, por las limitaciones de bombeo (150 m³/hr) y la disponibilidad de una sola cavidad (203). Si se tuviera la disponibilidad de más cavidades, se incrementaría el volumen de salmuera disponible, reduciendo el tiempo de inyección de crudo, tal como se observa en la tabla 5.1.6, en este caso el gasto se incrementa a 200 m³/hr, debido a que se tendrían que implementar equipo adicional con el cual se optimizaría el flujo.

Tabla 5.1.6. "Tiempo de disposición de salmuera en función del número de cavidades."

NO. DE CAVIDA DES	GASTO		TIEMPO EN DÍAS			
	M ³ /hr	BPD	1,000,000 BLS	2,000,000 BLS	3,000,000 BLS	3,700,000 BLS
1	200	30,192	33	66	99	123
2	400	60,384	17	33	50	61
3	600	90,576	11	22	33	41
4	800	120,768	8	17	25	31

Por otro lado, y de acuerdo a las condiciones actuales de la cavidad, solo se podrá explotar la parte superior de la misma (590-800 m) ya que se tiene una obstrucción a 800 m aproximadamente, lo cual nos daría los resultados mostrados en la tabla 5.1.7.

CONDICIONES DE OPERACIÓN.

La compañía CYDSA esta en condiciones de proporcionar la cavidad 203 para desplazar los 3.7 MMBLS de salmuera saturada a la presa de almacenamiento de salmuera saturada FE-103, a un ritmo promedio de 200 m³/hr (30.191 MBPD). El agua potable se inyecta con una bomba de CYDSA a una presión de 45.5 kg/cm² y un flujo de 200 m³/hr (30.191 MBPD) a la cavidad 203, para desplazar la salmuera saturada a la superficie a una presión de 3.2 kg/cm², la corriente de salmuera se registra con medidor de flujo magnético, para posteriormente ser trasladada a la presa de almacenamiento de PEP FE-103. De la presa de almacenamiento se bombea a las cavidades 300's de Tuzandepett para vaciar el crudo.

Tabla 5.1.7. "Incremento del diámetro de la cavidad 203 por la lixiviación."

Vol.sal.	Vol.de salmuera 1,000,000 BLS		Vol.de salmuera 2,000,000 BLS		Vol.de salmuera 3,000,000 BLS		Vol.de salmuera 3,700,000 BLS	
	Volumen m ³	Diámetro m ³						
590	6,667	20.60	13,333	29.13	20,000	35.68	24,667	39.63
610	8,333	23.03	16,667	32.57	25,000	39.89	30,833	44.30
630	10,000	25.23	20,000	35.68	30,000	43.70	37,000	48.53
650	11,667	27.25	23,333	38.54	35,000	47.20	43,167	52.42
670	12,500	28.20	25,000	39.89	37,500	48.86	46,250	54.26
690	14,167	30.03	28,333	42.47	42,500	52.02	52,417	57.77
710	15,000	30.90	30,000	43.70	45,000	53.52	55,500	59.44
730	15,833	31.75	31,667	44.90	47,500	54.99	58,583	61.07
750	16,667	32.57	33,333	46.07	50,000	56.42	61,667	62.66
770	17,500	33.38	35,000	47.20	52,500	57.81	64,750	64.20
790	18,333	34.16	36,667	48.31	55,000	59.17	67,833	65.71
810	20,000	35.68	40,000	50.46	60,000	61.80	74,000	68.64

En el esquema de flujo "ALTERNATIVA 1", se indica la secuencia de la operación de la inyección de agua potable y el desplazamiento de salmuera saturada de la cavidad 203.

En esta opción se pretende que la compañía CYDSA utilice su bomba de inyección de agua, que el cabezal de inyección de agua se interconecte con la cavidad 203, para desplazar la salmuera saturada del pozo y enviarla con una tubería nueva a la presa de almacenamiento de salmuera FE-103, localizada en el área de PEP-Tuzandepet.

Las características de diseño de los principales equipos e instrumentos adicionales que se necesitan para la operación de esta opción son las siguientes:

Tabla 5.1.8. "Relación del equipo e instrumentos"

CONCEPTO	INSTRUMENTACIÓN	SERVICIO	DIÁMETRO (PULG)	PUERTO U ORIFICIO (PULG)	TIPO O CARACTERÍSTICA
NUEVO	FR-203	MEDIDOR DE FLUJO	10"		MAGNETICO
	TUBERIA	FLUIDO		ESPECIFICACIÓN	LONGITUD (M)
NUEVO	ASTM 106 GR. B	AGUA DE INYECCION POZO 203	10"	D 45 A	300
NUEVO	ASTM 106 GR. B	SALMUERA DEL POZO 203	10"	B 64 A	1000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.3 REQUERIMIENTOS DE EQUIPO MECANICO

Este reporte del requerimiento de equipo mecánico se elaboró tomando en cuenta los requerimientos de equipo analizados en el esquema de flujo "ALTERNATIVA 1", (Anexo A) tomando en cuenta la infraestructura independiente y los requerimientos nuevos.

ACTIVIDAD 1.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).- Descripción del equipo.

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 103 A/B, para el servicio de salmuera de desecho, marca bingham, modelo MSD, para una capacidad normal / nominal 2916/3000 gpm, carga diferencial total de 907.2 pies, potencia hidráulica de 827 hp ^(12,13).

ACTIVIDAD 2.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrifugas horizontales, clave GA - 116 A/B, para el servicio de carga de salmuera de desecho, marca bingham, modelo CAP, tamaño 10x12x21, para una capacidad nominal de 3000 gpm, carga 137.8 pies,

ACTIVIDAD 3.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Dos (2) bombas centrifugas horizontales clave GA - 118 / R , para el servicio de salmuera de desecho, para una capacidad normal / nominal 2818/2916.7 gpm, presión de succión atmosférica , presión de descarga de 398 psig, carga diferencial total de 792.7 pies, densidad relativa de la salmuera 1.16, potencia hidráulica de 677 hp, nph disponible de 19 pies5.

1.4 REQUERIMIENTOS DE TUBERÍAS.

Para la implementación de la opción 1 se requiere el suministro e instalación del siguiente material.

Tabla 5.1.9. "Material de tubería."

CONCEPTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
TUBO 10" Ø B 64 A	ASTM A-106, Gr. B, CEDULA 60 300 # EXTREMOS BISELADOS	812.50 mts
CODO 90°	ASTM A-234, Gr. WPB, CEDULA DE ACUERDO A LA DEL TUBO 300 #	11 PIEZAS
BRIDA 10"	ASTM A-105, Ø INTERNO P/CEDULA IGUAL AL TUBO 300 #	2 PIEZAS
TUBO 10" Ø B 64 A	ASTM A-106, Gr. B, CEDULA 60 300# EXTREMOS BISELADOS	300 mts
CODO 90°	ASTM A 234, Gr. WPB, CEDULA IGUAL A LA TUBERIA	3 PIEZAS
BRIDA	ASTM A-106, 300 #, Ø INTERIOR P/CEDULA IGUAL AL TUBO	2 PIEZAS
ESPÁRRAGOS	ASTM A-193, Gr. B-7, 7/8" x 4 1/2", 300 #, 10" Ø	36 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES ASTM A-194, Gr. 2H	72 PIEZAS
EMPAQUE	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/16" ESPESOR.	3 PIEZAS

ESPÁRRAGOS	ASTM A-193, Gr. B-7, 7/8" x 4 1/4", 300 #, 10" Ø.	24 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES ASTM A-193, Gr. 2H	48 PIEZAS
EMPAQUE	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/16" ESPESOR.	2 PIEZAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.2.- OPCIÓN II UTILIZACIÓN DE LA SALMUERA SATURADA DE CYDSA MEDIANTE LA INFRAESTRUCTURA DE PEP.**5.2.1 ANÁLISIS PRELIMINAR**

Esta opción es diferente porque se utiliza agua de río para desplazar la salmuera de la cavidad 203 y se aprovecha la infraestructura existente de PEP-Tuzandepetl para bombear el agua del río Coatzacoalcos con las GA-101 A/B (bombas de bocatomas), los acueductos de transporte de 16" D.N. Y la presa de agua dulce de Tuzandepetl (FE-105).

Otra de las opciones analizadas es que PEP acondicione su infraestructura de lixiviación y realice las interconexiones al pozo Tuzandepetl 203 para la inyección de agua del río Coatzacoalcos y la recuperación de salmuera hacia la presa B. Con esta alternativa se incrementaría de 200 a 251 m³/hr. lo cual no representa un incremento sustancial, ya que la principal limitante son las instalaciones del pozo, tal como se observa en tabla.5.2.1.

Tabla 5.2.1 "Análisis del crecimiento de la cavidad 203"

VOL. DE SALMUERA	GASTO m ³ /hr	DENSIDAD gr/cm ³	CRECIMIENTO DE CAVIDAD BLS	VOL ACUM (598-800) m	VOLUMEN TOTAL BLS	TIEMPO DE RECUPER. DIAS
1,000,000	251	1.2000	166,667	207,667	10,166,667	24
2,000,000	251	1.2000	333,333	374,333	10,333,333	48
3,000,000	251	1.2000	500,000	541,000	10,500,000	71
3,700,000	251	1.2000	616,667	657,667	10,616,667	88

En la tabla anterior se observa como con esta opción se reduce aproximadamente al 50 % los tiempos de recuperación de salmuera, ya que el gasto se incrementa sustancialmente, lo cual es mas atractivo para los requerimientos de salmuera de PEP.

El crecimiento de la cavidad sera la misma que la que se observa en la tabla 5.1.6., ya que los requerimientos de salmuera son los mismos, lo único que se incrementa es el gasto de lixiviación y se disminuye el tiempo de extracción de la salmuera requerida por PEP para la explotación de las cavidades de crudo.

5.2.1.1.- PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA CAVIDAD.

El programa de acondicionamiento de la cavidad es similar al programa descrito para la primera opción, lo único que varia es el tiempo de recuperación de salmuera en función del volumen de crudo desplazado (tabla 5.2.1).

En la tabla 5.2.2 se presenta la hidráulica de la cavidad 203 durante la recuperación de salmuera.^(16,17) La presión máxima de operación será de 85 kg/cm², y se podría tener un gasto de inyección de agua de hasta 300 m³/hr. sin embargo, con este flujo se podrían tener problemas durante la recuperación de la salmuera, por lo que se recomienda un flujo máximo de 250 m³/hr.

En la tabla 5.2.3. se presenta el programa general de actividades para generar salmuera considerando la segunda opción, se puede observar que se puede tener disponibilidad de salmuera a partir de noviembre de este año, sin embargo se hace necesario la construcción o acondicionamiento del salmueroeducto existente para la inyección del crudo a las cavidades.

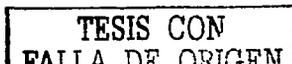


TABLA 5.2.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA LA LIXIVIACIÓN DE LA CAVIDAD TUZANDEPETL 203

POZO Tuzandepetl 203

	DIÁMETRO EXT		DIÁMETRO INT		ESPESOR
DIÁMETRO DE LA TUBERÍA EXTERIOR	1075	PULGADAS	9772	PULGADAS	0.489 PULGADAS
DIÁMETRO DE LA TUBERÍA INTERIOR	700	PULGADAS	6094	PULGADAS	0.453 PULGADAS
VISCOSIDAD SALMUERA	1.68	CPS	PROFUNDIDAD DE LA ZAPATA		540 M
DENSIDAD SALMUERA	1.2	GR/CM ³	DENSIDAD DEL GASOLIO		0.845 GR/CM ³
VISCOSIDAD AGUA	1	CPS	PREMIO MÁXIMO DE LA ZAPATA		85
DENSIDAD AGUA	1	GR/CM ³			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERÍA EXTERIOR	590	M			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERÍA INTERIOR	810	M			
PROFUNDIDAD DE LA INYERCIÓN GASOLIO-SALMUERA	590	M			

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

CUMETEX					MVA					CARGA		
CAUDAL M ³ /DIA	ALTA BOMB. M ³ /DIA	DESEMBOCADA M ³ /DIA	RETOCADA M ³ /DIA	RETOCADA M ³ /DIA	CAUDAL M ³ /DIA	DESEMBOCADA M ³ /DIA	RETOCADA M ³ /DIA	RETOCADA M ³ /DIA	CAUDAL M ³ /DIA	CARGA KG/CM ²	INSTALADA KG/CM ²	POSICIÓN SALMUERA KG/CM ²
40	155	23799	0.039	27.1	19.4	91941	0.043	15.9	41.2	16.2	1	
35	145	222417	0.039	24.0	14.2	81867	0.043	14.0	38.1	16.2	3	
30	135	20874	0.039	21.0	14.9	79974	0.043	12.4	33.3	16.2	3	
25	125	19577	0.039	18.0	15.7	74111	0.043	11.0	29.4	16.2	3	
20	115	18347	0.039	15.0	16.4	68577	0.043	10.0	26.4	16.2	3	
15	105	17177	0.039	12.0	17.1	64377	0.043	9.0	24.0	16.2	3	
10	95	16067	0.039	9.0	17.8	60477	0.043	8.0	22.0	16.2	3	
5	85	15017	0.039	6.0	18.4	56977	0.043	7.0	20.0	16.2	3	
0	75	14027	0.039	3.0	19.0	53877	0.043	6.0	18.0	16.2	3	
20	77	11846	0.041	7.0	9.7	45546	0.044	4.1	11.2	16.2	1.1	
15	64	10457	0.042	5.4	8.5	39556	0.044	3.2	8.6	16.2	3	
10	58	9197	0.042	4.0	7.3	34687	0.044	2.4	6.4	16.2	3	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN.

El agua de río de la bocatomas se bombea a una presión de 7.7 kg/cm² y un flujo de 251 m³/hr (38.0 MBPD), por el acueducto de 16" diámetro nominal (D.N.), por 4.5 km de longitud y llega a la presa de agua dulce FE-105 a 1 kg/cm². El agua de río se envía a una bomba nueva GA-203, que descarga a una presión de 48.5 kg/cm², para inyectarse a cavidad 203 a una presión de 46.5 kg/cm², para desplazar a la salmuera saturada a la superficie a 3.0 kg/cm², la salmuera se mide con un elemento de flujo magnético para ser enviada a la presa de almacenamiento de salmuera de PEP FE-103. De la presa de almacenamiento la salmuera saturada se bombea a las cavidades 300's de Tuzandepetl para vaciar el crudo.

En el esquema de flujo "ALTERNATIVA 2". (Anexo A) se indica la secuencia de la operación de la inyección y el desplazamiento de salmuera de la cavidad 203.

5.2.3 REQUERIMIENTO DE EQUIPO SUPERFICIAL.

Cuando PEP-Tuzandepetl formó sus 12 cavidades fue necesario instalar bombas en la bocATOMA del río Coatzacoalcos, para trasladar el agua por dos acueductos de 16" por 4.5 km de longitud y almacenarla en la presa de agua dulce FE-105. Se construyó una casa de bombas de agua de inyección a pozos y una casa de bombas de desecho de salmuera al golfo de México. Esta infraestructura es existente y será necesario rehabilitarla o sustituirla.

Las características de diseño de los principales equipos y instrumentos que se necesitan para la operación de la opción, se listan en la siguiente relación:

Tabla 5.2.4 "Relación del equipo e instrumentos de la segunda opción"

CONCEPTO	INSTRUMENTACIÓN	SERVICIO	DIÁMETRO (PULG)	PUERTO U ORIFICIO (PULG)	TIPO O CARACTERÍSTICA
NUEVO	FR-203	MEDIDOR DE FLUJO	10"		MAGNETICO
REHABILITAR	FR-101 A	PLACA DE ORIFICIO	18"		
REHABILITAR	PCV-100	VALVULA FLUJO MINIMO BOCATOMA	8"	GLOBO	AUTORREGULABLE
REHABILITAR	PSV-100	VALVULA SEGURIDAD	4" X 6"	P	RESORTE
REHABILITAR	LIC. 201	CONTROL DE NIVEL	8"		GLOBO
NUEVO	TABLERO DE CONTROL	BOMBAS GA-101	ARRANQUE	PARO	LOCAL
	TUBERIA	FLUIDO		ESPECIFICACIÓN	LONGITUD (M)
NUEVO	ASTM 106 GR B	AGUA DE INYECCION POZO 203	10"	D 45 A	1500
NUEVO	ASTM 106 GR B	SALMUERA DEL POZO 203	10"	B 64 A	1000
	BOMBAS	SERVICIO	CAPACIDAD (GPM)	PRESIÓN DE DESCARGA (KG/CM ²)	POTENCIA HIDRÁULICA (WHP)
REHABILITAR	GA-101 A/B	AGUA DE RÍO	1500	7.7	96
NUEVO	GA-104 A/B	INHIBIDOR DE OXIGENO	0.122	2.33	0.0023

NUEVO	GA-121/R	HIPOCLORITO DE SODIO	0.056	2.25	0.003
NUEVO	GA-203/R	INYECCIÓN DE AGUA AL POZO 203	970	48.5	390
	FILTROS			GRADO DE FILTRACIÓN (MICRAS)	TIPO
REHABILITAR	FD-101/R	AGUA DE RÍO	2642	500	VERTICAL
	TANQUE ATMOSFÉRICO		DIÁMETRO (M)	T-T (M)	
REHABILITAR	FB-107	HIPOCLORITO DE SODIO	1.98	2.5	VERTICAL
REHABILITAR	FB-101	INHIBIDOR DE OXÍGENO	3.7	4.57	VERTICAL
REHABILITAR	FA-402/403	AIRE INSTRUMENTOS Y PLANTA	1.2	3.6	VERTICAL
	EQUIPO PAQUETE		CAPACIDAD (PCSM)	PRESIÓN DE DESCARGA (KG/CM ²)	
NUEVO	PA-101/102	COMPRESOR AIRE INSTRUMENTOS Y PLANTA	75	7.0	NO LUBRICADO
		SECADORA AIRE DE INSTRUMENTOS	50	7.0	
	FOSAS O PRESAS				
REHABILITAR	FE-101	CARCAMO DE AGUA DE RÍO	1080		CARCAMO
REHABILITAR	FE-105	FOSA DE AGUA TRATADA	LARGO 30 M	ANCHO 30 M	ALTURA 3.5 M

La adquisición de las bombas nuevas de inyección de agua de río GA-203 A/R, podrían ser el equipo crítico de esta opción, ya que su adquisición podría retrasar el programa de actividades, toda vez que los tiempos de entrega son largos.

Esta opción compite con la anterior, ya que el costo de la salmuera saturada de la cavidad 203 debe ser menor, por utilizar agua de río y porque los costos de operación del equipo superficial corren por cuenta de PEP- Tuzandepetl.

La desventaja técnica se debe a los bajos flujos de suministro de salmuera saturada de la cavidad 203, siendo del orden de los 251 m³/hr (38.0 MBPD); además se necesitan rehabilitar y operar más equipos superficiales; adicionar nuevo equipo de bombeo y por lo consiguiente realizar una mayor inversión económica en la rehabilitación y compra de equipo.

5.2.4 REQUERIMIENTO DE EQUIPO MECÁNICO.

Este reporte involucra equipo que fue considerado en la primera opción y al igual que en ella, se basa en los requerimientos para la obtención de salmuera y la infraestructura instalada al inicio de la formación de las cavidades o en uso actualmente.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) equipos de bombeo centrífugo vertical tipo turbina auto lubricada, claves GA 101 AB para el servicio de suministro de agua cruda, capacidad de 1500 gpm y 254 pies.

ACTIVIDAD 2.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas reciprocantes de embolo, clave GA - 104A/B, para el servicio de dosificación de inhibidor de oxígeno, capacidad máx./min./nor.: 0.113/0.0756/0.0945 gpm, presión de descarga 2.65 kg/cm², densidad relativa de 1.296, potencia hidráulica de 0.00248 hp, NPSH. 8.13 metros, conexiones roscadas clase 150# npt., medidor de flujo del tipo columna para calibración de dosificación con perilla micrométrica.

ACTIVIDAD 3 -ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas reciprocantes de émbolo tipo diafragma, clave GA - 121/R, para el servicio de hipoclorito de sodio, capacidad máx./nor.: 0.066/0.056 gpm, presión de descarga 2.25 kg/cm², válvula de doble bola check en la succión y en la descarga, conexiones roscadas clase 150# npt., medidor de flujo del tipo columna para calibración de dosificación con perilla micrométrica.

ACTIVIDAD 4.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrifugas horizontales, clave GA - 203 / R , para el servicio de inyección de agua a pozo 203, para una capacidad nominal de 970 gpm, presión de succión estimada de 1.08 psig, presión de descarga de 654.12 psig (46 kg/cm²), carga diferencial total de 1510 pies, densidad relativa de 1.0, potencia hidráulica de 369 hp, NPSH disponible estimado de 25 pies.

ACTIVIDAD 5.-SUSTITUCIÓN DE EQUIPO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Paquete de compresión y secado de aire de planta e instrumentos, clave PA 101 / 102, integrado con los siguientes equipos:

Dos (2) compresores reciprocantes de pistones no lubricados, con una capacidad mínima / normal / máxima de 33/50/75 SCFM a una presión de descarga de 139.7 psia, dos etapas de compresión, tipo industrial, enfriado por circuito cerrado de agua-aire, accionado por motor eléctrico de inducción (tefc) tropicalizado.

Una (1) secadora de aire tipo regenerativa "heatless" de doble torre de secado, con alumina como desecante, de operación automática para entregar una capacidad de 50 SCFM y entrega de aire seco a una presión de 134.7 psia mínimo, equipada con prefiltro y postfiltro, silenciador de ruido en purga.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 103 A/B, para el servicio de salmuera de desecho, marca HINGHAM, modelo msd, para una capacidad normal / nominal 2916/3000 gpm, carga diferencial total de 907.2 pies, potencia hidráulica de 827 hp.

B).- Suministro de refacciones para la bomba.

C).- Rehabilitación de la bomba.

D).- Rehabilitación de la base común de la bomba y el accionador.

E).- Rehabilitación del motor eléctrico.

F).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 7.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 116 A/B, para el servicio de carga de salmuera de desecho, marca bingham, modelo cap, tamaño 10x12x21, para una capacidad nominal de 3000 gpm, carga 137.8 pies.

B).- Suministro de refacciones para la bomba.

C).- Rehabilitación de la bomba.

D).- Rehabilitación de la base común de la bomba y el accionador.

E).- Rehabilitación del motor eléctrico.

F).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 8.- ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrífugas horizontales clave GA - 118 / R , para el servicio de salmuera de desecho, para una capacidad normal / nominal 2818/2916.7 gpm, presión de succión atmosférica , presión de descarga de 398 psig, carga diferencial total de 792.7 pies, densidad relativa de la salmuera 1.16, potencia hidráulica de 677 hp, NPSH disponible de 19 pies.

5.2.5 - REQUERIMIENTOS DE TUBERÍAS.

Para la implementación de esta alternativa se requiere el suministro e instalación del siguiente material.

Tabla 5.2.5 "Material de tuberías para la segunda opción"

CONCEPTO	ESPECIFICACION	CANTIDAD
TUBO 10" Ø D45A	ASTM. A-106, GR. B, CEDULA 40 EXTREMOS BISELADOS.	1.149 MTS.
CODO 90°	10" ASTM. A-234, GR. WPB, CEDULA DE ACUERDO A LA DEL TUBO 600 #.	14 PIEZAS
BRIDA 10"	ASTM A-105, Ø INTERNO P/CEDULA IGUAL AL TUBO 600 #.	2 PIEZAS
TUBO 10" DIÁMETRO A 40A	W.N. ASTM. A-106, 600 #R.F., Ø INT IGUAL AL DE LA TUBERÍA	1 PIEZA
ESPARRAGOS	ASTM A-193, GR. B-7, 7/8" X 4 1/2", 600 #, 10" Ø.	1 PIEZA

TUERCAS	HEXAGONALES ASTM A-194, GR. 2H	24 PIEZAS
EMPAQUE	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/16" ESPESOR	1 PIEZAS
TUBO 10" Ø A60A	ASTM A-106, GR. B, CEDULA 80 600 #, EXTREMOS BISELADOS.	812,500 MTS.
CODO 90°	ASTM A-234, GR. WPB, CEDULA DE ACUERDO A LA DEL TUBO 300#.	11 PIEZAS
BRIDA	R.F. ASTM A-105, Ø IGUAL AL TUBO 600 #.	2 PIEZAS
ESPÁRRAGOS	ASTM A-193, GR. B-7, 7/8" X 4 1/4", 600 #, 10" Ø.	24 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES ASTM A-193, GR. 2H	72 PIEZAS
EMPAQUE	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/16" ESPESOR	3 PIEZAS

5.2.6.- ÁREA ELÉCTRICA.

Esta lista de actividades y materiales de equipo mayor son para el área de lixiviación y la bocatomá considerando los requerimientos del proceso para la opción II.

5.2.6.1.- EQUIPO PARA EL ÁREA DE LIXIVIACIÓN.

Desmontaje de CCM'S TDA-01e alimentado en 4160 volts, (10 secciones)

Desmontaje de CCM'S TDA-01c alimentado en 4160 volts, (11 secciones)

Desmontaje de CCM'S TDA-01f alimentado en 4160 volts, (4 secciones)

Desmontaje de CCM'S TDA-01a alimentado en 220/127 volts, (10 secciones).

Centro de control de motores auto soportado CCM-4160v-01, tipo metal-clad, con frente muerto, gabinete nema-1, 5 kv, servicio interior, usos generales, tropicalizado, para operar en un ambiente tropical húmedo y corrosivo, operar en 4160 V, 3 fases, 3 hilos, alambrado clase 1, tipo B.

Centro de control de motores auto soportado CCM-480-01A, tipo metal-clad, con frente muerto, gabinete nema-1, 600 VCA, servicio interior, usos generales, para operar en un ambiente tropical húmedo y corrosivo, operar en 480 V, 3 fases, 3 hilos, alambrado clase 1, tipo B.

Cargador de baterías (CB-1) tipo estático de 30 A, de salida alimentación a 220 V, 1F, 3h, 60 hz, salida de 120 VCD.

Tablero de distribución ("TDC-101") de 1F, 3h, para operar a 120 VCD, de 12 polos, con barras de alimentación de 100 A. Capacidad interruptiva de 5 kA. Con interruptor principal de 1P-40A.

Tablero de distribución ("TDB-101") de 3F, 5h, para operar a 220/127 V, 60 hz, de 54 polos, con barras de alimentación de 400 A, capacidad interruptiva de 10 kA, con interruptor principal de 3P-225 A.

Tablero de transferencia ("TT-101) de 3F, 3h, para operar a 440 V, con barras de alimentación de 400 A, capacidad interruptiva de 25 kA con dos interruptores termomagnéticos de 1000 amp y 700 ad

Sistema de alumbrado y contactos para el cuarto de control eléctrico del área de lixiviación, incluye como mínimo tubería y conduit en diámetros de 19 (3/4") a 25 (1") mm de diámetro. Comercial, conectores y cajas de conexiones de aluminio para áreas normales, serie ovalada, luminarias de ahorradoras de energía de 2 x 32w, 127v, 60hz. Montaje empotrado, luminarias de aditivos metálicos de 100w, 220v, 60hz, montaje colgante, luminarias incandescentes de 100w, 220v aprueba de vapor montaje colgante, unidades de alumbrado de emergencia con baterías de Niquel-Cadmio y reflectores incandescentes orientables de 25w, receptáculos duplex polarizados, apagadores sencillos de 10A, 127V, apagadores de 3 vías de 10A, 127V, incluye además conductores de cobre suave calibre 12 awg y calibre 10 awg, conexiones, aislamientos y prueba final de operación.

Tablero de distribución ("TAB. A") para sistema de alumbrado interior) de 3F, 4h, para operar a 220/127 VCA, de 30 polos, con barras de alimentación de 100A.

Sistema de alumbrado exterior para el área de lixiviación, incluye como mínimo tubería conduit en diámetros de 19 (3/4") a 25 (1") mm de diámetro comercial, conectores y cajas de conexiones de aluminio para áreas normales, aprueba de intemperie, serie wjb y caja de conexiones para áreas normales de aluminio, serie ovalada, luminarias tipo proyector con lámpara de 250 w, de aditivos metálicos, para operar a 220 VCA, 60 hz, luminarias de aditivos metálicos de 100w, 220v, 60hz, montaje colgante, postes octagonales de concreto armado de 11 mts de long. Y 500 kg/cm² incluye además conductores de cobre suave calibre 12 AWG y calibre 10 AWG, conexiones, aislamientos y prueba final de operación.

Sistema de distribución de energía mediante un circuito aéreo para alimentación de motoválvulas en pozos 400, incluye un derivación de circuito aéreo en 34.5 kv, con conductor de aluminio con alma de acero tipo ACSR cal 1/0 awg.

Rehabilitado de trincheras en el cuarto de control eléctrico, incluyendo soportes tipo canal ventilado, drenaje adecuado de agua y limpieza general.

Sistema de tierras, incluye conductor de cobre suave desnudo calibre 4/0 AWG y calibre 2 AWG para malla principal y derivaciones de tierras.

5.2.6.2. - EQUIPO PARA LA BOCATOMA.

Transformador de distribución trifásico (TR-1) de 500 kva, instrumentado, uso intemperie, tipo estación con boquillas en el primario y gargantas en el secundario

Transformador de distribución trifásico (TR-1) de 750 kva, instrumentado, uso intemperie, tipo estación con boquillas en el primario y gargantas en el secundario.

Centro de control de motores auto soportado, tipo metal clad, CCM-480-01, gabinete nema-1, 600 vca, servicio interior, usos generales, para operar en un ambiente tropical húmedo y corrosivo, operar en 480 v, 3 fases, 3 hilos, alambreado clase 1, tipo B.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.3. OPCIÓN III DESPLAZAMIENTO DE CRUDO DE LAS CAVIDADES 300'S CON AGUA DE RÍO.

5.3.1 ANALISIS DE LAS CAVIDADES

La característica particular de esta opción consiste en utilizar el equipo de bombeo de salmuera de explotación GA-202 A/H, para inyectar agua de río en las cavidades 300's y poder vaciar los 8.5 MMBSL de crudo de las cavidades, a un ritmo de vaciado de 928 m³/hr (140.0 MBPD) en dos cavidades, con 464 m³/hr (70.0 MBPD) por cavidad. En forma preliminar se están previendo utilizar las cavidades Tuz-302, 311, 314,316 y 331, para realizar el vaciado de crudo con agua de río. Se seleccionaron estas cavidades porque actualmente cuentan con volumen útil de almacenamiento menor al de diseño original y diámetro reducido, de tal forma que la inyección agua a la cavidades incrementara el volumen. Esta operación se realizara una vez al año, en forma controlada, para evitar que por el crecimiento del volumen, las cavidades tengan problemas de estabilidad.

Toda la información utilizada para el análisis fue proporcionada por la superintendencia de almacenamiento de Tuzandepetl, Ver, siendo la base principal para dicho análisis, los registros sonares indicados en la tabla 5.3.1. Las gráficas de estos registros se encuentran en el anexo 1.

Tabla 5.3.1. "Registros sonares"

CAVIDAD	FECHA 1	FECHA 2
TUZANDEPETL 302	1996	10/AGO/1993
TUZANDEPETL 306	1995	-
TUZANDEPETL 311	1996	8/AGO/1992
TUZANDEPETL 312	1991	16/ENE/2000
TUZANDEPETL 314	1996	-
TUZANDEPETL 316	1995	26/MAR/2000
TUZANDEPETL 318	1995	-
TUZANDEPETL 331	1996	14/SEP/1999
TUZANDEPETL 332	1995	6/MAR/2000
TUZANDEPETL 334	1995	26/OCT/1999
TUZANDEPETL 338	1992	10/DIC/1999
TUZANDEPETL 340	1993	-

Del análisis de los registros sonares, se integró de manera resumida el comportamiento de las cimas y las bases de las cavidades (Tabla 5.3.2), con la finalidad de comparar en altura, intervalos perdidos, intervalos ganados, en un periodo de 10 años de explotación, ya que la mayoría de estas tenían inicialmente una altura entre 200 y 250 m al terminar su lixiviación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.3.2. "Análisis de cimas y bases de las cavidades tuz-300."

CAVIDAD	FECHA SONAR	BASE (m)	CIMA (m)	LONG. (m)	FECHA SONAR	BASE (m)	CIMA (m)	LONG. (m)
Tuzandepetil 302	1996	875	725	150	10-10-93	878.4	710	168.4
Tuzandepetil 306	1995	790	725	65	-	-	-	-
Tuzandepetil 311	1996	906	767	139	08-10-92	885	712	173
Tuzandepetil 312	1991	954	725	229	16-01-00	940	740	200
Tuzandepetil 314	1996	827	675	152	-	-	-	-
Tuzandepetil 316	1995	858	701	157	26-03-00	855	690	165
Tuzandepetil 318	1995	920	669	251	-	-	-	-
Tuzandepetil 331	1996	902	648	254	14-09-99	810	618	192
Tuzandepetil 332	1995	832	646	186	06-03-00	785	662	123
Tuzandepetil 334	1995	806	619	187	26-10-99	800	622	178
Tuzandepetil 338	1992	733	569	164	10-12-99	724	582	142
Tuzandepetil 340	1993	626	573	53	-	-	-	-

Como se puede observar de la tabla 5.3.2 de cimas y bases, entre los dos registros sonares analizados, las cavidades han sufrido cambios significativos en su altura vertical debido a obstrucciones por caída de bloques que han sido atrapados en los cuellos de las cavidades o liberación de las obstrucciones que se tenían con anterioridad. Las cavidades que mas han sufrido la reducción de su altura original son la TUZ-340 y la TUZ-306, las cuales solo tienen 53 y 65 m en su altura respectivamente, por lo que no se recomiendan para la inyección de agua dulce. Esta reducción en altura se ve reflejada en una disminución de la capacidad real de las cavidades como se puede observar en la tabla 5.3.3

Tabla 5.3.3. "Análisis de volúmenes perdidos en las cavidades por obstrucción de bloques."

CAVIDAD	CAPACIDAD ANTERIOR BLS	CAPACIDAD ACTUAL BLS	VOL. SONAR BLS	EDO.	REDUCCIÓN %	VOL. PERDIDO BLS
Tuzandepetil 302	572,000	572,000	356,096		0.00	0
Tuzandepetil 306	990,000	860,000	PROG.	CER	13.13	130,000
Tuzandepetil 311	525,000	330,000	396,355		37.14	195,000
Tuzandepetil 312	734,000	734,000	714,978		0.00	0
Tuzandepetil 314	610,000	835,000	PROG.	CER	36.89	-225,000
Tuzandepetil 316	948,000	740,000	774,720		21.94	208,000
Tuzandepetil 318	957,000	930,000	PROG.	CER	2.82	27,000
Tuzandepetil 331	850,000	635,000	718,280		25.29	215,000
Tuzandepetil 332	1,109,000	450,000	727,999		59.42	659,000
Tuzandepetil 334	1,041,000	751,000	815,543		27.86	290,000
Tuzandepetil 328	1,061,000	970,000	875,908		8.58	91,000
Tuzandepetil 340	346,000	400,000	PROG.	CER	15.61	-54,000
	9,743,000	8,207,000			15.77	4,536,000

En la tabla anterior, (5.3.3.) se observa que la capacidad original de almacenamiento de las cavidades de Tuzandepetil también se ha reducido, sin embargo en algunas cavidades el volumen se ha recuperado el volumen perdido durante el periodo de explotación (Tuz-314 y Tuz-340).

Originalmente se tenía un volumen de 9,743,000 barriles, de los cuales se ha perdido un volumen de 1,536,000 barriles, debido a la caída de bloques y obstrucciones en las cavidades durante el periodo de explotación, lo cual representa una pérdida de volumen del 15.77%.

Tabla 5.3.4 "Análisis de los diámetros de las cavidades para la determinación de los intervalos de inyección de agua dulce."

ANÁLISIS DE DIÁMETROS DE LAS CAVIDADES PARA LA DETERMINACIÓN DE INTERVALOS DE											
INF. CORR.	770-780		780-790		790-800		800-810		810-820		730-740
	PROF.	INYECCIÓN									
710	2	680	1	620	9	675	5	680	26	686	1
715	13	680	1	623	5	700	38	700	46	670	2
720	9	700	1.5	627	15	725	49	710	42	675	10
725	11	710	1	631	19	745	22	720	42	680	15
730	8	720	7	640	6	750	38	730	32	685	18
732	5	730	15	660	45	775	40	735	38	690	23
740	8	740	8	680	45	795	30	740	28	700	37
750	20	750	12	670	50	800	37	750	32	705	40
755	29	751	12	675	42	815	48	760	44	710	43
760	48	753	22	672	42	815	30	770	23	715	38
765	35	757	20	675	47	825	40	780	30	725	35
770	30	760	27	680	29			790	31	730	30
780	18	764	18	702	30			800	27	735	35
790	23	767	29	710	15			810	22	740	40
800	20	772	17	715	27			820	22	750	28
810	19	775	23	718	20			830	23	755	26
820	17	780	18	720	24			840	25	760	30
830	16	790	11	725	26			850	17	765	25
840	17	792	11	730	18			855	15	770	35
850	25	798	30	740	15					775	33
860	20	798	15	745	30					780	28
870	15	802	20	753	20					785	29
875	2	807	12	758	33					790	24
		811	29	760	20					795	24
		813	21	763	25					800	25
		815	29	770	30					810	32
		820	25	780	20					825	24
		828	10	790	22					835	35
		833	28	800	20					845	25
		838	19	808	19					850	15
		810	6	808	1					855	12
		843	40							860	11
		850	37							875	15
		858	32								
		851	37								
		870	30								
		875	24								
		881	35								
		883	37								

En la tabla anterior se observa que las cavidades propuestas para la inyección de agua dulce presentan una zona de diámetros amplios (30 y 40 m) en la parte superior de las mismas, mientras que en la parte inferior se observan diámetros que varían desde 11 a 28 m.

5.3.1.1 CLASIFICACIÓN DE CAVIDADES EN REGULARES E IRREGULARES

Tabla 5.3.5 "Clasificación de cavidades con diámetros variables y configuración irregular."

CONCEPTO	TUZ-302	TUZ-306	TUZ-311	TUZ-331	TUZ-334	TUZ-340
FECHA SONAR	10/08/93	1995	8/08/92	14/09/99	26/10/99	10/02/99
CIMA (m)	710	725	712	618	622	565
BASE	878.4	790	885	808	798	635
PROF. T.R. 18" (m)	655	628	600	550	499	499
PROF. T.R. 11 1/2" (m)	863	788	833	791	769	623
VOL. SELLO (BLS)	295,845	16,008	16,008	17,500	60,026	12,586
VOL. SONAR (m ³)	56,613	-	63,014	114,194	129,657	-
VOL. SONAR (BLS)	356,096	-	396,355	718,280	815,543	-
CAPACIDAD ANTERIOR (BLS)	572,000	990,000	525,000	850,000	1,041,000	346,000
CAPACIDAD ACTUAL (BLS)	572,000	860,000	330,000	635,000	751,000	400
VOL. CRUDO (BLS)	0	0	91,746	0	127,476	0
FECHA	31/05/02	31/05/02	31/05/02	31/05/02	31/05/02	31/05/02
LEVANT. FONDO (m)	15.4	2	52	17	29	12

Las cavidades Tuz-302, Tuz-311 y Tuz-331 presentan irregularidades y zonas de diámetros reducidos en la parte inferior de la cavidad, los cuales se pueden ampliar en algunos intervalos mediante la inyección de agua dulce. Es recomendable efectuar una campaña de registro sonar para registrar la altura total de cada una de las cavidades antes y después de cada inyección de agua dulce. La cavidad Tuz-334 no se recomienda para el desplazamiento con crudo por que tiene diámetros muy amplios en la parte superior. Las cavidades Tuz-306 y Tuz-340 no son recomendables para la inyección de agua dulce por tener diámetros muy amplios (75 y 70 m) y una longitud vertical muy reducida (65 y 53 m) ver tabla 5.3.2.

Tabla 5.3.6. "Clasificación de cavidades con diámetros amplios y configuración regular"

	TUZ-314	TUZ-312	TUZ-316	TUZ-318	TUZ-332	TUZ-338
FECHA SONAR	1996	16/01/00	26/03/00	1995	6/03/00	10/12/99
CIMA (m)	700	740	690	660	662	582
BASE	826	940	856	910	783	724
PROF. T.R. 18" (m)	600	600	607	614	579	519
PROF. T.R. 11 1/2" (m)	810	900	829	889	759	709
VOL. SELLO (BLS)	18,870	7,894	12,794	11,951	17,405	32,211
VOL. SONAR (m ³)	-	113,699	123,167	-	115,596	139,254
VOL. SONAR (BLS)	-	714,978	774,720	-	727,099	875,908
CAPACIDAD ANTERIOR (BLS)	610,000	734,000	948,000	957,000	1,109,000	1,061,000
CAPACIDAD ACTUAL (BLS)	835,000	734,000	740,000	950	450,000	970,000
VOL. CRUDO (BLS)	112,357	0	0	0	10	0
FECHA	31/05/02	31/05/02	31/05/02	31/05/02	31/05/02	31/05/02
LEVANT. FONDO (m)	16	40	27	21	24	15

Las cavidades Tuz-314 y Tuz-312, presentan diámetros amplios en la parte superior y diámetros reducidos en la parte inferior, sin embargo, en general tienen una configuración regular y estable, por lo cual se puede realizar el desplazamiento con agua dulce de manera controlada y de ser posible solamente en una ocasión, para minimizar los posibles daños a estas. Las cavidades Tuz-316, Tuz-318, Tuz-332 y Tuz-338 presentan diámetros amplios en todo su espesor y actualmente son las más estables, por lo que no se recomienda el desplazamiento con agua dulce ya que esto puede propiciar la alteración en el estado actual, disminuyendo su tiempo de vida útil.

5.3.1.2.-SELECCIÓN DE LAS CAVIDADES PARA EL DESPLAZAMIENTO DE CRUDO CON AGUA DULCE.

De acuerdo al análisis anterior, se propone que las cavidades para explotación con agua dulce serán las siguientes:

Tabla 5.3.7 "Cavidades que se explotaran con agua dulce"

CAVIDAD	PROF. T.R. (m)	VOLUMEN DE CAVIDAD (bls)	INCREMENTO DE VOLUMEN (BLS)	VOLUMEN TOTAL (bls)	GASTOS DE EXPLOTACIÓN (bpd)	GASTOS DE EXPLOTACIÓN (m ³ /día)
302	863.00	572,000	95,333	667,333	35,000	5,564
311	833.00	330,000	55,000	385,000	35,000	5,564
312	911.00	734,000	122,333	856,333	35,000	5,564
314	810.00	835,000	139,167	974,167	35,000	5,564
331	791.00	635,000	105,833	740,833	35,000	5,564
TOTAL		2,471,000	411,833	2,882,833	14,000	22,258

En la tabla anterior, se propone la posición de las tuberías de explotación para el desplazamiento con agua dulce y los gastos de operación más recomendados a fin de evitar problemas durante la extracción del crudo, sin embargo los gastos por pozo se podrán ajustar en función de las necesidades de PEP, hasta un máximo de 70,000 BPD.

En la tabla 5.3.7, se definen los intervalos más adecuados para la inyección de agua dulce bajo los siguientes criterios en forma jerárquica.

- Se puede inyectar agua dulce en las cavidades que presentan intervalos con diámetros reducidos y configuraciones irregulares, debido a que la inyección de agua dulce amplía los diámetros reducidos y puede ayudar a conformar las zonas irregulares.
- En las cavidades regulares se puede inyectar agua dulce en todo el intervalo sin dañar significativamente su vida útil, pero se recomienda tomar un registro sonar después de la inyección, porque el intervalo de inyección puede cambiar con cada vaciado.

5.3.2.- ANÁLISIS GENERAL DE ESTABILIDAD DE LAS CAVIDADES

El análisis de estabilidad se realizó sobre la base de la información disponible, de las campañas del registro sonar realizadas en cada una de las cavidades. La evolución de la forma de las cavidades es

consecuencia de los 10 años y esta en función de las propiedades mecánicas de la sal y su composición química, y su disposición estratigráfica.

Se analizaron diferentes aspectos de la estabilidad de las cavidades en base a la evolución de su forma.

5.3.2.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS REGISTROS SONARES.

En el anexo 1, se compilan los perfiles de las cavidades analizadas. Para cada una de ellas se sobrepuso dos registros para observar su evolución en el tiempo.

TABLA 5.3.8 2 REGISTROS SONARES

CAVIDAD	REGISTRO SONAR INICIAL	REGISTRO SONAR FINAL
TUZ-302	1993	1996
TUZ-311	1992	1996
TUZ-312	1992	2000
TUZ-314	1993	2000
TUZ-316	1993	2000
TUZ-318	1993	1996
TUZ-331	1992	1999
TUZ-332	1993	2000
TUZ-334	1993	2000
TUZ-338	1993	2000

De la tabla anterior se observa que los periodos de evolución van de 3 a 8 años. Durante ese tiempo dos versiones diferentes de sonar se analizaron. Los datos han sido analizados tal cuales sin ningún procesamiento o acondicionamiento, por lo que en las gráficas se puede observar que existen desfases atribuibles a la precisión de la herramienta y a la experiencia del operador de la misma.

5.3.2.2. ANÁLISIS DE LOS TECHOS DE LAS CAVIDADES.

De acuerdo al diseño original y a las últimas recomendaciones emitidas por Geostock, no deberían rebasarse los 45 metros de diámetro en el techo de las cavidades. Esto no se cumple en el caso de la cavidad Tuz-340 que tiene 70 metros de diámetro y la cavidad Tuz-306 con 75 metros. El riesgo principal es el de que se continúe su lixiviación preferente hacia arriba cerca del límite superior del domo, el cual al ser alcanzado puede ocasionar la fuga del producto. Sin embargo la extensión de los techos se produce en la dirección noroeste lo cual resulta favorable para no tener interferencias entre cavidades. El resto de las cavidades presentan configuraciones de techos aceptables.

5.3.2.3 ANÁLISIS DEL FONDO DE LAS CAVIDADES.

En la mayoría de las cavidades no se ha podido registrar la evolución del fondo original debido a que han tenido obstrucciones en la parte inferior impidiendo el paso de la sonda para realizar las

mediciones. Comparando los sonares de 1992 y de 2000 para la cavidad Tuz-312, podemos observar un levantamiento del fondo de 30 metros, en la cavidad Tuz-334 el fondo se ha levantado 12 metros en 7 años y en la cavidad Tuz-338 se ha levantado 20 metros en 7 años.

Sabemos que el levantamiento del fondo se debe principalmente a la fluencia de la sal y a los bloques que ahí se van acumulando. El hecho de tener un gran levantamiento del fondo sin una convergencia fuerte de las paredes de las cavidades, nos indica que el factor principal que ha influido en esta problemática es la caída de los bloques y no la fluencia de la sal, ya que de otra manera, la fluencia se manifestaría de igual forma en las zonas cercanas al fondo de la cavidad. En todo caso, este es un aspecto que debe ser estudiado con mas detenimiento durante la realización de las siguientes campañas de sonar y las subsiguientes modelizaciones del comportamiento de las cavidades con modelos analíticos.

5.3.2.4.-ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE CIERRE DE LAS CAVIDADES.

Analizando la evolución de la forma de las cavidades con los registros sonares se ha confirmado la presencia de estratos de sal muy fluentes que se deforman y cierran la cavidad rápidamente. Sin embargo, por ser estratos no muy grandes, el efecto de sus deformaciones no son importantes, ya que son función inversa del diámetro de las cavidades y del volumen de estas, es decir, que el efecto de su cierre no repercute en la pérdida de volumen de una gran cavidad, pero si en el caso de un pozo donde el diámetro es pequeño y se puede atrapar la tubería.

Para el análisis de la velocidad de cierre de las cavidades hemos seleccionado la cavidad Tuz-338 que había sido clasificada como una cavidad muy fluente y la Tuz-316 como una de las menos fluentes. En ambas hemos encontrado variaciones de diámetros del orden del 1 al 5% y para zonas puntuales disminuciones del 20%. Cabe mencionar que para este análisis nos hemos enfocado a las zonas de las cavidades donde no se perciben efectos de lixiviación. Todo indica que el problema de fluencia de la sal había sido sobre estimado, sin embargo, habrá que poner atención todavía al fondo de las cavidades, el cual no ha sido registrado en todas las cavidades y analizar mas a detalle con modelos analíticos la fluencia de la sal y la forma en que contrarresta la lixiviación durante la operación.

5.3.3.-PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO DE INSTALACIONES SUPERFICIALES.

En la figura 5.3.9, se presenta el programa general de acondicionamiento y construcción de las instalaciones superficiales y de fondo, en donde se observa que la inyección de agua dulce a las cavidades estará lista a partir de noviembre del 2002. Siendo la etapa crítica la rehabilitación o construcción del salmueroducto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 5.3.9. PROGRAMA GENERAL PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES CONSIDERADAS EN LA TERCERA OPCIÓN

REQUERIMIENTOS	VACIADO			LLENADO			VACIADO			LLENADO			VACIADO																
	2002						2003						2004																
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DISPONIBILIDAD DE CINCO CAVIDADES																													
REHABILITACIÓN DE 4 BOMBAS DE AGUA DE BOCATOMA A TUZANDEPETL																													
ENCAMISADO DE LINEA DE AGUA DULCE 16" DE BOCATOMA A TUZANDEPETL																													
ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE PLACA DE ORIFICIO																													
FILTROS DE BOCA TOMA Y TUZANDEPETL																													
ADQUISICIÓN INSTALACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL EN BOCA TOMA							PEND																						
REHABILITACIÓN DE LA GEOMEMBRANA DE LA PRESA DE AGUA DULCE																													
LINEAS DE AGUA DULCE A LA PRESA B (5 LINEAS DE MANGUERAS FLEXIBLES																													
LLENADO DE AGUA DULCE A LA PRESA B																													
BOMBEO DE AGUA DULCE A CAVIDADES																													
LICITACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL SALMUERODUCTO																													
LICITACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SALMUERODUCTO																													

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.3.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN.

El agua de río de la bocatoma se bombea a una presión de 7.7 kg/cm² y un flujo de 928 m³/hr (140.0 MBPD), por los 2 acueductos de 16" D.N. por 4.5 km de longitud y llega a la presa de agua dulce FE-105 a 1 kg/cm². El agua de río de la presa FE-105 se enviara por gravedad a través de 4 mangueras de 6" D.N a la presa de almacenamiento de salmuera saturada FE-103. Posteriormente el agua de río será inyectada a cuatro cavidades de las serie 300's, con las bombas de salmuera de explotación GA-202 A/H1, con un flujo de 928 m³/hr (140.0 MBPD) y una presión de descarga de 19.0 kg/cm², el agua de río se inyectara en las cavidades con una presión de 18.5 kg/cm² y un flujo de 464 m³/hr (70.0 mbpd), desplazando el crudo a la superficie a una presión de 30.0 kg/cm².

En el esquema de flujo "Alternativa 3". (Anexo A) se indica la secuencia de la operación de la inyección de agua de río y el desplazamiento de crudo de las cavidades con serie 300's.

5.3.5. REQUERIMIENTO DE EQUIPO SUPERFICIAL.

Las características de diseño de los principales equipos e instrumentos que se necesitan para la operación de la opción, se listan en la siguiente relación:

Tabla 5.3.10 "Relación de equipo e instrumentos".

RELACION DEL EQUIPO E INSTRUMENTOS					
CONCEPTO	INSTRUMENTACION	SERVICIO	DIAMETRO (PULG)	PUESTO U ORIFICIO (PULG)	TIPO O CARACTERISTICA
REHABILITAR	ER-101 A	PLACA ORIFICIO DE 18"			
REHABILITAR	PCV-100	VALVULA MINIMO BOCATOMA FLUJO	8"	GLOBO	AUTORREGULABLE
REHABILITAR	PSV-100	VALVULA SEGURIDAD	4" N.G"	P	RESORTE
REHABILITAR	LIC-200	CONTROL DE NIVEL	8"		GLOBO
NUEVO	TAHIERO CONTROL	DE BOMBAS GA-101	ARRANQUE	PARO	LOCAL
TUBERIA		FLUIDO	NUMERO	LONGITUD (M)	
NUEVO	MANGUERA FLEXIBLE	AGUA DE INYECCION DE TUBA FE-105	DE 6"	4, CON VALVULA DE BOLA	150, 150 FT ANSI
BOMBAS		SERVICIO	CAPACIDAD (GPM)	PRESION DE DESCARGA (KG/CM2)	POTENCIA HIDRAULICA (WHP)
REHABILITAR	GA-101 A/H1/2/3	AGUA DE RIO	1500	7.7	96
NUEVO	GA-101 A/H	INSTRIDOR ANEJADO	0.122	2.33	0.0023
NUEVO	GA-121/R	INSTRIDOR SORDO	0.056	2.25	0.003
FILTROS				GRADO DE FILTRACION (MICRAS)	TIPO
REHABILITAR	FD-101/R	AGUA DE RIO	2042	500	VERTICAL

TANQUE ATMOSFÉRICO			DIÁMETRO (M)		T-Y (M)
REHABILITAR	FB-107	INPELORITO DE SODIO	1.98	2.5	VERTICAL.
REHABILITAR	FB-101	INHIBIDOR DE OXIGENO	1.7	4.57	VERTICAL.
REHABILITAR	FA-302/303	AIRE: INSTRUMENTOS Y PLANTA	1.2	3.6	VERTICAL.
	EQUIPO PAQUETE		CAPACIDAD (PCBM)	PRESIÓN DE SERVICIO (KG/CM2)	
NUOVO	PA-101/102	COMPRESOR AIRE INSTRUMENTOS Y PLANTA	75	7.0	NO LUBRICADO
		SECADORA AIRE DE INSTRUMENTOS	50	7.0	
	FOSAS O PRESAS				
REHABILITAR	FE-101	CARCAMO DE AGUA DE RIO	1000		CARCAMO
REHABILITAR	FE-105	FOSA DE AGUA TRATADA	LARGO 40 M	ANCHO 30 M	ALTURA 3.5 M

En esta opción la rehabilitación de las bombas GA-101 A/B/C/D posiblemente sea la actividad crítica.

Esta opción compite con las anteriores, ya que no se compra salmuera saturada de CYDSA, se utiliza completamente la infraestructura de PEP-Tuzandepetl, además no se realiza la inversión de las bombas de inyección de agua a las cavidades 300's, para proceder con el vaciado de crudo. Los flujos de inyección de agua a dos cavidades de Tuzandepetl se incrementan hasta 928 m³/hr (140.0 MBPD).

El inconveniente podrían recaer en el incremento de volumen de las cavidades, por la inyección de agua de río para vaciar el crudo; sin embargo, hay que tener presente que esta operación se realizaría una vez al año, entre los meses de marzo y agosto, durante tres años.

5.3.4.- REQUERIMIENTOS DE EQUIPO MECANICO.

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS Y REQUERIMIENTOS PARA LA OPCIÓN III.

ACTIVIDAD 1.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Cuatro (4) equipos de bombeo centrífugo vertical tipo turbina autolubricada, claves ga 101 abc/d para el servicio de suministro de agua cruda, capacidad de 1500 gpm y 254 pies, columna de tubería de acero al carbón roscaada, para manejar agua cruda a una capacidad normal de 1458 gpm y una carga diferencial total de 254 pies, potencia al freno de 113 bhp, accionada por motor eléctrico de inducción vertical,

B).- Suministro de refacciones para la bomba.

C).- Rehabilitación de la bomba.

ESTADÍSTICA DE TESIS
CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

D).- Rehabilitación del motor eléctrico.

E).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 2.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas reciprocantes de embolo, clave GA - 104A/B, para el servicio de dosificación de inhibidor de oxígeno, capacidad máx./mín./nor.: 0.113/0.0756/0.0945 gpm, presión de descarga 2.65 kg/cm², densidad relativa de 1.296, potencia hidráulica de 0.00248 hp, npsH. 8.13 metros, conexiones roscadas clase 150# npt., medidor de flujo del tipo columna para calibración de dosificación con perilla micrométrica.

ACTIVIDAD 3.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas reciprocantes de embolo tipo diafragma, clave GA - 121/R, para el servicio de hipoclorito de sodio, capacidad máx./nor.: 0.066/0.056 gpm, presión de descarga 2.25 kg/cm², válvula de doble bola check en la succión y en la descarga, conexiones roscadas clase 150# npt., medidor de flujo del tipo columna para calibración de dosificación con perilla micrométrica.

ACTIVIDAD 4.-SUSTITUCIÓN DE EQUIPO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Paquete de compresión y secado de aire de planta e instrumentos, clave PA 101 / 102, integrado con los siguientes equipos:

Dos (2) compresores reciprocantes de pistones no lubricados, con una capacidad mínima / normal / máxima de 33/50/75 SCFM a una presión de descarga de 139.7 psia, dos etapas de compresión, tipo industrial, enfriado por circuito cerrado de agua-aire, accionado por motor eléctrico de inducción (TEFC) tropicalizado, para arranque a tensión plena, aislamiento nema B mínimo, equipado con protección térmica, alimentación eléctrica a 220-440 volts, 3 fases, 60 hertz.

Una (1) secadora de aire tipo regenerativa "heatless" de doble torre de secado, con alumina como desecante, de operación automática para entregar una capacidad de 50 SCFM y entrega de aire seco a una presión de 134.7 psia mínimo, equipada con prefiltro y postfiltro.

Dos (2) recipientes acumuladores de aire tipo vertical, clave FA - 402 / 403, capacidad de 50 SCFM y tiempo de residencia de 5 minutos cada uno.

ACTIVIDAD 5.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).-DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 103 A/B, para el servicio de salmuera de desecho, marca BINGHAM, modelo MSD, para una capacidad normal / nominal 2916 / 3000 gpm, carga diferencial total de 907.2 pies, potencia hidráulica de 827 HP.

- B).- Suministro de refacciones para la bomba.
 C).- Rehabilitación de la bomba.
 D).- Rehabilitación de la base común de la bomba y el accionador.
 E).- Rehabilitación del motor eléctrico.
 F).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 6.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

- Dos (2) bombas centrifugas horizontales, clave GA - 116 A/B, para el servicio de carga de salmuera de desecho, marca BINGHAM, modelo CAP, tamaño 10x12x21, para una capacidad nominal de 3000 gpm, carga 137.8 pies.
 B).- Suministro de refacciones para la bomba.
 C).- Rehabilitación de la bomba.
 D).- Rehabilitación de la base común de la bomba y el accionador.
 E).- Rehabilitación del motor eléctrico.
 F).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 7.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrifugas horizontales clave GA - 118 / R , para el servicio de salmuera de desecho, para una capacidad normal /nominal 2818 /2916.7 gpm, presión de succión atmosférica , presión de descarga de 398 psig, carga diferencial total de 792.7 pies, densidad relativa de la salmuera 1.16, potencia hidráulica de 677 HP, NPSH disponible de 19 pies.

4.3.2.1- ÁREA DE TUBERÍAS.

Tabla 5.3.11 "Material de tuberías, opción iii"

CONCEPTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
BRIDA	10" x 8" ASTM. A-105. 150# R F O INT P/CED IGUAL AL TUBO	9 PIEZAS
REDUCCIÓN CONCÉNTRICA	ASTM. A-105. 150# R F O INT P/CED IGUAL AL TUBO	3 PIEZA
VALVULA DE RETENCIÓN	ASTM A 216. Gr WCB. DISCO DE BRONCE. ALUMINIO. PERNO. RESORTE. PASADOR. Y RETENES DE AC AL CARBON. TIPO OBLEA (ENTRE BRIDAS R F) INOXIDABLE 316. DISCO BIPARTITO SELLO DE BUNA N	3 PIEZA
VALVULA DE COMPUERTA	ASTM A 216. Gr WCB O MONEL. TORNILLO EXTERIOR Y YUGO (BONETE ATORNILLADO. DISCO DE BUNA SOLIDA O FLEXIBLE Y ASIENTOS RELAMBIABLES	3 PIEZA
CODO 45°	ASTM A 234. Gr WPB. CEDULA IGUAL A LA TUBERIA	3 PIEZA
EMPAQUES	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/8" ESPESOR	9 PIEZA
ESPÁRRAGOS	ASTM A-193. Gr B-7. 1/2" x 4 1/2". 8". CLASE 150 R F	24 PIEZAS

		NOTA: CON TUERCAS HEXAGONALES ASTM A- 194, Gr. 2H, DORS 1/2 ESPARRAGO Y SU DIAMETRO
TUBO	ASTM A-106, Gr B, CEDULA 40	7.5 ms.
NIPOLET P/ INSTRUMENTOS	ASTM A-105	3 PIEZA
THREAOLET	ASTM A-105, 2" x 6"	3 PIEZA
BRIDA 2" Ø	ASTM A-105, 150#	6 PIEZAS
VALVULA DE COMPUERTA	ASTM A 216, Gr. WCB, INTERIORES BRONCE, ALUMINIO o MONEL, TORNILLO EXTERIOR Y YUGO BONETE ATORNILLADO	3 PIEZA
EMPAQUE	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/16" ESPESOR.	6 PIEZAS
CODO 90°	ASTM A-234, Gr WP, SIN COSTURA, CEDULA IGUAL AL TUBO.	6 PIEZAS
TUBO	ASTM A-53, Gr B, TIPO S, GALVANIZADO	16.5 ms.
ESPARRAGOS	ASTM A-193, Gr. B-7, 5/8" x 3/4", 2", CLASE 150 R F	24 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES ASTM A-194, Gr. 2H	24 PIEZAS

Tabla 5.3.12 "Material de tubería"

CONCEPTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
VALVULA GLOBO	ASTM A-216, Gr. WCB INTERIORES DE BRONCE, ALUMINIO o MONEL	3 PIEZA
BRIDA LOCA	ASTM A-105, 150# R.F. CEDULA IGUAL A TUBO	6 PIEZAS
STUB END	MANGUERA DE 6" Ø	3 PIEZA
EMPAQUE	ASBESTO COMPRIMIDO 1/16" ESPESOR	3 PIEZA
ESPARRAGOS	ASTM I-19, Gr B-7, 2H 3/4" - 4 1/2", 150# R.F.	24 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES ASTM A-194, Gr 2H 3/4" - 4 1/2", 150# R.F.	24 PIEZAS

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.4.- OPCIÓN IV GENERACION DE SALMUERA POR LIXIVIACION DE LOS POZOS 400'S.

5.4.1. PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO DE LOS POZOS 402 Y 403.

Para la lixiviación de las cavidades de G.I.P (pozos Tuzandepetl 402 y 403), se considero que estas serán utilizadas para almacenar 3 millones de barriles cada una, sin embargo, los programas podrían modificarse en función de los requerimientos de PGPB. Con el propósito de dejar en condiciones los pozos para la lixiviación se requiere realizar para cada pozo las siguientes actividades:

a) POZO TUZANDEPETL 402.

- 1.- Renta de equipo y acondicionamiento del pozo.
- 2.- Introducir tubería de revestimiento de 11 3/4" a 1138 m, colgar e instalar cabezal y conexiones superficiales y probar (incluye compra de T.R.).
- 3.- Ariete computarizado para T.R. De 11 3/4".
- 4.- Introducir tubería de revestimiento de 7" a 1200 m colgar e instalar cabezal y conexiones superficiales y probar.
- 5.- Ariete computarizado para T.R. De 7".
- 6.- Eliminar conexiones superficiales e instalar árbol de válvulas y conexiones superficiales definitivas y probar.
- 7.- Unidad de alta presión.
- 8.- Inyección de diesel.

b) POZO TUZANDEPETL 403.

PRIMERA ETAPA.

- 1.- Renta de equipo.
- 2.- Eliminar brida ciega e instalar preventor y conexiones superficiales.
- 3.- Con barrena de 14 3/4", reconocer cima del tapón de cemento.
- 4.- Circular con lodo emulsión inversa.
- 5.- Rebajar tapón de cemento.
- 6.- Análisis de muestras de canal.
- 7.- Muestras para corte de núcleos.
- 8.- Corte de 2 núcleos.
- 9.- Descripción de los núcleos.
- 10.- Determinación de pruebas físicas, químicas y mecánicas de los núcleos.
- 11.- Toma de registros geofísicos (6).
- 12.- Ampliar agujero de 14 3/4" a 17 1/2" de 1100 a 1200m.
- 13.- Colocar tapón de cemento por circulación.
- 14.- Introducir tubería de revestimiento de 13 3/8" hasta 830 m (incluye compra de T.R.).
- 15.- Ariete computarizado para T.R. De 13 3/8".
- 16.- Cementar tubería de revestimiento de 13 3/8".
- 17.- Instalar conexiones superficiales de control y probar.
- 18.- Escariar T.R. De 13 3/8" a 830 m y tomar registro sonico de cementacion.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

SEGUNDA ETAPA.

- 1.- Con barrena ampliadora de 12 1/2" a 17 1/2", rebajar cemento y reconocer a 1200 m.

- 2.-Desplazar lodo emulsión inversa por salmuera.
- 3.- Meter tubería de revestimiento de 11 ¼" a 860 m, colgar e instalar cabezal, y probar las mismas.
- 4.- Ariete computarizado para T.R. De 11 ¼".
- 5.- Inyectar diesel y acondicionar para prueba de estanqueidad.
- 6.- Realizar prueba de estanqueidad (15 días).
- 7.- Unidad de alta presión.

TERCERA ETAPA.

- 1.- Desplazar diesel por salmuera saturada.
- 2.- Eliminar conexiones e instalar conjunto de preventores.
- 3.- Prolongar tubería de revestimiento de 11 ¼" a 1138 m colgar, instalar cabezal y conexiones
- 4.- superficiales y probar (incluye compra de T.R.).
- 5.-Ariete computarizado para T.R. De 11 ¼".
- 6.-Introducir tubería de revestimiento de 7" a 1200 m colgar, instalar conexiones superficiales y probar (incluye compra de T.R.).
- 7.- Ariete computarizado para T.R. De 7".
- 8.- Eliminar conexiones superficiales e instalar árbol de válvulas y conexiones superficiales definitivas y probar.3
- 9.- Inyección de diesel.
- 10.- Unidad de alta presión.

5.3.8.- PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO DE INSTALACIONES SUPERFICIALES.

En la figura 5.4.1.se presenta el programa general para el acondicionamiento y construcción de las instalaciones superficiales y de fondo, se observa que se podría disponer de salmuera para la explotación de las cavidades a partir de junio del 2003, por lo que esta opción deberá considerarse en combinación con la opción 3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4.2 PROGRAMAS DE LIXIVIACIÓN DE LOS POZOS.

OBJETIVO.

- 1.- Generar salmuera saturada para la explotación completa de las cavidades de crudo.
- 2.- Generar cavidades con la capacidad requerida para almacenar gas lp o gas natural.

Datos básicos. Los datos aplican para las dos cavidades.

Tabla 5.4.2 "Datos para la generación de las cavidades 400's"

LOCALIZACIÓN:	TUZANDEPETL. VER
PROFUNDIDAD DE LA MASA SALINA	ESTRUCTURA SALINA
PRODUCTO A ALMACENAR	CRUDO MAYA
NÚMERO DE CAVIDADES A DESARROLLAR	3 (TUZ. NOS. 402 Y 403)
CAPACIDAD TOTAL DE ALMACENAMIENTO	6 MILLONES DE BARRILES (MMBLS) (940,000 M ³)
VOLUMEN POR CAVIDAD:	3 0 MMBLS (477,000 M ³)
FORMACIÓN DE CAVIDADES SIMULTANEAS:	2
ETAPAS DE LIXIVIACIÓN	3
GASTO DE LIXIVIACIÓN	1.875BLS/HR (300 M ³ /HR)
INTERVALO A LIXIVIAR	350 M
TIEMPO DE FORMACIÓN DE LA CAVIDAD	20 MESES (MÁXIMO)
TUBERÍAS DEL APAREJO DE DISOLUCIÓN:	7" Y 11 1/2"
FLUJO DE AGUA PARA DISOLUCIÓN:	2,013 BLS/HR (320 M ³ /HR)
RELACIÓN DE DISOLUCIÓN	8-10 BARRILES DE AGUA POR BARRIL DE ALMACENAMIENTO
FORMA PROGRAMADA DE LA CAVIDAD	LIGERAMENTE TRONCÓNICA
DISTANCIA ENTRE CAVIDADES	$L \geq 1.4D_1 + 1.4D_2 + 20$
NÚMERO DE MOVIMIENTOS:	3 POR AÑO (MÁXIMO)
INSTALACIONES SUPERFICIALES:	SE UTILIZARÁN LAS DE LIXIVIACIÓN DEL PROYECTO DE CRUDO
FUENTE DE SUMINISTRO DE AGUA DULCE:	RÍO COATZACOALCOS A TRAVÉS DE LAS INSTALACIONES DE LA BUOCATOMA
DESECHO DE LA SALMUERA DE LIXIVIACIÓN:	A TRAVÉS DEL SALMUERODUCTO HACIA EL DIFUSOR INSTALADO EN RABON GRANDE

5.4.2.1. DISEÑO DE LAS CAVIDADES.

FORMA.

La forma final de la cavidad será diseñada de acuerdo a las consideraciones estructurales de la sal para proporcionar la posibilidad de tener una vida útil mayor. La cavidad deberá tener una forma ligeramente tronconica con un techo cónico en los últimos 20 metros. El diámetro mínimo (en su base) será de 45 m y el diámetro teórico máximo (en su techo) de 51 m. La bolsa de insolubles será cilíndrica y tendrá un diámetro de 22 m y una altura de 50 m aproximadamente. La forma real de la cavidad deberá ser similar, en lo posible, a la forma teórica la cual se estimó de acuerdo con las características mecánicas de la sal y de la salmuera que se utilizara para la explotación ^(13,14)

El desarrollo de la cavidad se llevara a cabo en las etapas siguientes:

RECEPTÁCULO DE INSOLUBLES.

Se deberá crear un receptáculo de insolubles de forma cilíndrica con un volumen de 35,000 m³ en un espesor aproximado de 50 m, el cual estará localizado en la parte inferior de la cavidad.

CUERPO DE LA CAVIDAD.

La cavidad tendrá una configuración cónica invertida, con un diámetro en la parte inferior de 50 m y en la parte superior de 60 m con una altura de 270 m y un volumen de 470,000 m³.

TECHO DE LA CAVIDAD.

El techo de la cavidad será de forma cónica, lo que permitirá soportar de manera conveniente los esfuerzos a que estará sometida la cavidad, el volumen será de 25,000 m³ aproximadamente y una altura de 30 m. El techo de la cavidad es la parte mas expuesta a los esfuerzos de sobrecarga y por lo tanto su configuración debe ser la mas idónea para soportarlos. Mecánicamente se recomienda una forma cónica, con una longitud de 30 m, el cual será formado en el intervalo de 860-890 m, lo que permitirá soportar de manera conveniente los esfuerzos a que estará sometida la cavidad, el volumen será de 25,000 m³ aproximadamente y una altura de 30 m (860 - 890 m). Para desarrollar esta etapa, el sello del diesel se mantendrá a 875 m que es el nivel de la T. R de 11 3/4", y posteriormente se elevara cada cinco metros, para darle al techo la forma cónica con un ángulo de mas o menos 80° respecto al eje del pozo que le permita asegurar la estabilidad del mismo.

PROGRAMA DE LIXIVIACIÓN.

La disolución de las cavidades se llevara a cabo mediante lixiviación directa, con la cual se generara el receptáculo de insolubles, el cuerpo y el techo de la misma. Para tal fin se inyectara agua dulce por el interior de la tubería colgada de 7" y la salmuera generada por la disolución en el fondo del macizo salino, se recuperara por el espacio anular formado por las tuberías de 7" y 11 3/4". La lixiviación de las cavidades deberá ajustarse en lo posible a tres etapas principales como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 5.4.3 "Programa de lixiviación de las cavidades 402 y 403."

PARÁMETROS DE LIXIVIACIÓN	ETAPA		
	1°	2°	3A
ESPEJOR DE DISOLUCIÓN (m)	200	150	140
POSICIÓN DE LA T. R. DE 7" (m)	1,200	1,150	1,000
POSICIÓN DE LA T. R. DE 11 3/4" (m)	1,000	1,000	860
POSICIÓN DEL SELLO DE DIESEL (m)	1,000	1,000	860-890
VOLUMEN DE DIESEL (m ³)	100	125	120
GASTO DE LIXIVIACIÓN m ³ /hr	320	320	320
VOLUMEN A CREAR POR ETAPA (m ³)	150,000 *	140,000	240,000
VOLUMEN ACUMULADO (m ³)	115,000	255,000	495,000
PRESIÓN DE DIESEL (Kg/cm ²)	44	44	38

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	EVALUACIÓN TÉCNICA		
PRESIÓN SALMUERA RECUPERADA (Kg/cm ²)	3.0	3	3
PRESIÓN DE INYECCIÓN DE AGUA (Kg/cm ²)	45	44	39
PRESIÓN EN LA ZAPATA DE 13 ^{1/2} " (Kg/cm ²)	115	114	108
VOLUMEN DE AGUA INYECTADA (mm ³)	1,290	1,300	2,460
VOLUMEN DE SALMUERA PRODUCIDA (mm ³)	1,250	1,260	2,400
TIEMPO EFECTIVO DE DISOLUCIÓN	5.5	5	10
TIPO DE CIRCULACIÓN	DIRECTA	DIRECTA	DIRECTA
REGISTROS SONARES	2	2	2

La primera etapa de lixiviación contempla el desarrollo de la bolsa de insolubles (35,000 m³) y un volumen de 115,000 m³ para el cuerpo de la cavidad.

Tabla 5.4.4 "Fluidos manejados en la lixiviación de los pozos 402 y 403."

POZO TUZ	ETAPA	AGUA DULCE * (MM3)	SALMUERA DE DESECHO (M M3)	DIESEL DE SELLO (M3)
402	1*	1,290	1,250	100
	2*	1,300	1,260	125
	3*	2,470	2,400	120
	TOTAL	5,060	4,910	345
403	1*	1,290	1,250	100
	2*	1,300	1,260	125
	3*	2,470	2,400	120
	TOTAL	5,060	4,910	345

Incluye receptáculo de insolubles.

TUBERÍAS DE DISOLUCIÓN.

Se deberán utilizar aparajes de tuberías de 7" y 11 3/4" indicadas en el siguiente cuadro, las cuales cumplen con la norma API 5.

Tabla 5.4.5 "Especificación de las tuberías de lixiviación"

EXTERIOR (PG)	GRADO Y PESO (LB/PIE)	ROSCA	D.INT. (PG)	RUGOSIDAD (PG)	LONGITUD MÍNIMA (M)
7	C-75, 29	BUTTRESS	6 184	33 X 10"	1,200
11 7/8	K-55, 60	BUTTRESS	10 772	33 X 10"	1,000

Las caídas de presión no deberán ser mayores a 10 kg/cm²/km y las velocidades no deberán sobrepasar un valor límite de 15 pies/seg. marcadas por las compañías especialistas, sin embargo, será posible manejar flujos mayores siempre y cuando el diseño de las TR's de disolución y la presión máxima de la zapata lo permita (141 kg/cm²).

En las tablas 5.4.6 a 5.4.8 se presenta la hidráulica de lixiviación del pozo 402, donde se determinan los gastos máximos de lixiviación en función de la presión máxima de la zapata. Esta simulación es válida también para el pozo 403.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**TABLA 5.4.6. CAIDAS DE PRESIÓN ANULAR Y TUBING
POZO 402**
1A. ETAPA

	DIAMETRO EXT.		DIAMETRO INT.		ESESOR
DIAMETRO DE LA TUBERIA EXTERIOR	11.75	PULGADAS	10.772	PULGADAS	0.489 PULGA
DIAMETRO DE LA TUBERIA INTERIOR	7.00	PULGADAS	6.184	PULGADAS	0.408 PULGA

VELOCIDAD SALMUERA	1.68	CM/S	PROFUNDIDAD DE LA ZAPATA	832.04	M
DENSIDAD SALMUERA	1.16	GR/CM ³	DENSIDAD DE GASOLEO	0.845	GR/CM
VELOCIDAD AGUA	1.00	CM/S	PRESION ANULAR DE LA ZAPATA	141.4468	KG/CM ²
VELOCIDAD AGUA	1.00	GR/CM ³			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERIA EXTERIOR	1000	M			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERIA INTERIOR	1200	M			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERIA DE GASOLEO SALMUERA	1000	M			

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

RESULTADOS DE SIMULACION:

AÑO (AÑOS)	SALMUERA				AGUA				CAIDA DE PRESION EN TUBING KG/CM ²	CAPA ESTRATA KG/CM ²	PRESION SALMUERA KG/CM ²
	VELOCIDAD (PULG/S)	NO. REFINIZADOS	FACTORES DE FRICCION	CAIDA DE PRESION (KG/CM ²)	VELOCIDAD (PULG/S)	NO. REFINIZADOS	FACTORES DE FRICCION	CAIDA DE PRESION (KG/CM ²)			
400	10.7	216938	0.0056	14.8	18.8	897483	0.0042	21.6	36.4	19.2	3
375	10.1	203379	0.0056	13.1	17.6	841578	0.0042	19.0	32.1	19.2	3
350	9.4	189821	0.0056	11.4	16.5	785473	0.0042	16.6	28.1	19.2	3
325	8.6	173550	0.0056	9.6	15.0	718146	0.0042	13.9	23.4	19.2	3
300	8.0	162724	0.0056	8.5	14.1	670262	0.0042	11.9	20.5	19.2	3
275	7.4	149145	0.0057	7.2	12.9	617157	0.0043	10.4	17.5	19.2	3
250	6.7	135926	0.0057	6.0	11.8	561052	0.0043	8.6	14.2	19.2	3
225	6.0	122028	0.0057	4.9	10.6	504947	0.0043	7.0	11.9	19.2	3
200	5.4	108469	0.0058	3.9	9.4	448842	0.0043	5.6	9.5	19.2	3
175	4.7	94910	0.0059	3.0	8.2	392736	0.0044	4.3	7.3	19.2	3

TABLA 5.4.7. CAIDAS DE PRESION ANULAR Y TUBING
POZO 402
2A. ETAPA

	DIAMETRO INT.		DIAMETRO INT.		ESPESOR
DIAMETRO DE LA RUBERA EXTERIOR	11.75	PULGADAS	10.772	PULGADAS	0.489 PULGADAS
DIAMETRO DE LA RUBERA INTERIOR	7.00	PULGADAS	6.184	PULGADAS	0.408 PULGADAS

VISCOSIDAD SALMUERA	1.68	CPG	PROFUNDIDAD DE LA ZAPATA	852.04	M
DENSIDAD SALMUERA	1.16	GR/CM ³	DENSIDAD DEL GAS/OLEO	0.845	GR/CM ³
VISCOSIDAD AGUA	1.00	CPG	PRESION MAXIMA DE LA ZAPATA	141.4458	KG/CM ²
DENSIDAD AGUA	1.00	GR/CM ³			
PROFUNDIDAD DE LA RUBERA EXTERIOR	1000	M			
PROFUNDIDAD DE LA RUBERA INTERIOR	1150	M			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERIA A GAS/OLEO SALMUERA	1000	M			

RESULTADOS DESIMULACION:

SALMUERA					AGUA				CAIDA DE PRESION EN TUBING KG/CM ²	CAIDA ESTÁTICA KG/CM ²	PRESION SALIDA SALMUERA KG/CM ²
CAUDAL (M ³ /HR)	VELOCIDAD (M/HR)	NÚMERO DE PERFORACIONES	PERDIDA POR FROTEO KG/CM ²	CAIDA DE PRESION KG/CM ²	VELOCIDAD (M/HR)	NÚMERO DE PERFORACIONES	CAIDA DE PRESION KG/CM ²				
400	10.7	216798	0.0056	14.8	18.8	897483	0.0042	20.7	35.5	18.4	3
375	10.1	203379	0.0056	13.1	17.6	841578	0.0042	18.2	31.3	18.4	3
350	9.4	189421	0.0056	11.4	16.5	785473	0.0042	15.9	27.4	18.4	3
325	8.7	175502	0.0056	9.6	15.4	729368	0.0042	13.6	23.7	18.4	3
300	8.0	161544	0.0056	7.8	14.3	673263	0.0042	11.3	20.0	18.4	3
275	7.4	147585	0.0056	6.2	13.2	617158	0.0042	9.0	16.3	18.4	3
250	6.7	133627	0.0056	4.7	12.1	561053	0.0042	6.7	12.6	18.4	3
225	6.0	120208	0.0057	4.9	10.6	504947	0.0043	6.7	11.6	18.4	3
200	5.4	106469	0.0058	3.9	9.4	448842	0.0043	5.4	9.2	18.4	3
175	4.7	94910	0.0059	3.0	8.2	392736	0.0044	4.1	7.1	18.4	3

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

EVALUACIÓN TÉCNICA
TABLA 5.4.8. CAIDAS DE PRESION ANULAR Y TUBINGPOZO 402
3A. ETAPA

	DIAMETRO EX		DIAMETRO INT		ESPESOR
DIAMETRO DE LA TUBERIA EXTERIOR	11.75	PULGADAS	10.772	PULGADAS	0.489 PULGADAS
DIAMETRO DE LA TUBERIA INTERIOR	7.00	PULGADAS	6.154	PULGADAS	0.408 PULGADAS

ANCHO DE SALMUERA	1.98	CM	PROFUNDIDAD DE LA ZAPATA	822.04	M
DENSIDAD SALMUERA	1.16	GR/CM3	DENSIDAD DE GASOLEO	0.845	GR/CM3
ANCHO DE CIGARRA	1.00	CM	PRESION MAXIMA DE LA ZAPATA	141.4168	KG/CM2
ANCHO DE ALATA	1.00	CM			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERIA EXTERIOR	9.75	M			
PROFUNDIDAD DE LA TUBERIA INTERIOR	13.00	M			
PROFUNDIDAD DE LA INTERSECCION DE GASOLEO SALMUERA	8.60	M			

RESULTADOS DE SIMULACION:

SALMUERA					GAS				CAIDA DE PRESION EN TUBER KG/CM2	CARGA ESTÁTICA KG/CM2	PRESION SALIDA SALMUERA KG/CM2
GARGA M3/HR	VELOCIDAD FT/SEG	NO. PERFORACIONES	FACTOR DE PRODUCCION	CAIDA DE PRESION KG/CM2	VELOCIDAD FT/SEG	NO. PERFORACIONES	FACTOR DE PRODUCCION	CAIDA DE PRESION KG/CM2			
400	10.7	21636	0.0024	13.0	15.8	897683	0.0042	18.0	31.0	16	3
475	10.7	203379	0.0024	11.4	17.5	841578	0.0042	15.9	27.3	16	3
330	9.4	89827	0.0024	10.0	16.5	785475	0.0042	13.9	23.7	16	3
225	4.0	122028	0.0027	4.2	10.6	504747	0.0043	5.8	10.1	16	3
200	3.4	106449	0.0028	3.4	9.4	446542	0.0043	4.7	8.0	16	3
175	4.7	94910	0.0029	2.5	8.2	392736	0.0044	3.5	6.2	16	3

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.4.3 PRUEBAS A POZOS Y CAVIDADES, PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD.

Al final de la lixiviación, se deberá realizar una prueba de estanqueidad con un gradiente de presión de $.0187 \text{ kg/cm}^2$ por metro de profundidad, referida a la zapata de la tubería de 13 3/8". El objetivo de esta prueba será el de verificar la estanqueidad de la zapata de la última tubería cementada, luego de la fase de lixiviación y eventualmente conocer el comportamiento geomecánico de la cavidad (determinación de la fluencia).

EL PROCEDIMIENTO SERÁ EL SIGUIENTE:

- 1.- Mediante registro de calibración medir el diámetro del cuello (entre el techo de la cavidad y la zapata de la tubería de 13 3/8").
- 2.- Bajar la tubería de explotación a 10-20 m abajo de la zapata cementada.
- 3.- Colocar el sello del diesel en el espacio anular, hasta 10 m abajo de la zapata estableciendo la curva de relación entre el volumen inyectado y la profundidad de la interfase.
- 4.- Represionar la cavidad a la presión de prueba mediante la inyección de salmuera saturada.
- 5.- Reajustar el nivel de la interfase diesel-salmuera a 10 m debajo de la zapata de la tubería de 13 3/8".
- 6.- Efectuar un registro de temperatura de la superficie al fondo de la cavidad.
- 7.- Medición de la interfase diesel-salmuera al final de la inyección y durante la prueba a través de un lubricador con registro TDT con CCL.
- 8.- Mantener la presión de prueba en la cavidad por inyección o purga diaria de salmuera por la tubería de explotación hasta la estabilización del volumen, para mantener la presión de prueba.
- 9.- Después de 4 días de observación, medir la interfase diesel-salmuera con el procedimiento descrito.
- 10.- La prueba se da por terminada una vez que se mantenga estable la presión en un periodo máximo de 15 días y la inyección de salmuera para restituirla sea mínima.
- 11.- Descarga de la cavidad por purga de salmuera

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

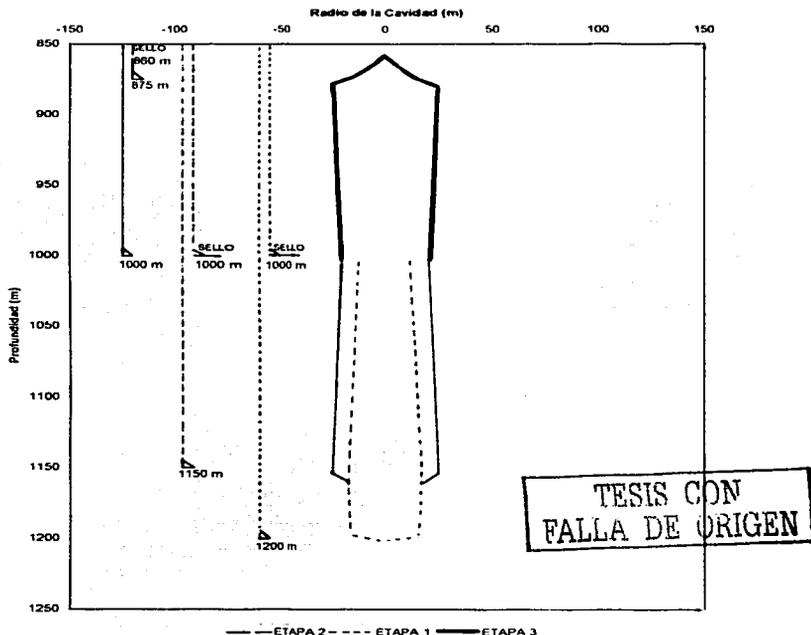


Fig. 5.4.1 "Programa esquemático de lixiviación de los pozos 400"

5.4.4. CONDICIONES DE OPERACIÓN.

El agua de río de la bocatorna se bombea a una presión de 7.7 kg/cm^2 y un flujo de $600 \text{ m}^3/\text{hr}$ (90.0 MBPD), por el acueducto de $16''$ diámetro nominal (DN), por 4.5 km de longitud y llega a la presa de agua dulce FE-105 A 1 kg/cm^2 . El agua de río se envía a una bomba nueva GA-102, descargando a una presión de 45.4 kg/cm^2 , para inyectarse a la cavidad 402 y 403 a una presión

de 41.7 kg/cm² y un flujo de 300 m³/hr (45.0 MBPD) por cavidad, para generar y desplazar la salmuera de lixiviación a la superficie a una presión de 2.0 kg/cm², para recolectarla normalmente en presa de desecho de salmuera FE-102, para su posterior envío al golfo de México; en caso de necesitar la salmuera de lixiviación para el vaciado de crudo de las cavidades con serie 300's, será necesario que la salmuera de lixiviación se envíe a la presa de almacenamiento de salmuera saturada FE-103. Posteriormente la salmuera de lixiviación se bombeará con las GA-202 A/1, descargando a una presión de 19.0 kg/cm² e inyectarse a dos cavidades a una presión de 18.5 kg/cm² y con un flujo de 463 m³/hr (70.0 MBPD), el crudo se desplaza a la superficie a una presión de 32.0 kg/cm². En el esquema de flujo "alternativa 4", se indica la secuencia de la operación de la inyección de salmuera de lixiviación y el desplazamiento de crudo de las cavidades con serie 300's.

5.4.5 EQUIPO SUPERFICIAL.

TESIS CON
FALTA DE ALIEN

Las características de diseño de los principales equipos e instrumentos que se necesitan para la operación de la opción, se listan en la siguiente relación:

Tabla 5.4.9. "Relación del equipo e instrumentos opción IV"

CONCEPTO	INSTRUMENTACIÓN	SERVICIO	DIÁMETRO (PULG)	PUESTO U ORIFICIO (PULG)	TIPO CARACTERÍSTICA
REHABILITAR	FR-101 A	PLACA DE ORIFICIO	18"		
REHABILITAR	PCV-100	VALVULA FLUJO MINIMO BOCATOMA	8"	GLOBO	AUTORREGULABLE
REHABILITAR	PSV-100	VALVULA SEGURIDAD	4" X 6"	P	RESORTE
REHABILITAR	LIC-201	CONTROL DE NIVEL	8"		GLOBO
NUEVO	FIC-201	VALVULA FLUJO MINIMO GA-102/R	3"	GLOBO	600 # ANSI
NUEVO	PSV-101	VALVULA SEGURIDAD DE	4"X6"	L	RESORTE
NUEVO	FIC-402/403	CONTROL FLUJO AGUA	6"	GLOBO	600 / 300 # ANSI
NUEVO	FR-402/403	MEDIDOR DE FLUJO	8"	MAGNETICO	600/ 300 # ANSI
NUEVO	MOV-402, 403, 405, 406	MOTORIZADA AGUA Y SALMUERA	10"	BOLA	600 # ANSI
NUEVO	TAHLERO CONTROL	DE BOMBAS GA-101	ARRANQUE	PARO	LOCAL

	BOMBAS	SERVICIO	CAPACIDAD (GPM)	PRESIÓN DE DESCARGA (KG/CM ²)	POTENCIA HIDRÁULICA (WHP)
REHABILITAR	GA-101 A/B/C	AGUA DE RIO	1500	7.7	96
NUEVO	GA-104 A/B	INHIBIDOR OXIGENO DE	0.122	2.33	0.0023
NUEVO	GA-121/R	HIPOCLORITO DE	0.056	2.25	0.003

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

EVALUACIÓN TÉCNICA

		SODIO			
NUEVO	GA-102/R	INYECCIÓN DE AGUA A POZO 402 Y 403	2641 K	44 86	984
NUEVO	GA-123	LLENADO DE DIESEL	110	38	35
NUEVO	GA-108	DIESEL DE SELLO	16.0	49.3	6.54
NUEVO	GA-109	DIESEL RECUPERADO	80.0	3.24	2.6

	FILTROS			GRADO DE FILTRACIÓN (MICRAS)	TIPO
REHABILITAR	FD-101/R	AGUA DE RÍO	2642	500	VERTICAL

	TANQUE ATMOSFÉRICO		DIÁMETRO (M)	T-T (M)	
REHABILITAR	FB-107	HIPOCLORITO DE SODIO	1.98	2.5	VERTICAL
REHABILITAR	FB-101	INHIBIDOR OXIGENO	3.7	4.57	VERTICAL
REHABILITAR	FA-402/403	AIRE INSTRUMENTOS Y PLANTA	1.2	3.6	VERTICAL
	EQUIPO PAQUETE		CAPACIDAD (PCSM)	PRESIÓN DE DESCARGA (KG/CM2)	
NUEVO	PA-101/102	COMPRESOR AIRE INSTRUMENTOS Y PLANTA	75	7.0	NO LUBRICADO
		SECADORA AIRE DE INSTRUMENTOS	50	7.0	
	FOSSAS O PRESAS				
REHABILITAR	FE-101	CARCAMO DE AGUA DE RÍO	1080		CARCAMO
REHABILITAR	FE-105	FOSA DE AGUA TRATADA	LARGO 40 M	ANCHO 30 M	ALTURA 3.5 M
REHABILITAR	FE-106	FOSA API	LARGO 15.0 M	ANCHO 5.0 M	ALTURA 2.0 M

En esta opción la adquisición del equipo de bombeo de inyección de agua, llenado de diesel y diesel de sello son las actividades críticas, debido a que el tiempo de adquisición es largo.

Esta opción asegura reducir el incremento de volumen de las cavidades de Tuzandepell, por la inyección de salmuera de lixiviación durante la operación de vaciado de crudo de la cavidad. Creo que con esta nueva filosofía se deben de diseñar las futuras cavidades de almacenamiento de hidrocarburos, para no desechar completamente la salmuera de lixiviación y poder explotar las cavidades, evitando tener grandes almacenamientos superficiales de salmuera saturada en la superficie, ya que son altamente caros por las grandes extensiones de terreno requeridos y por que los vasos naturales se encuentran alejados de las instalaciones de almacenamiento, incrementándose los costos de operación y mantenimiento, en el equipo de bombeo de inyección

de salmuera y los ductos de transporte de salmuera desde la cavidad a la presa de almacenamiento.

La limitante principal posiblemente sea que la opción se tenga que implementar a mediano plazo, por la gran cantidad de infraestructura que se tiene que rehabilitar y / o adquirir, de tal forma que se necesita realizar una gran inversión económica para su aplicación.

5.4.6. REQUERIMIENTOS DE EQUIPO MECÁNICO.

ACTIVIDAD 1.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.

A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Tres (3) equipos de bombeo centrífugo vertical tipo turbina autolubricada, claves GA 101 AB/C para el servicio de suministro de agua cruda, capacidad de 1500 gpm y 254 pies, para manejar agua cruda a una capacidad normal de 1458 gpm y una carga diferencial total de 254 pies, potencia al freno de 113 BHP.

B).- Suministro de refacciones para la bomba.

C).- Rehabilitación de la bomba.

D).- Rehabilitación del motor eléctrico.

E).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 2.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas reciprocantes de émbolo, clave GA - 104A/B, para el servicio de dosificación de inhibidor de oxígeno, capacidad máx./min.nor.: 0.113/0.0756/0.0945 gpm, presión de descarga 2.65 kg/cm², densidad relativa de 1.296, potencia hidráulica de 0.00248 HP, NPSH. 8.13 metros, conexiones roscadas clase 150# npt., medidor de flujo del tipo columna para calibración de dosificación con perilla micrométrica.

ACTIVIDAD 3.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas reciprocantes de embolo tipo diafragma, clave GA - 121/R, para el servicio de hipoclorito de sodio, capacidad max./nor.: 0.066/0.056 gpm, presión de descarga 2.25 kg/cm², válvula de doble bola check en la succión y en la descarga, conexiones roscadas clase 150# npt., medidor de flujo del tipo columna para calibración de dosificación con perilla micrométrica.

ACTIVIDAD 4.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 102 / R, para el servicio de inyección de agua a domos, para una capacidad normal / nominal 2642 / 2818 gpm, presión de succión máxima / diseño de 1.08 psig, presión de descarga de 639.18 psig, carga diferencial total de

1473.4 pies, densidad relativa de 1.0, potencia hidráulica de 1049 HP, NPSH disponible de 34.9 pies.

ACTIVIDAD 5.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Una (1) bomba centrífuga horizontal, clave GA - 123 para el servicio de llenado de diesel de sello, para una capacidad normal / diseño de 110.8 gpm, presión de succión máxima de 0.17 psig, presión de descarga de 641.8 psig, carga diferencial total de 1739.38 pies, densidad relativa de 0.852, potencia hidráulica de 41.2 HP, NPSH disponible de 40.30 pies.

ACTIVIDAD 6.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Una (1) bomba recíprocante de embolo clave GA - 108, para el servicio de alimentación de diesel de sello, capacidad máxima / normal 15.98 / 15.98 gpm, presión de succión máxima / normal de 0.11 psig, presión de descarga máxima / normal 701.2 psig, presión diferencial de 701 psig, densidad relativa 0.852 a 26 °C.

ACTIVIDAD 7.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Una (1) bomba centrífuga horizontal, clave GA - 109, para el servicio de diesel recuperado, para una capacidad normal / nominal 80.0 / 88.0 gpm, presión de succión atmosférica, presión de descarga de 46 psig, carga diferencial total de 125 pies, gravedad específica 0.85, viscosidad 4.25 cp, temperatura de bombeo 75°F, potencia hidráulica de 2.36 HP.

ACTIVIDAD 8.-SUBSTITUCIÓN DE EQUIPO

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Paquete de compresión y secado de aire de planta e instrumentos, clave PA 101 / 102, integrado con los siguientes equipos:

Dos (2) compresores recíprocanes de pistones no lubricados, con una capacidad mínima / normal / máxima de 33/50/75 SCFM a una presión de descarga de 139.7 psia, dos etapas de compresión, tipo industrial, alimentación eléctrica a 220-440 volts, 3 fases, 60 hertz, transmisión por poleas y bandas, guardas, filtro de aire tipo seco, interenfriador y postenfriador.

Una (1) secadora de aire tipo regenerativa "heatless" de doble torre de secado, con alumina como desecante, de operación automática para entregar una capacidad de 50 SCFM y entrega de aire seco a una presión de 134.7 psia mínimo, equipada con prefiltro y postfiltro.

Dos (2) recipientes acumuladores de aire tipo vertical, clave FA - 402 / 403, capacidad de 50 SCFM y tiempo de residencia de 5 minutos cada uno.

ACTIVIDAD 9.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.**A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.**

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 103 A/B, para el servicio de salmuera de desecho, marca BINGHAM, modelo MSD, para una capacidad normal / nominal 2916/3000 gpm, carga diferencial total de 907.2 pies, potencia hidráulica de 827 HP. La bomba esta accionada por un motor eléctrico de inducción, marca hitachi-megatek tipo tfla-kk, potencia nominal de 2000 HP, 3570 rpm, 4160 v / 3 fases / 60 hertz, aislamiento nema F. 1.

B).- Suministro de refacciones para la bomba.

C).- Rehabilitación de la bomba.

D).- Rehabilitación de la base común de la bomba y el accionador.

E).- Rehabilitación del motor eléctrico.

F).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 10.- REHABILITACIÓN DE EQUIPO.**A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.**

Dos (2) bombas centrífugas horizontales, clave GA - 116 A/B, para el servicio de carga de salmuera de desecho, marca BINGHAM, modelo CAP, tamaño 10x12x21, para una capacidad nominal de 3000 gpm, carga 137.8 pies. Accionada por motor eléctrico de inducción, TEFC, de 200 HP de potencia, velocidad de 1160 rpm, 4160 volts, 3 fases, 60 hertz, rodamientos lubricados por grasa y base común estructural.

B).- Suministro de refacciones para la bomba.

C).- Rehabilitación de la bomba.

D).- Rehabilitación de la base común de la bomba y el accionador.

E).- Rehabilitación del motor eléctrico.

F).- Prueba de operación del equipo con carga.

ACTIVIDAD 11.-ADQUISICIÓN DE EQUIPO NUEVO.**A).- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.**

Dos (2) bombas centrífugas horizontales clave GA - 118 / R , para el servicio de salmuera de desecho, para una capacidad normal / nominal 2818 / 2916.7 gpm, presión de succión atmosférica , presión de descarga de 398 psig, carga diferencial total de 792.7 pies, densidad relativa de la salmuera 1.16, potencia hidráulica de 677 HP, NPSH disponible de 19 pies.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4.7. REQUERIMIENTOS DE TUBERÍAS.

Para lo anterior se requiere considerar la siguiente lista de materiales:

Tabla 5.4.10 "Materiales de tuberías"

CONCEPTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
BRIDA	10" x 8" ASTM A-105, 150# R.F. O INT. P/CED IGUAL AL TUBO	15 PIEZAS
REDUCCIÓN CONCÉNTRICA	ASTM A-105, 150# R.F. O INT. P/CED IGUAL AL TUBO	3 PIEZA
VÁLVULA DE RETENCIÓN 8"	ASTM A 216, Gr. WCB, DISCO DE BRONCE, ALUMINIO, PERNO, RESORTE, PASADOR, Y RETENES DE AC. AL CARBÓN, TIPO ORLEA (ENTRE BRIDAS R.F.) INOXIDABLE 316, DISCO BIPARTITO SELLO DE BUNA N	3 PIEZA
VÁLVULA DE COMPUERTA 8"	ASTM A 216, Gr. WCB o MONEL, TORNILLO EXTERIOR Y YUGO BONETE ATORNILLADO, DISCO DE BUNA SOLIDA o FLEXIBLE Y ASIENTOS RELAMBIABLES	3 PIEZA
CODO 45°	ASTM A 234, Gr. WPB, CEDULA IGUAL A LA TUBERÍA	3 PIEZA
EMPAQUES	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/8" ESPESOR	15 PIEZA
ESPÁRRAGOS	ASTM A-193, Gr. B-7, 3/4" x 4 1/2", 8", CLASE 150 R.F.	24 PIEZAS
		NOTA. CON TUERCAS HEXAGONALES ASTM A-194, Gr. 2H, DOS P/C ESPÁRRAGO Y SU DIÁMETRO
TUBO	ASTM A-106, Gr. B, CEDULA 40	7.5 mts
NIPOLET P/ INSTRUMENTOS	ASTM A-105	3 PIEZA
THREADOLET	ASTM A-105, 2" x 8"	3 PIEZA
BRIDA 2" DIÁMETRO	ASTM A-105, 150#	6 PIEZAS
VÁLVULA DE COMPUERTA 2"	ASTM A 216, Gr. WCB, INTERIORES BRONCE, ALUMINIO o MONEL, TORNILLO EXTERIOR Y YUGO BONETE ATORNILLADO (2")	3 PIEZA
EMPAQUE 2"	ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/16" ESPESOR	6 PIEZAS
CODO 90° 2"	ASTM A-234, Gr. WP, SIN COSTURA, CEDULA IGUAL AL TUBO	6 PIEZAS
TUBO 2"	ASTM A-53, Gr. B, TIPO S, GALVANIZADO	16.5 mts
ESPÁRRAGOS 2"	ASTM A-193, Gr. B-7, 5/8" x 3 1/2", 2", CLASE 150 R.F.	24 PIEZAS
TUERCAS 2"	HEXAGONALES ASTM A-194, Gr. 2H	24 PIEZAS

Tabla 5.4.1 "Material para bombas ga-102 a/b"

CONCEPTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
TUBO	14" Ø. ASTM. A-106. Gr 40. EXTREMOS BISELADOS 600# R.F INT P/CED IGUAL AL TUBO	22 mtts
VÁLVULA COMPUERTA	14" Ø. ASTM A216. Gr WCB (VOCANTE FIJO)	2 PIEZAS
VÁLVULA RETENCIÓN	14" Ø. ASTM A216. Gr WCB. INT AC INOX X 12 Cr	2 PIEZAS
NIPOLETS	3/2" Ø. ASTM A105. 6000#	6 PIEZAS
BRIDAS W.N	14" Ø. ASTM A105. 600#. R.F. DIAMETRO IGUAL A LA DEL TUBO	4 PIEZAS
BRIDAS W.N	10" Ø. ASTM A105. 600#. R.F. DIAMETRO IGUAL A LA DEL TUBO	2 PIEZAS
REDUCCIÓN CONCÉNTRICA	14" x 10". ASTM A234. Gr. WPW. S.COST. DIAMETRO IGUAL AL TUBO	2 PIEZAS
CODO 90°	14" Ø. ASTM A234. 600#. SOLD A TOPE. Gr WPB	2 PIEZAS
CODO 45°	ASTM A 234. 600#. Gr. WPB. SOLD. A TOPE	2 PIEZAS
EMPAQUE	14" Ø. ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/8" ESPESOR	6 PIEZAS
EMPAQUE	10" Ø. ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/8" ESPESOR	2 PIEZAS
ESPÁRRAGOS	ASTM A-193. 1 3/8" x 9 1/2". Gr. B-7. CLASE 600#	60 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES. 14" Ø. ASTM A-194. Gr 2H	120 PIEZAS
ESPÁRRAGOS	ASTM A-193. Gr B7.1 1/4" x 8/36". Gr B-7.	60 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES. 10" Ø. ASTM A-144. Gr 2H	32 PIEZAS
CONCEPTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
TUBO	16" Ø. ASTM. A-106. Gr 40. EXTREMOS BISELADOS 150 # R.F INT P/CED IGUAL AL TUBO	22 mtts
VÁLVULA COMPUERTA	16" Ø. ASTM A216. Gr WCB (VOCANTE FIJO)	2 PIEZAS
VÁLVULA RETENCIÓN	16" Ø. ASTM A216. Gr WCB. INT AC INOX X 12 Cr	2 PIEZAS
NIPOLETS	3/2" Ø. ASTM A105. 600#	6 PIEZAS
BRIDAS W.N	16" Ø. ASTM A105. 600#. R.F. DIAMETRO IGUAL A LA DEL TUBO	4 PIEZAS
BRIDAS W.N	10" Ø. ASTM A105. 600#. R.F. DIAMETRO IGUAL A LA DEL TUBO	2 PIEZAS
REDUCCIÓN CONCÉNTRICA	16" x 10". ASTM A234. Gr. WPW. S.COST. DIAMETRO IGUAL AL TUBO	2 PIEZAS
CODO 90°	16" Ø. ASTM A234. 600#. SOLD A TOPE. Gr WPB	2 PIEZAS
CODO 45°	ASTM A 234. 600#. Gr. WPB. SOLD. A TOPE	2 PIEZAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EMPAQUE	16" Ø. ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/8" ESPESOR	6 PIEZAS
EMPAQUE	10" Ø. ASBESTO COMPRIMIDO DE 1/8" ESPESOR	2 PIEZAS
ESPARRAGOS	ASTM A-193, 1 3/8" x 9 1/2", Gr. B-7, CLASE 6000	60 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES, 1 1/2" Ø, ASTM A-194, Gr. 2H	120 PIEZAS
ESPARRAGOS	ASTM A-193, Gr. B7, 1 1/4" x 8 3/8", Gr. B-7,	60 PIEZAS
TUERCAS	HEXAGONALES, 1 1/2" Ø, ASTM A-194, Gr. 2H	32 PIEZAS

Tabla 5.4.12. "Comparación de las cuatro opciones técnicas"

OPCIONES	OPCIÓN I "Salmuera de CYDSA con infraestructura de CYDSA"	OPCIÓN II "Salmuera de CYDSA con infraestructura de PEP"	OPCIÓN III "Desplazamiento de crudo con agua dulce en cavidades Tuz-300"	OPCIÓN IV "Generación de salmuera por lixiviación de los pozos Tuz-400"
Ventajas	Uso de la cavidad 203 de manera inmediata	La infraestructura sera de PEP	Cumple con los requerimientos de PEP	Aprovecha la infraestructura anterior
	Integración de otra cavidad si es necesario	Flujo máximo de 38,000 BPD	La infraestructura sera de PEP	Cumple con los requerimientos de PEP
	La infraestructura corre por cuenta de la compañía CYDSA			La infraestructura sera de PEP
Desventajas	Flujo máximo de 22,000 BPD	Disponibilidad de 1,000,000 en 1 mes	El salmuero ducto ya las bombas es el punto débil por los tiempos de entrega	El salmuero ducto ya las bombas es el punto débil por los tiempos de entrega
	Disponibilidad de 1,000,000 en 1.5 meses	Disponibilidad de 3,700,000 BIs, en		

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

EVALUACIÓN
ECONÓMICA DE LAS
ALTERNATIVAS
TÉCNICAS DE
OBTENCIÓN DE
SALMUERA PARA EL
ALMACENAMIENTO DE
CRUDO EN DOMOS
SALINOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.-EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE SALMUERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CRUDO EN DOMOS SALINOS.

6.1 METODOS DE ESTIMACIÓN.

La estimación de los costos de un proyecto en cada una de las etapas del proceso de la construcción es de gran importancia para un buen control administrativo, las estimaciones exactas y pertinentes reducen el desperdicio administrativo proporcionando una revisión constante de la viabilidad económica de un proyecto

Los métodos de estimación varían dependiendo del grado de exactitud que se espera y de la etapa del desarrollo de la documentación a partir de la cual se prepara la estimación. Los métodos que se emplean se rigen de acuerdo al propósito, la etapa del diseño o construcción en la cual se produce el mismo y a quién se le dará el costo evaluado.

Los propósitos de las estimaciones se clasifican en general en tres formas:

- 1.- Estimaciones utilizadas para la planeación y pronóstico con el objeto de que ayuden en las evaluaciones económicas y financieras de la inversión
- 2.- Estimaciones de control que se hacen durante el diseño para asegurarse de que las evaluaciones económicas siguen siendo válidas conforme progresa el diseño.
- 3.- Estimaciones de la propuesta, que refleja el costo que tiene para un constructor realizar el diseño terminado, permitiéndole de esta manera preparar una oferta para su presentación al cliente.

Para satisfacer las necesidades de las clasificaciones anteriores hay cuatro tipos de estimaciones y son las siguientes.

- 1.- Estimaciones de planeación, que se utilizan en la primera clasificación.
- 2.- Estimaciones preliminares de ingeniería, que se usan en la segunda clasificación.
- 3.- Estimaciones detalladas de ingeniería, usadas en la segunda clasificación.
- 4.- Estimaciones en la fase de construcción, que se emplean en la tercera clasificación.

6.1.1 FACTORES QUE AFECTAN LA ESTIMACIÓN ECONÓMICA.

Cada una de las estimaciones se produce en una etapa diferente del desarrollo de proyecto. Debe prepararse una estimación para cada fase del desarrollo, conforme se tenga información más

definitiva sobre los detalles del proyecto las estimaciones anteriores se hacen cada vez menos válidas y es necesario hacer una nueva estimación basándose en información más confiable.

La exactitud de cada estimación varía con el grado de información que se tenga disponible sobre el proyecto a partir de la cual se produzca. Según se desarrolla el diseño, cada fase y especificaciones se vuelven más claras, se nota más detalles y progresivamente las estimaciones es más confiable.

Durante estas primeras etapas del diseño hay mucha incertidumbre, misma que debe ser compensada por una suma o una cantidad apropiada para contingencias con el objeto de cubrir conceptos que aun no están definidos. Conforme el diseño progresa y se especifican las áreas indefinidas se reduce esta reserva para contingencias y la estimación se detalla progresivamente.

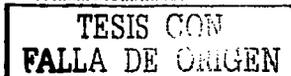
Para cada estimación, los detalles a los que se fijara el precio habrán de dividirse en los componentes más pequeños posibles para evaluar y documentar en un marco de trabajo lógico. Este marco de trabajo que va desde la definición del alcance del proyecto hasta descripciones de los componentes del diseño totalmente detallados, recibe un precio partiendo de los costos reales pertinentes y actuales analizados de una obra realizada con anterioridad de una naturaleza semejante.

En una etapa temprana de la concepción del proyecto se requiere planear la estimación para ayudar a determinar la factibilidad del proyecto y el desarrollo de las decisiones sobre política, por tanto esta es probablemente la fase más importante de la estimación pero, paradójicamente es la fase donde menos información se tiene disponible. Los detalles utilizados para planear las estimaciones se extraen en general de esbozos o definiciones de alcance, que en esencia, son registros documentados de la cohesión de ideas del propietario y el diseñador no proyectista. Esta documentación constituye un detalle de diseño poco tangible, pero puede representar los únicos datos cuantitativos a partir de los cuales se establece la estimación inicial.

Habrà de identificarse el espacio y / o capacidades de planta dentro del resumen del alcance y la planeación de lo estimado se prepara sobre la base de una definición cuantitativa de un solo parámetro.

La ingeniería conceptual tiene lugar después de que se han tomado las decisiones básicas de diseño y se han definido extensamente los sistemas constituyentes que formaran la instalación. La ingeniería conceptual es el ejercicio de unir a los sistemas y asignaciones de espacio de una manera funcional para formar el esquema completo de las cosas. Se producen dibujos esquemáticos y se esbozan especificaciones a partir de las cuales se cuantifican y calculan estimaciones de la segunda etapa.

En la parte detallada de ingeniería los diseños esquemáticos o conceptuales se consolidan y se realizan diseños y especificaciones detalladas. Se establecen los sistemas y subsistemas de ingeniería de un proyecto y se identifican las partes componentes. Si el diseño de un componente esta bien definido y especificado razonablemente, representa un conjunto de artículos o conceptos que pueden comprarse e instalarse y permite la producción de una estimación detallada de los costos de ingeniería, a la cual se añade la utilidad anticipada del constructor. Esta estimación del



diseño final representa la suma probable que presentara el concursante con la cotización más baja posible para las instalaciones documentadas.

De ordinario una fase de la estimación de construcción, realizada por un contratista que concursa para el trabajo proyectado u obra proyectada, es la estimación final de un proyecto antes de comenzar el trabajo. En esta etapa resulta importante tener en mente no solo lo que se ha hecho sino también como se va hacer el trabajo para satisfacer todos los requisitos de los documentos contractuales así como la lógica dictada por la complejidad del proyecto. Habrá de formularse una estrategia detallada de operación a partir de la cual se produzca una estimación basada en los recursos. Se añade la utilidad y los gastos generales y todo lo anterior constituirá la oferta que se presentara.

Las fases de estimación que se mencionaron anteriormente muestran el proceso del mismo a través de proceso de construcción cuando el método tradicional de conseguir la obra resulta en un contrato a precio alzado. El concepto de los procedimientos de estimación anteriores varia bajo diferentes condiciones de adquisición del contrato de construcción que se establecen en los contratos de costo más honorarios fijos, costo aprecio alzado, aprecio unitario o administración del proyecto. Bajo estas últimas condiciones habrán de considerarse refinamientos adicionales, que modifican, amplían o ajustan una estimación de construcción.

6.2 INDICES DE COSTOS

Los índices de los precios son útiles para muchas cosas. Los economistas necesitan deflacionar los costos para expresarlos en dinero de poder adquisitivo constante y los ingenieros los necesitan para adaptar los datos de los costos históricos y geográficos a un lugar y tiempo específicos. Si bien el tema de los índices de costos es muy complejo, los índices de precios se dividen básicamente en dos clases:

- 1.- Índices de precios de insumos, que miden los cambios de precio que tienen lugar en los insumos de la construcción, tales como tasas de salarios, precios del material o costos de equipos.
- 2.- índices de producción, que miden los cambios de precios en los niveles de producción o in situ, tales como, el costo por kilo watt-hora por planta de energía o el costo del acero estructural por tonelada que paga el consumidos de la construcción.

La revista Engineering News Record actualiza los índices de costos de la construcción en sus números de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre. El oli Gas Journal presenta el indice Nelson para refinerías en el primer número de cada trimestre. El indice de costos de plantas Chemical Engineering y el indice Marshall y Swift de costos de equipo aparecen en cada número de la revista Chemical Engineering.

6.3 TIPOS DE ESTIMACIONES

6.3.1 ESTIMACIÓN DURANTE LA PLANEACIÓN.

En la fase de planeación del proceso de diseño hay poco material cuantitativo tangible para crear una estimación. De ordinario solo se tiene algo más que un breve diseño con los requerimientos

de espacio o capacidad. Por consiguiente la planeación de las estimaciones normalmente se basa en costos de un solo parámetro.

Estos costos de un solo parámetro se establecen a partir de los datos sobre los costos históricos de proyectos anteriores de naturaleza semejante analizados cuidadosamente para llegar a un costo base de la instalación. Este costo base de la instalación de un solo parámetro es el que forma el fundamento de la planeación de la estimación. Los componentes hechos a medida y las especialidades para los proyectos individuales deben excluirse de un análisis base de la instalación. Es importante utilizar los costos históricos de proyectos equivalentes recientes, en vez de basarse en su totalidad en los costos promedio publicados. Sin embargo, estos últimos se pueden utilizar para verificar o complementar los datos analizados.

6.3.1.1 MÉTODO.

Se establece un costo base de instalación de un solo parámetro o bien de un proyecto anterior o preferiblemente de varios proyectos semejantes que hayan sido ponderados y promediados adecuadamente para que correspondan a la naturaleza de la instalación actual. Este costo base de instalación se ajusta de manera que abarque diferencia en el tiempo y ubicación geográfica, se hacen los ajustes por referencia a los índices de costos publicados. Todos los datos del costo histórico base analizado se proyectan hasta la fecha de comienzo real del proyecto, luego se aplica la cifra resultante a los datos cuantitativos de un solo parámetro para llegar al costo base del proyecto en consideración.

Los ajustes a esta base se hacen tomando en cuenta cualesquiera características individuales del proyecto, tales como normas y calidad que difieren y otras particularidades físicas, tales como condiciones del suelo o acceso al lugar, se aplican índices adicionales a la cifra resultante para ajustarse a cualquier variación y aumento en los costos regionales basándose en los aumentos conocidos o anticipados en el costo de la mano de obra, la planta y los materiales. Luego se hacen los ajustes finales considerando la información local, tales como características nacionales, situación de los sindicatos y fluctuaciones de la moneda que afectan la productividad y los costos del material.

Las reservas para contingencias se añaden para cubrir los cambios en el diseño que serán inimitables conforme este evolucione y para anticiparse a cualesquiera dificultades no previstas de la construcción que puedan ocurrir. Finalmente se presenta la estimación en un formato que permita realizar ajustes rápidos cuando se estudien las alternativas de diseño.

Para planear las estimaciones se pueden aplicar técnicas adicionales con el fin de hacerlas más refinadas y darles un mayor grado de exactitud. Cuando se preparan estimaciones para procesos químicos o para construcciones industriales, se consideran relaciones costo capacidad para ajustarse a la economía de escala. A esto se le conoce como factorización y se aplica de la siguiente manera

Una vez establecida la definición de un solo parámetro por el tamaño de un nuevo proyecto y el costo base por el costo actual analizado de un proyecto semejante, resulta posible encontrar el costo desconocido de un segundo proyecto utilizando una relación exponencial aplicando la siguiente fórmula

$$\begin{matrix} C1 \\ C2 \end{matrix} = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix}^X$$

En donde

C1	=	costo del proyecto analizado.
C2	=	costo del proyecto nuevo.
S1	=	tamaño de un solo parámetro del proyecto analizado.
S2	=	tamaño de un solo parámetro del proyecto nuevo.
X	=	relación exponencial.

Si bien el factor de la relación exponencial se puede calcular graficando algunos proyectos analizados en un papel gráfico logarítmico, hay varias publicaciones que contienen esta información y se puede obtener con facilidad

6.3.2 ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE INGENIERÍA.

Una vez tomada la decisión de pasar de la fase de planeación a la fase de diseño, se requiere elaborar una estimación más detallada. Se preparan planos preliminares para identificar los sistemas requeridos que formarán al proyecto. Se preparan planos preliminares y esbozos de las especificaciones en una forma que puede ser esquemática, luego se calcula la estimación preliminar de ingeniería basándose en el análisis cuantitativo de los sistemas diseñados. Cualquier forma de estimación cuantitativa tiene tres constituyentes esenciales: el proyecto que se estimará, las unidades (o sistemas) que se considerarán y la forma como se expresará el resultado.

6.3.2.1 MÉTODO.

Los resultados se deben expresar en una forma que sea fácilmente reconocible por el diseñador, con el fin de evitar el traslape en la documentación del diseño y de ejercer control sobre los gastos durante la fase del mismo. Por tanto, las estimaciones preliminares de ingeniería requieren de datos cuantitativos y de costos relacionados con cada subsistema dentro de un sistema de ingeniería. Se habrán de identificar y documentar cada uno de los sistemas de ingeniería que serán parte del proyecto total. Es preferible presentar las estimaciones de los sistemas en el orden en que se construirán.

Una vez documentados lógicamente los sistemas de ingeniería, se pueden dividir en subsistemas y cuantificar. El estimador deberá de ponerse de acuerdo con los diseñadores con el objeto de que haya uniformidad en la interpretación de un diseño, esto es, el estimador debe determinar de la misma manera que los diseñadores, que es lo que forma un sistema y que se debe incorporar dentro de un subsistema. El documento resultante formará la base de un marco de trabajo completo que servirá para cuantificar y costear el proyecto.

Se debe recolectar información cuantitativa y presentar en una forma que se apliquen costos estándares. Tal información se obtiene de los planos de ingeniería y detalle de los fabricantes. Se requieren datos sobre el costo para aplicarlos a los detalles cuantitativos y se determina esta información a partir de las fuentes más pertinentes. También, siempre se deben investigar las

condiciones locales y ajustar los costos a ellas, los datos publicados son muy valiosos cuando se utilizan para llenar brechas en las estimaciones de costos y cuando se preparan estimaciones comparativas.

Mientras más detallado sea el costo, más exacta será la estimación. Por lo tanto, los costos de los subsistemas se deben estimar y luego sumar para determinar el costo del sistema principal, en lugar de considerar costos de unidades volumen para el sistema principal.

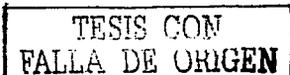
Cada sistema dentro de un proyecto representa una magnitud diferente de gasto y los datos del costo y el análisis cuantitativo del sistema que representa el mayor porcentaje de los costos del proyecto requieren de un cuidado adicional. Una vez establecido el estimado preliminar de ingeniería y los costos del sistema y subsistemas, se relacionan los costos subtotales con el tamaño global del proyecto y se dan como un porcentaje del costo total del mismo. Al hacer esto, deben resaltarse los sistemas más importantes desde el punto de vista del costo. Los datos cuantitativos y del costo utilizados para estos sistemas se hace más significativos y la información debe comprarse doblemente cuando el sistema representa más del 10% del costos global del proyecto. Se incorpora a la estimación una suma complementaria para cubrir las contingencias y los incrementos en los costos del diseño y la construcción.

El gran total del costo del sistema, de los importes para las contingencias y las cantidades previstas por incrementos forman la estimación preliminar de ingeniería.

6.3.3 ESTIMACIÓN DETALLADA DE INGENIERÍA.

No hay sustituto para las estimaciones que se hacen basándose en los diseños y especificaciones detallados de ingeniería. Un análisis cuantitativo de tales documentos junto con las tasas unitarias actuales obtenidas de las publicaciones de la industria y actualizadas, producirá una estimación más exacta que las estimaciones de planeación o del diseño preliminar, una estimación tal debe tener una exactitud dentro del $\pm 5\%$.

Resulta deseable formular el diseño detallado dentro de la disciplina en una forma ya establecida para la estimación del sistema. Esta práctica facilitara la función de la administración de costos en lo que respecta a supervisar el desarrollo del diseño mediante la comparación directa de la evolución de los niveles de las estimaciones. La estimación detallada de la ingeniería esta formada por estimaciones componentes, en las que las partes componentes son los conceptos detallados de un sistema de construcción. Cuando se diseñan y especifican estos componentes, se les puede cuantificar con exactitud mediante la cantidad necesaria medida de la cantidad. La cantidad de trabajo medida debe documentarse dentro de un marco de trabajo uniforme, identificando los componentes principales y las partes componentes. De nuevo mientras más abajo este el nivel de identificación, medición y fijación de precios, más exacta será la estimación resultante. Los documentos requeridos para este nivel de estimación son los planos detallados del diseño, los detalles normales, planos de taller y especificaciones detalladas. Las cantidades particularizadas junto con los insumos totalmente descritos de mano de obra y materiales permitirá que se fije el costo de los componentes con precisión.



La fijación de precios de los componentes se lleva a cabo de una forma semejante a las técnicas preliminares de la estimación de ingeniería, con la confianza aumentada de que se tienen disponibles datos de diseño precisos.

6.3.3.1 MÉTODO.

Las tasas unitarias, incluyendo la mano de obra, la planta y los materiales se aplican a las cantidades necesarias cuantificadas. La información de costos vendrá directamente de los contratistas y proveedores.

Para los componentes grandes, "especializados" se busca cotizaciones escritas preliminares sin "compromiso". Los costos históricos, analizados de proyectos semejantes deben analizarse para comprobar y complementar las cifras cotizadas preliminarmente, y la información sobre el costo publicada finalmente se usa para llenar las brechas existentes.

En esta etapa se eliminan las contingencias de diseño que no hayan sido absorbidas y se actualizan las contingencias de construcción e incrementos dentro del costo a tasa unitaria.

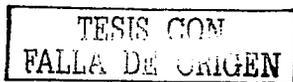
Habrà de establecerse un sistema de codificación que permita la identificación para el control presupuestal y que relacione a los componentes en la estimación detallada de ingeniería asociándolos con los sistemas de información preliminar de ingeniería.

La estimación deberá representarse con equidad al proyecto y reflejar la cita propuesta óptima del proyecto. Debe parecerse mucho a una estimación de propuesta de construcción, en la que se detalla información que estará contenida en la cotización. Como sucede con todas las estimaciones, debe anotarse un marco de trabajo adecuado dentro del cual ordenar la información detallada.

Por último se tienen que añadir los costos finales de construcción, los costos finales del terreno, los impuestos, el diseño, etc., para terminar la estimación. Lo anterior depende de quien prepare la estimación.

6.3.4 ESTIMACIÓN EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN.

Esta estimación se lleva a cabo por el contratista que concursa en un proyecto. En esta etapa deben estar disponibles para el estimador los planos y las especificaciones detalladas, junto con un programa cronológico de la construcción para establecer la duración de la obra. Debe llevarse a cabo una inspección extensa del lugar para asegurarse de las implicaciones en términos de costo de cualesquiera condiciones únicas del mismo. Habrá de consultarse afondo todo el personal clave que será el responsable de ejecutar el trabajo. Se documentará una estrategia previamente planeada para llevar a cabo el proyecto y a partir de esto se debe hacer un análisis completo de los recursos requeridos. El estimador o evaluador debe tener una buena comunicación con los proveedores y los subcontratistas.



6.3.4.1 MÉTODO.

Al preparar la estimación, se estudiará cuidadosamente las especificaciones y los planos detallados, se hará estimaciones de la cantidad de materiales, se obtendrán precios, se comprobará la disponibilidad de la mano de obra y su productividad, se confirmarán los salarios, se solicitarán estimaciones a subcontratistas y proveedores.

Se grafica y planea un programa cronológico detallado de la obra, se documenta la estrategia para llevar a cabo el proyecto y a partir de esto se hace un análisis completo de los recursos requeridos. El estimador o evaluador debe tener disponible información relacionada con los siguientes conceptos:

- 1.- Mano de obra directa.
- 2.- Materiales disponibles en el lugar.
- 3.- Instalaciones y equipo de construcción.
- 4.- Preparación del lugar, mantenimiento y administración.
- 5.- Supervisión del lugar.
- 6.- Taller y fabricación en el lugar.
- 7.- Taller y fabricación fuera del lugar.
- 8.- Subcontratos de suministros y servicios, solo suministros, solo mano de obra.
- 9.- Requisitos generales de las especificaciones del contrato
- 10.- Gastos generales de oficina.
- 11.- Tasa de interés.

Los conceptos anteriores variaran de acuerdo al tipo de proyecto, pero la idea principal es que se tienen que documentar las categorías, en los cuales se describen los centros de costos en donde las secciones contenidas dentro de los conceptos anteriores se ven afectadas por influencias semejantes.

Las secciones bajo cada uno de los conceptos habrán de codificarse para permitir que se produzcan y controlen presupuestos. Las cifras de los presupuestos que se asignan a las responsabilidades de los departamentos individuales deben ser cifras netas, que no incluyan utilidades y gastos generales directos o indirectos. A la estimación final de los recursos se le incorpora una cantidad por concepto de utilidad.

6.4 PROCEDIMIENTO.

En este trabajo se utilizó una evaluación siguiendo el siguiente procedimiento.

De acuerdo con el capítulo número III de la Ley de Adquisiciones y Obras públicas, " de los procedimientos y contratos de obra pública", en el artículo 57 se estipula que para los efectos de esa ley los contratos de obra pública podrán ser de dos tipos:

- Sobre la base de precios unitarios, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total que deba cubrirse al contratista será por unidad de concepto de trabajo terminado.
- A precio alzado, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total fijo que debe cubrirse al contratista para la celebración de estos contratos, tanto en sus aspectos técnicos como económicos deberán estar desglosados por actividades principales.

Para este trabajo se realizó lo siguiente.

1.- Determinación de los conceptos de la obra.

En primer término se elaboró el catálogo de todos los conceptos que se requieren para desarrollar la obra. Por lo tanto es indispensable conocer el tipo de obra que se va a desarrollar, así como los procedimientos constructivos que apliquen en cada caso, dado que como sistema ordenativo se obtienen buenos resultados al seguir paso a paso cada una de las fases de la construcción siguiendo un orden estratégico y lógico, tomando en consideración cada una de las especialidades que intervienen en dicha obra. Por lo anterior se debe considerar el alcance total de la obra para tener una noción general de los conceptos que habrán de integrar el catálogo de conceptos.

Así cada opción se dividió en varios conceptos clave los cuales una vez juntos formaran el todo del proyecto. Cada concepto involucra diferentes obras por lo que en algunas opciones fueron conceptos similares a los de otras opciones.

Los alcances de la obra delimitan con precisión las actividades, procedimientos, materiales, movimientos, gestiones, especificaciones, normas y todo lo necesario para ejecutar el concepto de trabajo de que se trate, con la calidad requerida y bajo las condiciones generales que exige el contrato. Los alcances se dividen, por facilidad de identificación en generales y particulares.

Alcances generales.

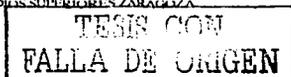
En estos alcances se enuncian las condiciones que aplican a toda la obra, tales como:

- Calidad.
- Condiciones de funcionamiento.
- Especificaciones generales.
- Criterios genéricos
- Procedimientos.

Alcances particulares.

Dentro de los alcances particulares se indican las características individuales de cada concepto de obra, que deberá tomarse en cuenta por el contratista para cumplir con el costo, tiempo y calidad de la obra. Se pueden considerar los siguientes:

- Dimensiones
- Calidad.
- Modelo.



- Marca en el caso de materiales y equipos, etc..
- Procedimiento constructivo..
- Normas y especificaciones particulares.

Es importante mencionar todas las actividades y características de cada concepto de obra puesto que todas ellas representan un costo que deberá integrarse al presupuesto global.

2.- Descripción de los conceptos de obra

La descripción de los conceptos debe ser breve y concisa pero sin omitir todas aquellas características necesarias para que dicho concepto sea susceptible de medirse a través de un costo, tales como:

- Procedimiento constructivo.
- Alcance de trabajo
- Dimensiones
- Calidad
- Especificaciones, modelo y marca en su caso
- Características particulares.

Cabe mencionar que cuando se requiera indicar la marca de algún producto, material o equipo por que así lo requiera el proyecto, la descripción deberá acompañarse de la leyenda similar "o similar".

Se recomienda tomar en consideración todas las fases de las que se compone una partida para evitar duplicación de volúmenes, omisión de actividades o incongruencias en las cantidades de obra.

Es importante verificar que todas las fases que integran una partida han sido incluidas en el catalogo de conceptos.

La determinación de los conceptos se regirá por los alcances generales y particulares correspondientes; frecuentemente las fases de construcción de un concepto se identifican perfectamente por los cambios de utilización de la mano de obra y de la maquinaria y equipo.

Se recomienda organizar los conceptos de obra por partida o especialidad. Este procedimiento puede provocar que un mismo concepto se repita en varias partidas.

Los alcances generales y particulares del concepto así como su procedimiento constructivo deberán diseccionarse mediante una nota que indique los anexos y planos de referencia, en los cuales se detallaran los procedimientos, normas, especificaciones y características particulares de cada concepto.

Los análisis de precios de precios unitarios de integran considerando los costos de tres rubros principales:

- Materiales.
- Mano de obra.
- Maquinaria y equipo.

Los materiales de obra se dividen en dos:

- ❖ Definitivos o de instalación permanente: son aquellos que serán incorporados a la obra de manera definitiva, como la tubería, el cableado eléctrico, luminarias, manómetros, válvulas, bombas, separadores, ánodos de sacrificio, rejilla, barandales, etc.
- ❖ Consumo: son aquellos que se emplean para montar o instalar los materiales definitivos como la soldadura, los gases, grasa, discos abrasivos, etc.

En el costo del suministro del material, deben considerarse los fletes, tramites aduanales y permisos de importación en su caso, traslados, almacenajes, identificación, selección y traslado al área de prefabricación o trabajo. No debe incluirse el I.V.A.

Para el suministro de los materiales debe considerarse la calidad, cantidad, dimensiones, especificaciones, normas, marca y modelo en su caso y condiciones particulares

Los materiales de instalación permanente tendrán como unidad la misma que se indica en el catalogo de conceptos y cantidades de obra, pero a esta tendrá que agregarse una cantidad extra por concepto de desperdicio de material, de acuerdo al caso, por ejemplo la placa, perfiles estructurales, etc., no así para aquellos materiales cuya unidad es pieza, sistema, etc., por ejemplo: válvula, codo, brida, amortiguador, planta de tratamiento de agua, etc. en el caso de materiales como la arena sílica que se utiliza para el proceso de limpieza con chorro de arena, el de la cimbra o el de elementos provisionales, etc., que aceptan varios usos, debe considerarse este factor para su cálculo.

Los materiales de consumo deberán calcularse de acuerdo al alcance del concepto, al procedimiento constructivo y a las especificaciones que aplique en cada caso, indicando la descripción, la unidad y cantidad necesaria para la ejecución del concepto de que se trate, incluyendo su desperdicio.

Determinación de la mano de obra

Para determinar la mano de obra que se requiere para ejecutar cada uno de los conceptos de obra, debe proponerse las cuadrillas idóneas, las categorías, la cantidad de personal necesario en cada caso, así como el rendimiento que aplica por unidad de obra.

Para calcular las cuadrillas de trabajo deben tomarse en cuenta las cantidades de obra, la magnitud de la obra y el grado de especialización que exigen los trabajos, asignando los apoyos de ayudantes y obreros generales para el desarrollo de todas las actividades contempladas en el concepto y siempre de acuerdo con los alcances correspondientes. Debe asignarse para cada trabajo al personal adecuado para que realice las actividades que serán desarrolladas específicamente en cada concepto de obra. La cantidad de dicho personal se calculará con base a

la experiencia tomando en consideración la magnitud y arreglo de la obra, así como los frentes de trabajo que pueden implementarse en la obra.

El regimiento también se calcula con base a la experiencia, tomando en consideración la cantidad de personal propuesto, las especificaciones, los procedimientos constructivos y la maquinaria y equipo de apoyo utilizados.

En los rendimientos de obra influyen de manera determinante los siguientes factores:

- Localización geográfica de la obra (el rendimiento del personal variará en función de si la obra está localizada en zona urbana, en zona rural, en des poblado o costa fuera.
- Clima predominante en la región (Clima tropical, zona lluviosa, calor o frío extremo, etc.)
- Condiciones de trabajo en la región.
- Disponibilidad de mano de obra calificada en la región o lugar.
- Situación económica en general.
- Supervisión.
- Cantidad y calidad de equipo disponible.

Se ha estudiado el impacto de estos fenómenos en el rendimiento de la mano de obra y se les ha llamado factores de productividad o factores de eficiencia. Este sistema consiste en aplicar un porcentaje de impacto de acuerdo al tipo de productividad esperado. Este tipo de productividad tiene un grado de calificación que va desde excelente hasta muy bajo, cuando las condiciones son muy desfavorables.

Maquinaria y equipo.

La maquinaria y equipo se eligen tomando en consideración el programa de obra, el procedimiento constructivo, las especificaciones y los planos relativos al concepto de obra que se va a desarrollar. Debe precisarse la capacidad de la maquinaria y los equipos con el fin de presentar un precio competitivo y de cumplir con el costo, la calidad y los tiempos programados.

La cantidad y la calidad de la maquinaria que se propone debe corresponder exactamente al grado de dificultad, a la magnitud de la obra y a los tiempos indicados en los programas correspondientes, ya que si se emplean equipos con una capacidad excesiva se estarían desperdiciando recursos, y si por el contrario la maquinaria no cumple con la capacidad mínima indispensable, resultaría difícil terminar los trabajos en el tiempo requerido y con la calidad adecuada.

Por lo que respecta al costo de la maquinaria, la Ley de Obras Públicas indica que para el cálculo de la renta horaria se debe considerar el costo de adquisición o valor inicial de la maquinaria como si fuera nuevo. Deberán considerarse aquellos equipos y herramientas que representan un costo importante dentro del precio unitario, todos los utensilios de trabajo secundario como llaves de tuercas, martillo, taladro, etc., se consideraran dentro del rubro denominado herramienta menor, el cual tradicionalmente se ha calculado en un 3 o 4% del costo total de la mano de obra.

La maquinaria y equipo también suele afectarse por un factor de eficiencia o productividad que esta directamente relacionado con el rendimiento de la mano de obra.

El precio unitario de cada concepto de obra se multiplica por el volumen de obra, para obtener el importe definitivo del presupuesto interno. De esta forma se obtiene el costo directo del concepto de obra.

A continuación se integran el factor de costos indirectos, incluyendo los gastos de administración central y de administración de campo. Lo mismo ocurre con los factores de financiamiento y el porcentaje de utilidad que se proponen

6.5 ESTIMADO DE COSTOS.

6.5.1 ESTIMADO DE COSTOS OPCIÓN 1

El estimado de inversión para esta opción se realizó en función de lo siguiente:

La infraestructura requerida para el transporte de salmuera hasta las cavidades de crudo.

La rehabilitación del la cavidad 203.

La construcción del salmuero ducto para el desecho de la salmuera a rabón grande.

Estos tres grandes conceptos se subdividieron al final en los siete grandes conceptos que se muestran en la tabla.

Los precios unitarios fueron tomados y actualizados del proyecto de almacenamiento de gas LP, así como por la investigación realizada a través de las compañías de servicio, determinándose los costos mostrados en la tabla 6.5.1

Tabla 6.5.1 "Estimado de costos primera opción"

CONCEPTO DE OBRA	IMPORTE M.N.
Rehabilitación y acondicionamiento del pozo Tuzandepet no. 203	\$ 6,911,142.56
Tubería para transporte de salmuera	\$ 1,649,956.18
Tubería para inyección de agua	\$ 403,410.64
Instrumentación	\$ 123,039.75
Sistema de desecho de salmuera al golfo de México	\$ 10,211,330.93
Suministro y trabajos de conexión de tuberías	21,301.76
Construcción del salmuero ducto	\$ 71,859,893.18
Total	\$91,180,075.00

6.5.2.-ESTIMADO DE COSTOS OPCIÓN 2

SALMUERA DE CYDSA CON INFRAESTRUCTURA DE CYDSA

Al igual que la primera opción, el estimado de inversión para esta alternativa se realizó en función de la infraestructura requerida para el transporte de salmuera hasta las cavidades de crudo, la rehabilitación del la cavidad 203 y la construcción del salmuero ducto para el desecho de la salmuera a Rabón grande.

Los precios unitarios fueron tomados de los estimados realizados para la construcción del proyecto de gas I.P, así como por la investigación realizada a través de las compañías de servicio, determinándose los siguientes costos: tabla 6.5.2

Tabla 6.5.2, "Salmuera de CYDSA con infraestructura de PEP"

CONCEPTO DE OBRA	IMPORTE M.N.
Rehabilitación y acondicionamiento del pozo Tuzandepetl no. 203	\$ 6,911,142.56
Tubería para transporte de salmuera	\$ 1,679,151.92
Tubería para inyección de agua	\$ 2,388,633.74
Instrumentación	\$ 796,017.45
Equipo de bombeo	\$ 7,851,461.93
Rehabilitación de filtros	\$ 24,322.39
Rehabilitación de tanques atmosféricos	\$ 54,312.18
Compresor y secadora de aire	\$ 522,209.76
Rehabilitación de fosas y presas	\$ 223,510.63
Sistema de desecho de salmuera al golfo de México	\$ 10,211,330.93
Suministro y trabajos de conexión de tuberías	\$ 92,867.27
Obra eléctrica bocatomá	\$ 4,436,609.24
Obra eléctrica lixiviación	\$ 4,199,899.81
Construcción del Salmuero ducto	\$ 71,859,893.18
TOTAL	\$111,251,362.99

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

6.5.3 ESTIMADO DE COSTOS OPCIÓN 3**DESPLAZAMIENTO DE CRUDO CON AGUA DULCE**

Para la estimación de costos se considero la rehabilitación de los sistemas de bombeo de agua dulce y salmuera, instalaciones de control, construcción del samueroducto y registros de control para el crecimiento de las cavidades principalmente.

Los precios unitarios fueron tomados de los reportes realizados para la construcción del proyecto de gas I.P., así como por la investigación realizada a través de las compañías de servicio, determinándose los siguientes costos: tabla 6.5.3

Tabla 6.5.3, "Desplazamiento de crudo con agua dulce"

CONCEPTO DE OBRA	IMPORTE M.N.
Registros sonares	\$ 1,815,791.01
Equipo de bombeo	\$ 9,751,219.27
Rehabilitación de filtros	\$ 24,322.39
Rehabilitación de tanques atmosféricos	\$ 54,312.18
Compresor y secadora de aire	\$ 522,209.76
Rehabilitación de fosas y presas	\$ 223,510.63
Instrumentación	\$ 672,977.70
Tubería flexible	\$ 546,514.91
Suministro y trabajos de conexión de tuberías	\$ 270,344.76
Sistema de desecho de salmuera al golfo de México	\$10,211,330.93
Obra eléctrica bocatomas	\$ 3,171,430.10
Obra eléctrica lixiviación	\$ 4,114,569.29
Construcción del salmuero ducto	\$ 71,859,893.18
Total	\$ 103,238,426.09

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.5.4.- ESTIMADO DE COSTOS OPCIÓN 4

Para el estimado de costos se considero las actividades realizadas en la opción 3, además de la rehabilitación y lixiviación de los pozos Tuzandepetl 402 y 403, así como de la implementación de la línea de transporte de salmuera de los pozos a la presa B3.

Los precios unitarios fueron tomados de los reportes realizados para la construcción del proyecto de gas I.P., así como por la investigación realizada a través de las compañías de servicio, determinándose los siguientes costos: tabla 6.5.4

Tabla 6.5.4 "Producción de salmuera por lixiviación de los pozos 400"

CONCEPTO DE OBRA	IMPORTE M.N.
Rehabilitación y acondicionamiento del pozo Tuzandepetl no. 402	\$ 6,911,142.56
Rehabilitación y acondicionamiento del pozo Tuzandepetl no. 403	\$ 10,388,745.39
Lixiviación pozos 402 y 403	\$ 21,877,133.76
Equipo de bombeo	\$ 19,023,520.21
Rehabilitación de filtros	\$ 24,322.39
Rehabilitación de tanques atmosféricos	\$ 54,312.18
Compresor y secadora de aire	\$ 522,209.76
Rehabilitación de fosas y presas	\$ 274,590.26
Instrumentación	\$ 2,741,755.42
Suministro y trabajos de conexión de tuberías	\$ 1,512,595.62
Sistema de desecho de salmuera al golfo de México	\$ 10,211,330.93
Obra eléctrica bocatomá	\$ 3,098,199.13
Obra eléctrica lixiviación	\$ 4,712,678.22
Construcción del salmueroducto	\$ 71,859,893.18
Total	\$153,212,429.01

TABLA 6.5.5 RESUMEN DE COSTOS

OPCIÓN	COSTO M.N.
Salmuera de CYDSA con infraestructura de CYDSA	\$ 91,180,075.00
Salmuera de CYDSA con infraestructura de PEP	\$111,251,362.99
Desplazamiento de crudo con agua dulce (cavidades 300)	\$ 103,238,426.09
Generación de salmuera por lixiviación de los pozos 400	\$153,212,429.01

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis técnico y económico realizado a las cuatro opciones se determinó que las opciones 1 y 2 no cumplen con los requerimientos de PEP de disponer de un flujo de salmuera de 150,000 BPD, ya que la compañía CYDSA solo dispone de una cavidad (Tuzandepetl 203) de manera inmediata, ya que en las otras tres (201 a, 202 y 204) se está realizando estudios para su posible uso como almacenadoras de gas natural. El flujo máximo que se puede obtener por cavidad es de 35,000 BPD.

La opción 3, que contempla el desplazamiento de crudo con agua dulce, se puede utilizar durante el próximo mal tiempo (2002-2003), y su utilización para ciclos similares dependerá de la evolución de las cavidades observado con el registro sonar.

La opción 4 es la que ofrece mayores ventajas técnicas y económicas, ya que absorbe la inversión para la rehabilitación y/o adquisición de la infraestructura de la opción no: 3 y únicamente requiere de una inversión adicional de \$ 49, 974,003.00, para cubrir los gastos de acondicionamiento y lixiviación de los pozos 402 y 403; además de cubrir los gastos de adquisición e instalación del equipo nuevo de bombeo.

Del análisis realizado anteriormente, se concluye que las mejores opciones para la explotación total del almacenamiento de crudo, es la combinación de las opciones 3 y 4, ya que el primer año se puede desplazar el crudo con agua dulce y a partir del segundo año se estará en condiciones de generar la salmuera de la lixiviación de los pozos 402 y 403 para la explotación adicional de las cavidades y hasta el término de la construcción de la presa "A" para almacenamiento de salmuera, estimada para el 2005.

Si se quisiera disponer de la salmuera de la compañía CYDSA, tendrá que ver la posibilidad de cuando menos poder contar con 3 cavidades para este propósito, con lo cual se puede tener un flujo de salmuera de 90,000 BPD.

Las conclusiones y recomendaciones por cada una de las opciones analizadas son las siguientes:

7.1 OPCIÓN 1 SALMUERA DE CYDSA CON INFRAESTRUCTURA DE CYDSA.

- La compañía CYDSA conjuntamente con SALTEC, están preparando una propuesta para el almacenamiento de gas natural en las cavidades comunicadas (201-a y 2002).
- Las instalaciones superficiales de la compañía CYDSA, no cuentan con la capacidad para inyectar el agua dulce a sus cavidades y enviar la salmuera que requiere PEP (150,000 BPD) a Tuzandepetl - crudo.
- CYDSA solo cuenta con una capacidad de bombeo de 200 m³/hrs por pozo, y PEP requiere de un gasto aproximado de 1,000 m³/hr.

- Todas las cavidades presentan bloqueos en la parte inferior, por lo que deberán realizarse operaciones encaminadas a eliminar la obstrucción, ya que el volumen principal de salmuera esta en la parte inferior.
- La inversión que se tiene que realizar en esta opción corresponde a \$ 91,180,075.00 ; sin embargo el estimado no considera el costo de la renta de equipo de inyección de agua, la renta de los 3.7 MMBLS de salmuera y los costos de operación del proceso de lixiviación con la inyección de agua potable a la cavidad 203.

POR LO TANTO LA INVERSION SE INCREMENTARA SUSTANCIALMENTE SIENDO MENOS ATRACTIVA, ECONOMICA Y TECNICAMENTE.

7.2 OPCION 2 SALMUERA DE CYDSA CON INFRAESTRUCTURA DE PEP.

- Con esta opción se estima tener un flujo de salmuera de 40,000 BPD aproximadamente, ya que se puede incrementar el gasto de lixiviación de 150 a 300 m³/hr.
- Se recomienda que para poder usar la salmuera de las cavidades de CYDSA, se deberá disponer de tres cavidades, ya que actualmente solo cuentan con la cavidad 203 para este propósito. Esto puede aumentar el flujo de salmuera a 90,000 BPD.
- Al incrementar el gasto, se puede reducir la densidad de la salmuera, sin embargo esto no afecta de manera sustancial las cavidades de crudo, ya que rápidamente se alcanzará la saturación de la salmuera.
- Al tener gastos de 300 m³/hr, se pueden tener problemas con las tuberías de lixiviación y ocasionar interrupciones en el suministro de salmuera, por lo que en caso de seleccionar esta opción, se debe definir el flujo máximo de operación.
- La inversión que se tiene que realizar en esta opción corresponde a \$ 111,251,363.00 utilizando una cavidad; sin embargo el estimado no considera el costo de la renta de los 3.7 MMBLS de salmuera y los costos de operación del proceso de lixiviación con la inyección de agua de río a la cavidad 203. **POR LO TANTO SE REQUIERE DE UNA MAYOR INVERSION SIENDO POR ESTA RAZÓN MENOS ATRACTIVA ECONOMICA Y TECNICAMENTE.**

7.3 OPCION 3

DESPLAZAMIENTO DE CRUDO CON AGUA DULCE.

- Esta opción presenta la ventaja de estar disponible a partir de noviembre del 2002, su aplicación depende de la disponibilidad del salmueroducto.
- En esta opción se contempla un incremento en el volumen de las cavidades por la disolución de agua dulce, se propone que preferentemente se desplace con agua dulce en la zona de cuellos de las cavidades para evitar en lo posible la disolución preferencial observada en la parte superior de las cavidades.
- Procediendo de la forma propuesta, la estabilidad de las cavidades no se vera afectada, por el contrario se podrán ampliar los cuellos de las mismas para evitar que en el futuro se continúe perdiendo la parte baja de las cavidades por caída de bloques.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Se propone que esta alternativa solo se aplique durante el primer año de explotación, ya que actualmente las cavidades han perdido volumen debido a las obstrucciones generadas por las caídas de bloques atrapados en las zonas de diámetros reducidos, antes de realizar otro desplazamiento, se debe verificar la configuración de las cavidades con el registro sonar.
- Las cavidades que se proponen para la explotación con agua dulce son: 302, 311, 312, 314, 331 y eventualmente la 316 y 318. Las cavidades en las que no se recomienda esta operación son: 306 y 340, ya que son cavidades con muy poca longitud vertical (65 y 53 m) y diámetros muy grandes (75 y 70 m).
- ESTA OPCION ES LA QUE PRESENTA MAYORES BENEFICIOS ECONOMICOS, LA INVERSION QUE SE REQUIERE ES DE \$ 103, 238,426.00 PESOS QUE ES LA BASE PARA DESARROLLAR LA OPCION 4 A UN COSTO MÍNIMO DE (35,000,000); POR LO TANTO SE RECOMIENDA SU APLICACIÓN.

7.4 OPCION 4

GENERACION DE SALMUERA POR LIXIVIACION DE LOS POZOS 400.

- La generación de salmuera a través de los pozos 400, presenta varias ventajas, ya que además de obtener salmuera saturada para la explotación de las cavidades de crudo, se generaran dos cavidades que pueden ser utilizadas para el almacenamiento de gas natural, gas LP y/o crudo.
- Se pueden obtener un flujo de salmuera más grande que con el uso de la salmuera de la cavidad 203 de CYDSA, debido a las características del equipo de bombeo, con la ventaja que al final se tendrán 2 cavidades debidamente lixivadas para almacenamiento de hidrocarburos.
- Actualmente se cuenta con un pozo perforado para el inicio de su lixiviación, por lo que solo hay que acondicionarlo y concluir las instalaciones superficiales para este propósito.
- La inversión que se tiene en esta opción corresponde a \$153,212,429.00 pesos si no se realizara la opción 3, pero al realizarse esta opción se reduce a \$ 49,974,003.00; y se tiene la ventaja de haber formado dos cavidades de almacenamiento de hidrocarburos, con capacidad de 3 MMBLS cada una, lo que permite recuperar mas rápido la inversión realizada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Plan Nacional de Desarrollo 1982-1988
- 2.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Tecnología de Explotación. ; "Estudio de factibilidad de almacenamiento de hidrocarburos en cavidades subterráneas"; México, D.F. 1981.
- 3.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación. ; "Estudio de factibilidad de almacenamiento de hidrocarburos en cavidades subterráneas"; México, D.F. 1982.
- 4.- Petróleos Mexicanos.; "Anuario estadístico 2002"; México D. F. 2002.
- 5.- Petróleos Mexicanos.; "Memoria de labores 2002", México D. F. 2002.
- 6.- Instituto Mexicano del Petróleo.; "Principios sobre el tratamiento integral del petróleo crudo"; México, D. F.; 2000.; pp 4-7.
- 7.- Petróleos Mexicanos.; "Anuario Estadístico 2003"; México, D. F. 2003.
- 8.- Petróleos Mexicanos.; "Predicciones de producción de crudo "; México, D. F. 2002.
- 9.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Tecnología de Explotación. ; "Desarrollo de cavernas en el domo salino de Tuzandepetl para el almacenamiento de gas licuado"; México, D. F. 1982.
- 10.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación. ; "Manual de transferencia de Tecnología de domos salinos , fase lixiviación"; México, D. F. 1985.
- 11.- Gesostock.; "Manual de Ingeniería básica de lixiviación de superficie"; México, D. F. 1985.; documento Número GK/PMX-85-095.; caps I, II y III.
- 12.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación. ; "Manual de operación Tecnología de domos salinos , fase lixiviación"; México, D. F. 1985.
- 13.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación. ; "Almacenamiento de crudo en domos salinos, tuzandepetl, Veracruz, manual de operación fase lixiviación"; México, D. F. 1987.
- 14.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación. ; "Manual de Operación, fase Lixiviación, sección III: instrucciones para la operación"; México, D. F. 1988

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

15.- Instituto Mexicano del Petróleo.; Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación. ; "Curso para personal de operación: Fase Explotación"; México, D. F. 1989.

16.- Saberian. Ahmad.; "SALGAS User's Manual, Volumen I: Theories, Formulas & program description"; Solution Mining Research Institute. Research project report No. 84-0003-S.

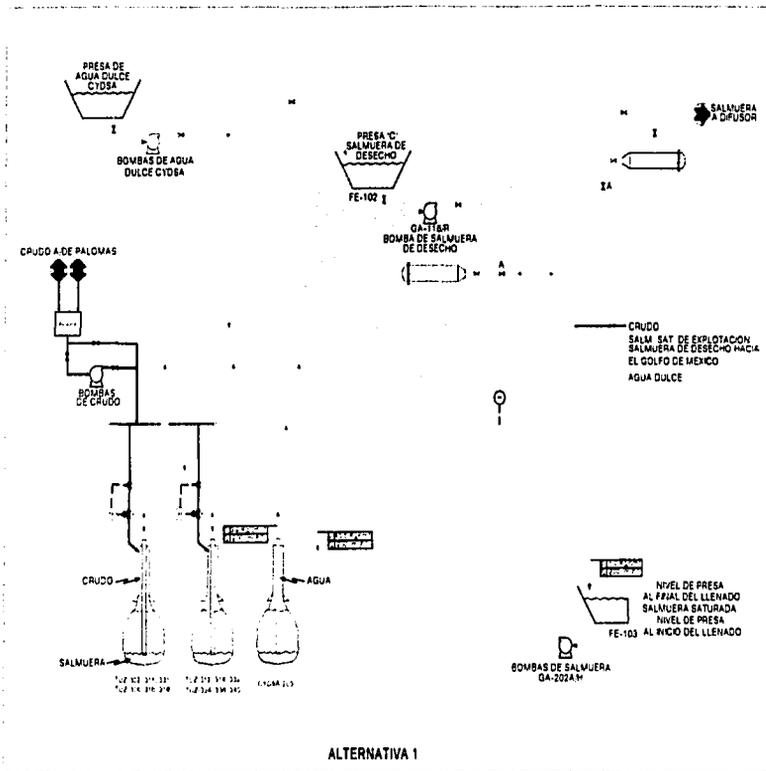
17.- Saberian. Ahmad.; "SALGAS User's Manual, Volumen II: Input data documentation & example runs"; Solution Mining Research Institute. Research project report No. 84-0003-S.

18.- Camarena, Pedro M.; "Instalaciones Eléctricas Industriales"; undécima reimpresión 1992. México D.F.; Compañía Editorial Continental, S. A. , caps 2,3 y 9

19.- Rauli, José Martín.; "Diseño de Subestaciones Eléctricas"; México D. F. 1992, Mc Graw-Hill / Interamericana de México, caps 1,2 y 3

ANEXO A

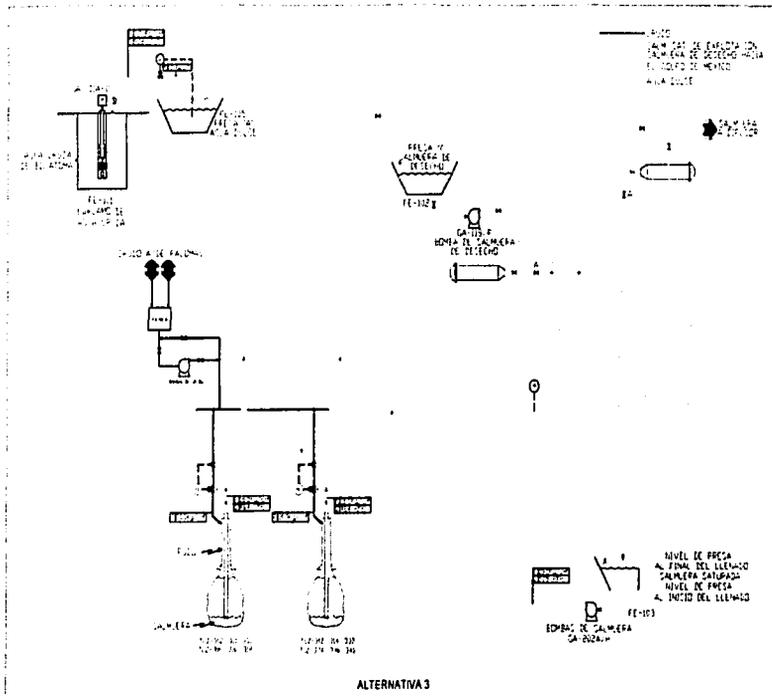
ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO OPCIÓN I "SALMUERA DE CYDSA CON INFRAESTRUCTURA DE CYDSA"



TESIS CON
FALTA DE CUBIEN

128

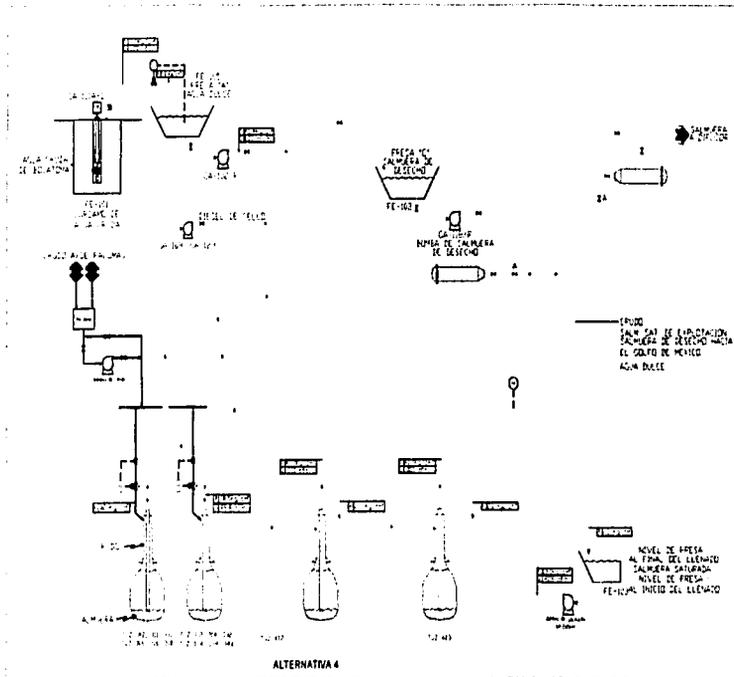
ESQUEMA DE PROCESO OPCIÓN 3, "DESPLAZAMIENTO DE CRUPO CON AGUA DULCE"



TESIS CON
 FALTA DE CALIDAD

ESQUEMA DE PROCESO OPCIÓN 4 "GENERACIÓN DE SALMUERA POR LIXIVIACIÓN DE LOS POZOS 400'S

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



131

ANEXO B

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



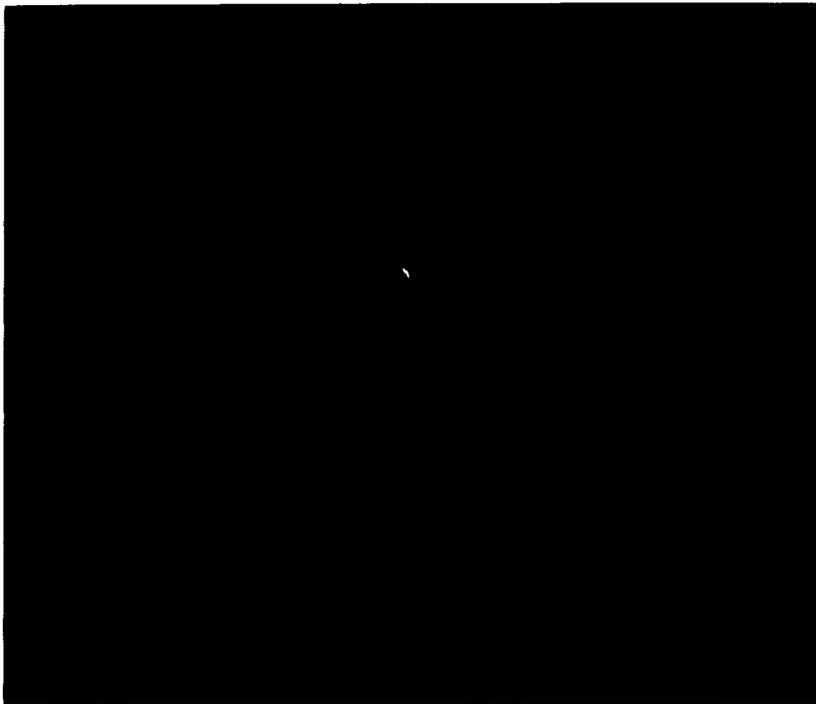
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
DIRECCION EJECUTIVA DE INGENIERIA
GERENCIA DE DUCTOS Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



TESIS CON
FALLA DE CALDEN



INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
DIRECCION EJECUTIVA DE INGENIERIA
GERENCIA DE DUCTOS Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



TESIS CONT
FALLA DE CAUSEN



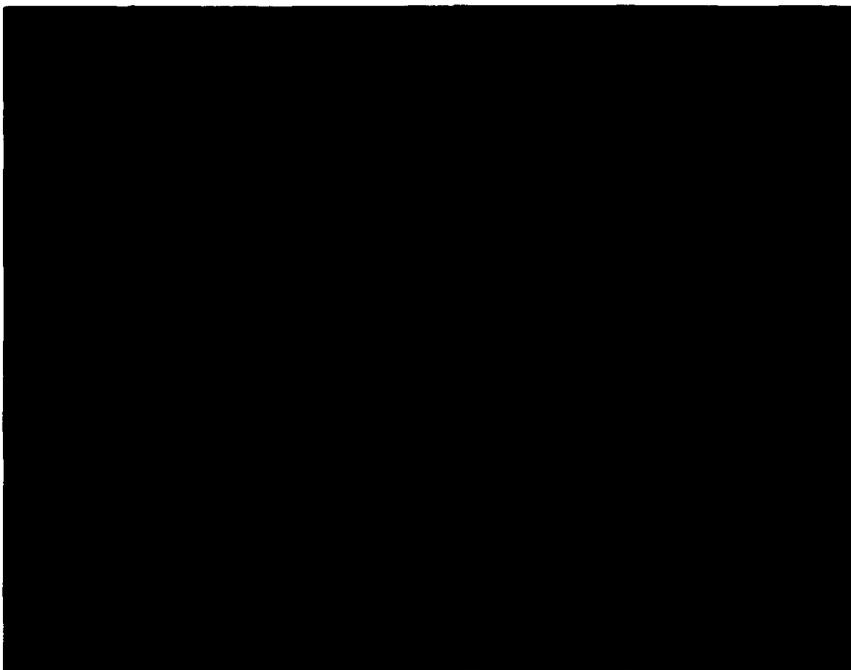
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
DIRECCION EJECUTIVA DE INGENIERIA
GERENCIA DE DUCTOS Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



TESTIS CON
FALLA DE ORIGEN



INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
DIRECCION EJECUTIVA DE INGENIERIA
GERENCIA DE DUCTOS Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



TESIS CON
FALLA DE CARGEN