



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**ANALISIS ECONOMICO DE LA PROTECCION
CATODICA Y DE DESCARGAS AL MAR DE LAS
AGUAS SALADAS DE DESECHO**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTA :

RICARDO ALFREDO ROBLES AVILA

1979



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.

CLAS TESIS 1979
ADG MT. 299 ~~277~~
FECHA 296
PROG _____



TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA:
RICARDO ALFREDO ROBLES AVILA

1979

PRESIDENTE MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ

VOCAL ENRIQUE GARCIA LOPEZ

SECRETARIO GERARDO RODRIGUEZ ALONSO

1er. SUPLENTE ENRIQUE BRAVO MEDINA

2do. SUPLENTE MANUEL JIMENEZ ESTRADA

Sitie donde se desarrolló el tema: MEXICO, D.F.

Nombre completo y firma del sustentante: RICARDO ALFREDO ROELES AVILA

Nombre completo y firma del asesor del tema: GERARDO RODRIGUEZ ALONSO

CON CARINO A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ABUELITO

A MI NOVIA

A MI ESCUELA

A MIS MAESTROS

A MIS COMPAÑEROS

A MIS PARIENTES Y AMIGOS

A MI HONORABLE JURADO

AL Ing.GERARDO RODRIGUEZ ALONSO POR SU
AYUDA Y APORTACION DESINTERESADA AL PRE
SENTE TRABAJO.

INDICE DE CAPITULOS

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

CAPITULO I.- INTRODUCCION A LA CORROSION Y A LA PROTECCION
CATODICA.

CAPITULO II.- OBJETIVOS Y PROBLEMÁTICA

CAPITULO III.- ALTERNATIVAS CONSIDERADAS EN LA RECOLECCION
Y DESECHO DEL AGUA SALADA QUE SE SEPARA DEL
CRUDO.

CAPITULO IV.- ANALISIS ECONOMICO DE ALTERNATIVAS.

CAPITULO V.- DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA.

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En el presente trabajo, se analizará un problema bastante importante que se tendrá al extraer aceite de un yacimiento, mediante la inyección de agua salada, ya que se tendrá que eliminar parte del aceite no extraído así como el agua salada sin causar problemas de contaminación; existe la posibilidad de aprovecharlos — reinyectando los volúmenes de agua salada — aceite al yacimiento, — si fuese económico su tratamiento. De no ser así, es muy importante que el desecho se lleve a cabo sin causar problemas de contaminación ya sea en la flora o en la fauna de la región.

Por otra parte, también deberá evitarse la contaminación — del aceite en las playas cercanas, lo que repercutirá indudablemente en una disminución del turismo regional y en perjuicio de la economía local.

Los factores anteriores implican resolver este problema de una manera eficaz, adecuada y económica.

Ahora bien, estas aguas saladas, también tocan un problema serio, que es el de la corrosión, la cual nos afectará seriamente — tanto las tuberías como el equipo, ya que existe una imposibilidad física de proteger interiormente las tuberías; se considerará que — la corrosión de las paredes interiores de tuberías podrá evitarse — controlando la calidad del agua inyectada mediante el empleo de inhibidores, mientras que las otras superficies al contacto con agua estancada o el suelo, deberán protegerse catódicamente.

Por lo expuesto anteriormente, los objetivos del presente estudio consisten en:

- I.- Determinar la solución más económica y conveniente al problema de recolección y desecho de agua salada que se separa del crudo
- II.- Diseñar el sistema de protección catódica más adecuado que complementa a la protección anticorrosiva.

C A P I T U L O

1

INTRODUCCION A LA CORROSION Y A LA

PROTECCION CATODICA

El tema de la corrosión ha sido tratado desde muchos diferentes ángulos en los últimos años. La corrosión es, simplemente, el proceso por el cual un metal vuelve a su estado más estable de óxido: en otras palabras, la corrosión de un metal implica su oxidación.

El problema de la corrosión tiene para el Ingeniero Químico una importancia que solo es inferior a la del diseño de estructuras y del equipo.

La corrosión ha sido un problema desde que se introdujeron los metales, en especial el hierro y el acero, como materiales de construcción y se está convirtiendo rápidamente en un factor de limitación. En la Industria Química, por ejemplo, las presiones y las temperaturas han aumentado hasta el punto de que la maquinaria que antes duraba muchos años, puede fallar en meses: en consecuencia, el costo inicial de la maquinaria y el volumen de producción, han aumentado hasta el punto de que la falla y el remplazo, unidos a la pérdida consiguiente del producto y del tiempo de trabajo, pueden ser un gasto prohibitivo.

Igualmente importante es el hecho de que la corrosión representa un desperdicio de recursos naturales.

El problema general es sumamente complejo debido al número de variables que intervienen: La química del medio, los aspectos metalúrgicos y físicos de los metales y la cinética de reacciones heterogéneas entre los metales y el medio que los rodea, son factores que se combinan en un solo problema llamado corrosión. Se han hecho considerables progresos en la comprensión del problema, y es seguro que el progreso futuro será más rápido a medida que se acumulen conocimientos sobre la física y la química de los metales y el mecanismo de las reacciones heterogéneas.

La corrosión de los materiales es, en esencia, la inversa al proceso con que se obtienen en el beneficio de sus minerales y se ha caracterizado como "REVERSO DE UNA GRAN INDUSTRIA". Si se exceptúan el oro, el platino, la plata y alguna vez el cobre, los metales no se presentan en el estado metálico y tienen que obtenerse de sus minerales gastando energía. En consecuencia, el estado metálico representa un contenido elevado de energía con respecto al mineral original, por lo general un óxido, un sulfuro o un carbonato.

Es de esperar que los metales vuelvan al estado de energía más bajo, con la liberación correspondiente de energía.

En realidad, es a veces más difícil de explicar la estabilidad relativa de los metales, que el hecho de que se corroman.

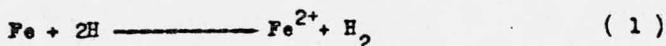
Por regla general, la corrosión no puede reducirse a cero sin gastar energía (protección catódica) a causa de la relación de energía entre el metal y los productos de corrosión.

Por fortuna, la rapidez de corrosión puede reducirse hasta el punto en el cual es factible el uso de los metales en casi todos los medios. Las investigaciones y el análisis del mecanismo de la corrosión, proporcionan los métodos para reducir la rapidez de corrosión, alternando uno o varios de los factores que determinan dicha rapidez.

QUIMICA DE LA CORROSION.-

Como se ha hecho notar, la corrosión de un metal implique su oxidación, y, puesto que solo el estado inicial y final deciden el cambio de energía en la reacción, la oxidación puede producirse por varios caminos posibles. Es costumbre distinguir un proceso químico homogéneo de la corrosión heterogénea, aunque el resultado final es el mismo y el mecanismo puede ser semejante.

Por ejemplo, cuando se sumerge hierro en ácido clorhídrico, el hierro se oxida, y el ión hidrógeno es reducido y desplazado en forma de hidrógeno gaseoso conforme a la ecuación:



Esta reacción se produce espontáneamente hacia la derecha con disolución más o menos uniforme del metal, hasta que se ha consumido por entero. Si se pone el hierro en solución neutra de cloruro de sodio, se obtiene un resultado semejante.

La reacción puede dividirse en dos medias fracciones considerando que la oxidación y la reducción ocurren en diferentes zonas de la superficie del metal:



La suma de las ecuaciones (2) y (3) es equivalente a la ecuación (1). Cuando la fase anódica y la fase catódica se

producen simultaneamente en puntos separados por una distancia no mayor de un diámetro atómico, se considera como un mecanismo químico, representado por la ecuación (1) y si las dos fases están separadas por una distancia finita, el mecanismo se considera electroquímico. La división es arbitraria porque se producen cambios de electrones en ambos casos y la definición de separación Anodo - Catodo, si es exacta. Para que sea más fácil comprender y controlar la corrosión, es más útil el concepto de un proceso en dos fases. Además este puede mostrarse experimentalmente cuando las dos fases están separadas por distancias apreciables en la superficie del metal.

REACTANTES Y PRODUCTOS DE REACCION.-

Hasta ahora no se ha dicho nada sobre el carácter físico de los reactantes y los productos. En las ecuaciones (2) y (3) intervienen un metal sólido, electrones, iones y un gas.

Evidentemente las condiciones en los dos lados de la superficie que separan el metal del electrolito decidirán, en grado considerable, la rapidez de la reacción. En presencia de agua y aire solamente, el producto de la corrosión solo puede ser un óxido más o menos hidratado o un hidróxido; cuando están presentes aniones distintos del ión hidroxilo, uno de los productos de la corrosión puede ser

la sal normal o básica del metal, con esos aniones, según las relaciones de energía. Con el dióxido de carbono en la atmósfera o los carbonatos y bicarbonatos del medio, hay que tener en cuenta la posibilidad de que se produzcan carbonatos normales o básicos como — productos sólidos de la corrosión y la cohesión de un precipitado, determinarán, en cierto grado, la continuación de la reacción, por ejemplo; el magnesio en presencia de fluoruros, el plomo en ácido sulfúrico y la plata en un electrolito que contenga el ión cloruro, son muy poco atacados, no por que la reacción no transcurre espontáneamente, sino por la formación inicial de una película insoluble y coherente de un producto de corrosión que impide la reacción ulterior poniendo una barrera de fluoruro de magnesio, sulfato de plomo o cloruro de plata, entre el metal y el medio corrosivo.

Del mecanismo electroquímico se deduce también que el metal y la superficie de separación del metal y el electrolito tienen que ser conductores electrónicos de los que pueden absorber — electrones los iones de hidrógeno.

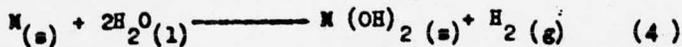
En general la resistencia eléctrica del trayecto metálico, es insignificante y puede prescindirse de ella como factor de control; sin embargo, la conductividad electrónica de las películas

de productos de corrosión o de las películas óxido previamente formadas, puede ser baja, y en algunos casos quizá sea un factor restrictivo.

El producto gaseoso, este es, el hidrógeno, es eliminado de modo continuo, desplazando el equilibrio en el sentido de la reacción de corrosión. Por otro lado, los diversos pasos implicados en la reducción de los iones de hidrógeno y en el desplazamiento del gas, puede influir en la rapidez de la reacción.

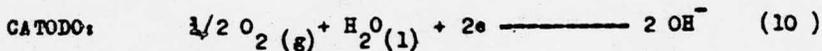
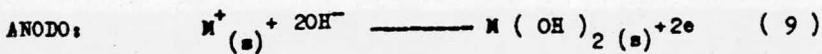
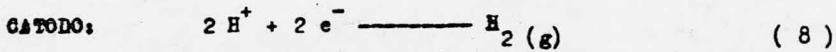
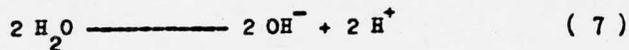
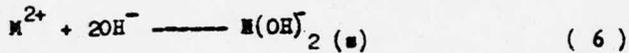
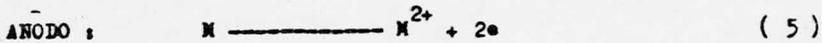
CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS.-

La posibilidad termodinámica de una reacción, puede calcularse siempre que se conozcan los productos de la corrosión y se disponga de los datos necesarios. Werney ha calculado la variación normal de la energía libre y el potencial reversible correspondiente para algunos metales en contacto con el agua en presencia de aire (Presión parcial del oxígeno = 0.21 ATM). En el último caso las reacciones entre el metal sólido, $M_{(s)}$ y el agua son de la forma.



Si el mecanismo es electroquímico en el sentido de pasos separados en el ánodo y en el cátodo, puede dividirse la reacción total (ec. 4) en sus componentes.

Si está presente el oxígeno, las reacciones en las zonas del ánodo y el cátodo puede representarse por:



y la reacción total por:



La tabla 1 contiene valores de la variación en la energía libre y la fuerza electromotriz reversible correspondiente para metales en las condiciones anteriores.

TABLA 1.- VARIACION EN LA ENERGIA LIBRE Y EL POTENCIAL REVERSIBLE DE LAS REACCIONES DE CORROSION.

METAL	PRODUCTO	TIPOS HIDROGENO		TIPO OXIGENO	
		E	F	E	F
		Voltios	cal/st gr.	Voltios	cal/st gr.
Mg	Mg (OH) ₂	+ 1.823	- 84.000	+ 3.042	- 140.000
Al	Al (OH) ₃	+ 1.48	-102.570	+ 2.70	- 180.700
Cr	Cr (OH) ₃	+ 0.47	- 32.500	+ 1.69	- 117.000
Fe	Fe ₃ O ₄	+ 0.082	- 5.020	+ 1.30	- 80.000
Fe	Fe (OH) ₂	+ 0.049	- 2.260	+ 1.27	- 58.000
Fe	Fe (OH) ₃	+ 0.07	+ 4.700	+ 1.15	- 80.000
Co	Co (OH) ₂	- 0.098	+ 4.500	+ 1.12	- 51.700
Ni	Ni (OH) ₂	- 0.17	+ 7.800	+ 1.05	- 48.500
Pb	Pb O	- 0.250	+ 11.500	+ 0.97	- 44.600
Cu	Cu ₂ O	- 0.413	+ 9.500	+ 0.80	- 18.600
Cu	Cu (OH) ₂	- 0.604	+ 27.800	+ 0.615	- 28.300
Cu	Cu O	- 0.537	+ 24.800	+ 0.680	- 31.500
Ag	Ag ₂ O	- 1.172	+ 27.000	+ 0.47	- 1.80

La variación de la energía libre se reconocerá como la — fuerza motriz de la reacción, el trabajo máximo disponible cuando se va del estado inicial al final. Una variación negativa de la e — energía libre y el potencial positivo correspondiente están relacio — nados por la ecuación:

$$F = -nFE \quad (12)$$

Indice una reacción espontánea para formar los productos de corro — sión especificador.

Los datos son muy importantes porque definen la posibili — dad de la reacción en las condiciones dadas y, por consiguiente, — eliminan algunas reacciones de otra manera concebibles para las cua — les son desfavorables las relaciones de energía.

Debe observarse que en presencia del oxígeno la reacción — es espontánea para todos los metales antes indicados, incluso cuando el medio está saturado con el producto de la corrosión; por consiguiente, la extensión y la importancia del problema de la corro — sión son evidentes. Ciertos metales como el magnesio, el aluminio, el cromo, el zinc y el hierro reaccionan con el agua en ausencia de aire (oxígeno) y son, en cierto modo, doblemente susceptibles al ataque.

Con todo, la aplicación práctica de los cálculos termodinámicos a los problemas de la corrosión, entrañan severas limitaciones. Es posible determinar la rapidez de la reacción basándose en —

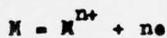
los datos termodinámicos, y aunque la magnitud de la variación de la energía libre pueda ser grande, tal vez razones físicas impiden que la reacción se produzca con una rapidez finita. La predicción se complica por el hecho de que quizá no se conozca exactamente la naturaleza del producto de la corrosión en especial de su estado de hidratación.

SÉRIE ELECTROMOTRIZ.-

La aplicación directa de la serie electromotriz (véase tabla II columna 2) en la cual figuran los metales por orden decreciente de su potencial relativo de oxidación con respecto al electrodo normal de hidrógeno, considerado como cero, tropieza con limitaciones semejantes. Los valores correspondientes a E^0 en la relación general del potencial como función de actividad:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln a \quad (13)$$

Correspondiente a los equilibrios del tipo



Donde deducimos de esta fórmula que "a" es la actividad del ión metálico de carga n.

TABLA II.- COMPARACION DE LA SERIE GALVANICA, EL POTENCIAL NORMAL DE OXIDACION Y LA FUNCION DE TRABAJO DE LOS METALES.-

Serie Galvánica	Potenciales Normales a 25°C Reacción	E°, Voltios	Función de Trabajo	
			Metal	Voltios
MAGNESIO	Mg Mg ²⁺ + 2e	+ 2.34	Mg	2.4
ALUMINIO	Al Al ²⁺ + 3e	+ 1.67	Al	3.0
MANGANESO	Mn Mn ²⁺ + 2e	+ 1.05	Mn	3.8
CINC	Zn Zn ²⁺ + 2e	+ 0.762	Zn	3.5
CROMO	Cr Cr ³⁺ + 3e	+ 0.71	Cr	4.6
FIERRO	Fe Fe ²⁺ + 2e	+ 0.440	Fe	4.7
COBALTO	Co Co ²⁺ + 2e	+ 0.227	Co	4.2
NIQUEL	Ni Ni ²⁺ + 2e	+ 0.250	Ni	5.0
ESTAÑO	Sn Sn ²⁺ + 2e	+ 0.136	-	-
PLOMO	Pb Pb ²⁺ + 2e	+ 0.126	Pb	4.0
HIDROGENO	H ₂ 2H ⁺ + 2e	0.000	-	-
COBRE	Cu Cu ²⁺ + 2e	- 0.345	Cu	4.8
COBRE	Cu Cu ⁺ + e	- 0.522	-	-
PLATA	Ag Ag ⁺ + e	- 0.800	Ag	4.7
PLATINO	Pt Pt ²⁺ + 2e	- 1.2	Pt	6.3

SERIE GALVANICA DE METALES EN AGUA DE MAR :

ACTIVIDAD

Magnesio	Manganeso - Bronce
Aleaciones de magnesio	Niquel (activo)
Sino	76% Ni-16% Cr-7% Fe (activo)
Aluminio 5052 H	Bronce Amarillo
Aluminio 3004	Bronce rojo
Aluminio 3003	Cobre
Aluminio 1100	Bronce silicatado
Aluminio 6053 T	5% Zn - 20% Ni
Cadmio	70% Cu - 30% Ni
Aluminio 2017 T	88% Cu - 2% Zn -10% Sn
Aluminio 2024 T	88% Cu - 3% Zn - 6.5% Sn - 1.5% Pb
Acero Templado	Niquel (pasivo)
Fierro forjado	76% Ni - 16% Cr - 7% Fe
Fierro dulce	70% Ni - 30% Cu
Niquel resistente	Titanio
13% Cromo en acero inoxidable tipo 410 (activo)	18-8 Acero inoxidable, Tipo 304 -- (Pasivo)
50-50 de estaño para soldar	18-8, 3% Molibdeno en acero inoxidable tipo 316 (pasivo)
18-8 Acero inoxidable tipo 304 (Activo)	
18-8, 3% de Molibdeno en acero inoxidable tipo 316 (activo)	

Cuando la actividad del ión metálico en solución es la unidad ($a = 1$), el segundo término de la derecha es cero y, $E = E^{\circ}$. Solo en esas condiciones es directamente aplicable la serie normal. El potencial a que nos referimos es el potencial termodinámico reversible, pero en general las reacciones de corrosión no son reversibles ni implican iones del metal en la actividad unitaria. Por consiguiente, para los fines de la práctica, definimos una serie galvánica (Tabla II) que contiene una lista de los metales por el orden de su reacción reactividad relativa en un electrolito típico; por ejemplo: Cloruro de Sodio.

Debe observarse que el orden es diferente de la serie normal y, en realidad, el zinc se utiliza a menudo para proteger el aluminio porque se corroe con preferencia, o, en una serie galvánica (Tabla II), está encima del aluminio en lugar de estar debajo. La inversión aparente de la relación del potencial es una consecuencia de hecho de que las reacciones de corrosión implican, por lo general, la reducción del ión Hidrógeno más bien que de iones de otro metal, y la diferencia de potencial varía con la concentración del ión Hidrógeno (pH). El potencial del par aluminio-Zinc es cero con $pH = 9$, el Aluminio es anódico en soluciones más alcalinas y el Zinc es anódico en soluciones neutras y ácidas.

La omisión de este factor y la aplicación de la serie normal, pueden dar como resultado conclusiones completamente erróneas en la que respecta a la polaridad de un par galvánico.

Por consiguiente, parece preferible abordar el problema investigando el mecanismo físico y químico por el cual entra en solución el metal, en lugar de adoptar criterios Termodinámicos obtenidos en condiciones concretas y que solo son aplicables a esas condiciones. Las relaciones de energía son todavía fundamentales y fijan los límites de posibilidad; pero los fenómenos complejos irreversibles de la corrosión no pueden, por lo general, calcularse y predecirse por los métodos de la Termodinámica.

C A P I T U L O

II

OBJETIVOS Y PROBLEMATICA

Antes de fijar objetivos, es de hacer notar algunos antecedentes que han influido en la elaboración del presente Trabajo y es esencialmente el de que la protección catódica en un campo de desecho de agua salada, se aplicará por lo general en campos de hidrocarburos o mejor dicho, en yacimientos petrolíferos donde se quiere hacer alguna recuperación tanto de aceite como de gas, que se encuentran disueltos en las aguas saladas de desecho.

Es obvio también, que el proceso de recuperación debe ser económicamente costoso, y que la producción diaria de recuperación deberá durar un mínimo de tiempo.

En estudios elaborados para conocer la recuperación que puede obtenerse de yacimiento, sobresalen dos métodos (que además son los más usuales), llamados uno de ellos Explotación Primaria (donde es muy baja la recuperación de aceite y se hace a base de extracciones con distintas fases como Sólido-Gas etc.), mientras que el otro es el denominado de Recuperación Secundaria. Este segundo es el más utilizado en nuestro país, y se efectúa de dos posibles maneras:

- 1.- Inyección de miscibles desplazados por gas.
- 2.- Inyección de agua.

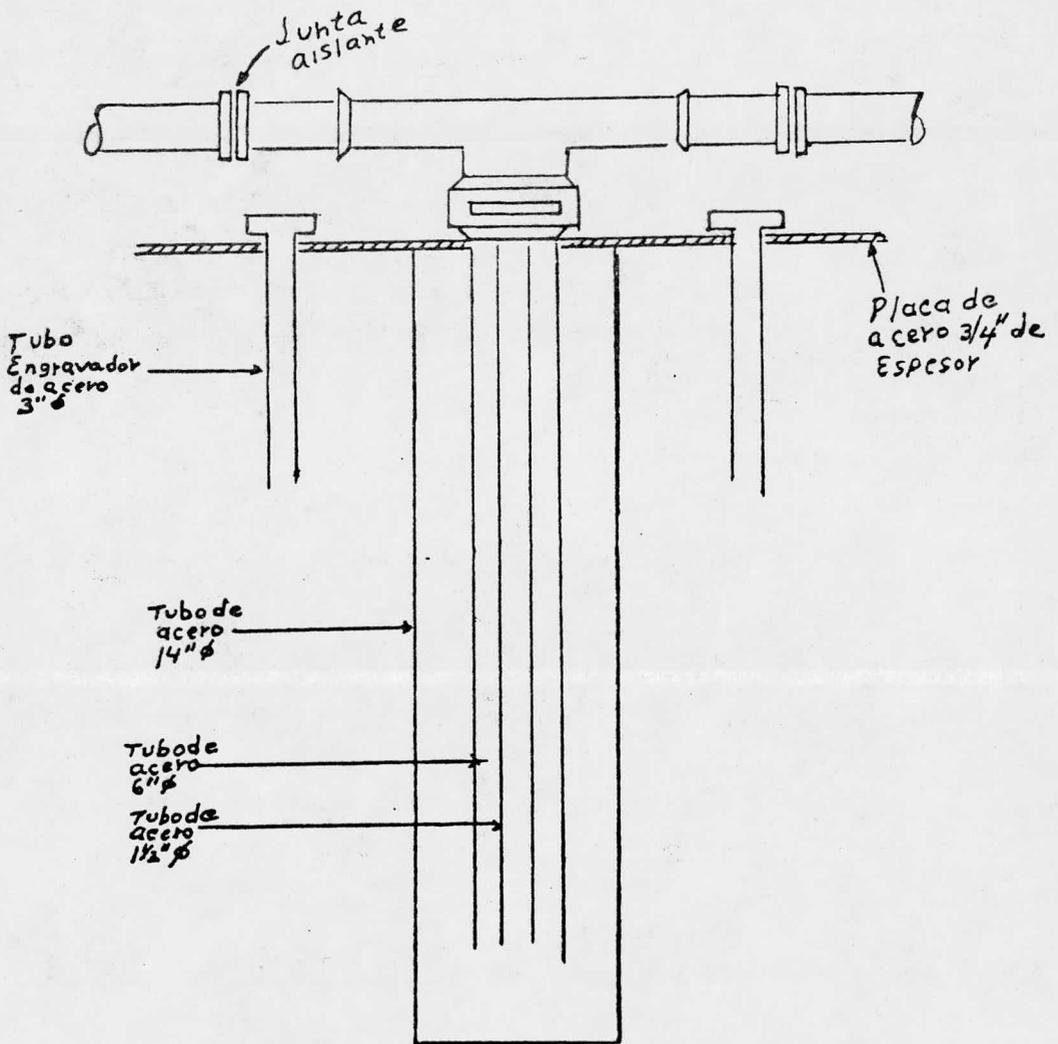
Si se hace un análisis teórico realizado en uno y otro sentido, es fácil encontrar que este último ofrecerá mayores ventajas, tanto desde el punto de vista técnico como desde el económico.

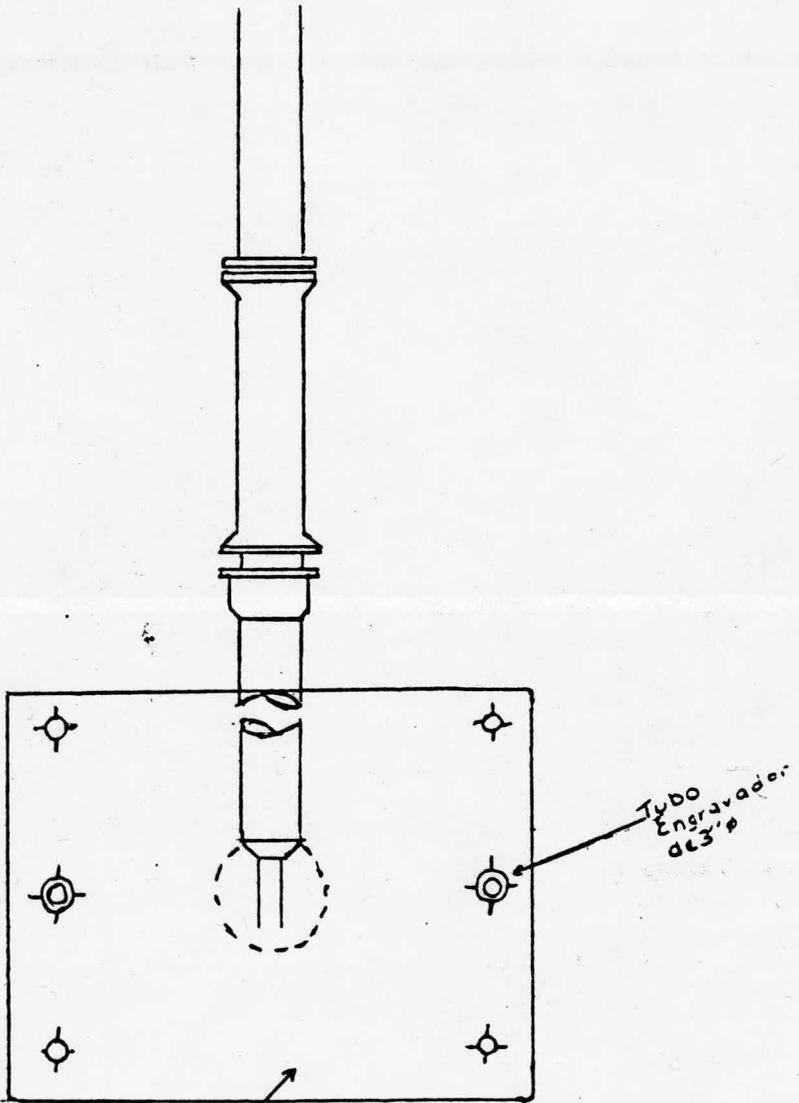
La Shell Oil y el N.A.C.E. (National Association of Corrosion Engineers), en 1974, para comprobar el estudio teórico antes mencionado, en cuanto a la recuperación de hidrocarburos y para poder fijar el procedimiento más adecuado, construyeron una planta piloto de tratamiento de agua dulce, y se utilizaron para la inyección 6 pozos periféricos. Los resultados obtenidos en esta prueba indicaron una recuperación de 13%, en lugar de 8% obtenido por recuperación primaria, habiéndose considerado que la aplicación extensiva de la inyección de agua en todo el yacimiento, podría incrementar la recuperación hasta el 22%; llegándose a la conclusión de que era necesario inyectar agua de una manera integral a este campo de estudio. Al mismo tiempo se consideró que el agua usualmente almacenada en una laguna que había cerca del campo de estudio sería insuficiente para suministrar los volúmenes de agua requeridos y que la del mar podría ser la solución más económica tanto por su disponibilidad como por sus bajos costos de tratamiento (Desalinización).

Aquí precisamente es donde se ha presentado el problema de derecho de grandes volúmenes de agua salada con trazas de aceite y otras sustancias nocivas para la flora y la fauna, causando problemas de contaminación del medio ambiente, en perjuicio de pescadores y campesinos. En vista de ello, se optó por inyectar a formaciones permeables a través de pozos receptores y de esta manera evitar problemas de contaminación ambiental.

Dichos pozos están constituidos por una tubería (Plano I) de revestimiento y una de inyección concéntrica a la anterior.

Además disponen de tuberías anexas para el engravado y limpieza de las mismas (Plano II).





Placa de
acero de
3/4" Espesor

Tubo
Engravador
0.63" ø

↙ Hablando de una manera general, desde su instalación - este equipo de tuberías son protegidas interiormente contra la corrosión de agua salobre con recubrimientos cuyo espesor de película es demasiado delgado y está hecho a base de alquitrán de hulla, - que es aplicado en un 90% de los casos sin un riguroso control que pudiera garantizar la continuidad y características buscadas, de - aquí que en el presente trabajo se consideran desnudas las tuberías de los pozos.

Por otra parte, dada la imposibilidad física de proteger interiormente la tubería de limpieza (que por lo general es de " 4" o menor), se considerará que la corrosión de esta superficie podrá evitarse controlando la calidad del agua inyectada mediante - el empleo de inhibidores, mientras que las otras superficies al con tacto con agua estancada o el suelo deberán ser protegidas estódi camente.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO:

Los objetivos del presente estudio consisten en:

- a) Determinar la solución más económica y conveniente al problema de recolección y desecho de agua salada que se separa del crudo.
- b) Diseñar el sistema de protección estódica más adecuada que comple mente a la protección anticorrosiva que imparten los recubrimien- tos, ya que normalmente estos presentan discontinuidades en su peli

cula protectora.

BASES DE ESTUDIO:

Las bases para la elaboración del presente estudio, son en general datos proporcionados por diferentes medios de información, así como otros proporcionados por el asesor del tema.

Para el primer objetivo a cubrir, las bases serían las siguientes:

- 1.- Volúmenes de agua drenados.
- 2.- Análisis Químico del agua producido en el crudo.
- 3.- Pronósticos de producción de agua.

Mientras que para el diseño del sistema protector se consideran las siguientes acciones del medio estacionario sobre las tuberías.

- I) La exterior, que actúa sobre la superficie externa de la tubería de revestimiento y que se provoca por la humedad del terreno y — por sus diferencias en composición o concentración química.

II) La interior, que afecta la superficie interna de la tubería de revestimiento y la externa de la tubería de inyección y que es ocasionada por la agresividad del agua salada inyectada con elevado contenido de sales disueltas (52 000 ppm).

I.- VOLUMEN DE AGUA DRENADA:

Para los volúmenes a considerarse de agua drenada se encontraron discrepancias en cada país, por ejemplo, en los Estados Unidos, las leyes son mucho más rigurosas en cuanto a contaminación se refiere, comparadas con las de nuestro país, y para que la recuperación sea económicamente costosa se debe producir un volumen aproximado a los 50,000 barriles diarios de aceite, y 5,850 barriles por día de agua salada.

Debemos recordar que, dependiendo de que si un barril por día es medida de volumen inglesa o Norteamericana, éste tiene alrededor de 160 Lts.

En el Medio Oriente, mientras tanto, para que sea económicamente costosa el proceso de recuperación de aceite, y siendo las leyes totalmente flexibles, se requiere un mínimo de 150,000 BPD de aceite y de agua salada 18.000 BPD.

Por otro lado, en nuestro país, se ha empezado a haber estudios para la recuperación de aceite y se ha encontrado, por ejemplo, en la parte de Tamulipas que mediante la inyección de 68,000 Barriles de agua de mar se producirá un Volumen de 13,000

barriles diarios de aceite y 2,516 barriles de agua salada.

En los planos anteriores se puede ver también el detalle de los pozos de inyección.

2.- ANALISIS QUIMICO DEL AGUA PRODUCIDA:

La composición Química del agua fué determinada en muestras representativas y se le puede considerar como salada y con alto contenido de dureza (20,058 ppm de ión cloro y 3,060 ppm de dureza total, expresada como carbonato de calcio).

En la tabla No II-I se indica un análisis completo típico en nuestro país de agua salada.

3.- PRONOSTICO DE PRODUCCION DE AGUA:

Para el campo de recuperación de crudos, se estima que — después de 5 años de estar inyectando agua de mar al yacimiento y — para que sea costable, se deberá tener una producción bruta de — 200,000 BPD (agua-aceite), de los cuales corresponderá al aceite — un máximo de 15%, es decir, 30,000 barriles diarios de los cuales, en las baterías de separadores a la planta petroquímica (cuyo proceso consiste en drenes de la mezcla aceite-agua, deshidratación — del crudo y drenes de agua salada), se drenarán 160,000BPD (25,440 m³ / día) y en las plantas de deshidratación de crudo 17,450 barriles de agua salada.

ANALISIS DEL PROBLEMA:

En el yacimiento que se está considerando, que teóricamente podría funcionar dentro de nuestro país, se extraerán 30,000 — barriles diarios de aceite mediante la inyección de unos

200.000 barriles de agua salada por día, y aunados a ellos, irán 160.000 barriles diarios de agua salada que tendrán que ser eliminados sin causar problemas de contaminación, existiendo la posibilidad de aprovecharles reinyectando dicho volúmen al yacimiento, si fuese económico su tratamiento; de no ser así es muy importante que el desecho se lleve a cabo sin causar problemas de contaminación, ya sea en la flora o en la fauna de la región.

Por otra parte, también deberá evitarse la contaminación del aceite en las playas cercanas, lo que repercutirá indudablemente en una disminución del turismo regional y en perjuicio de la economía local.

Los factores anteriores implican resolver este problema de una manera eficaz, adecuada y económica.

Tabla II-I. Análisis de agua del Campo Tamaulipas

	<u>ppm</u>
pH	7.9
H ₂ S	125
Sólidos disueltos.....	36,588
Sólidos en suspensión .	17
Sólidos Totales.....	36,605
OH ⁻	0
CO ₃ ^m	0
HCO ₃	549
SO ₄	430
Cl ⁻	20,058
Ca ⁺⁺	800
Mg ⁺⁺	260
Na ⁺	12,000
Fe ³⁺ AL ³⁺	13.1
Como Oxidos:	
Fe ³⁺	1.8
Al ³⁺	5.6
Cu ²⁺	1.1
NO ₃ ⁻	5.0
PO ₄ ⁻	8.0
Sílice como SiO ₂	15.0

En la actualidad existen varios métodos para desalinizar el agua, pudiéndose mencionar los procesos de:

- a) Destilación Térmica
- b) Congelación
- c) Electrodialisis

Estos son los más comunes, aunque existen otras técnicas, entre las cuales últimamente se ha hablado en los Estados Unidos del desalado por medios Nucleares (proceso que utilizará energía Atómica para evaporar el agua) sin embargo, algunos de estos procesos son sumamente costosos, ya que requieren grandes cantidades de energía, siendo utilizados en aquellos lugares en que solo se dispone de agua salada. Otros procesos se encuentran en via experimental, como el de ósmosis inversa.

Hoy en día existen en el mundo unas capacidades de producción de agua dulce por desalado de 84 millones de galones diarios.

CAPITULO

III

ALTERNATIVAS CONSIDERADAS EN LA RECOLECCION Y
DESECHO DEL AGUA SALADA QUE SE SEPARA
DEL CRUDO

PROCEDIMIENTOS DE DESECHO:

Los diferentes medios empleados para eliminar la salmuera extraída de los yacimientos petroleros, pueden dividirse en dos grupos:

- 1) Sistemas Superficiales
- 2) Sistemas bajo la Superficie

Los Sistemas Superficiales se clasifican a su vez en tres grupos:

- a) Pisos de filtración (percolation pits)
- b) Evaporación solar
- c) Descarga controlada de agua salada en rios, lagos o en el mar.

Los sistemas de desecho bajo la superficie, se refieren a aquellos en los que el agua salada se inyecta en el subsuelo.

Se puede decir que no hay un criterio general para aplicar uno u otro método, sino que cada caso debe estudiarse a fondo, adaptando las características geográficas, climáticas y geológicas de los lugares.

Por otra parte, también intervienen factores referentes a los volúmenes de agua por eliminar y a los aspectos legales, estatales o federales tendientes a prevenir la contaminación

del medio. (En nuestro país no existen estas disposiciones).

En el presente estudio se analizan las siguientes alternativas para el desecho de agua salada obtenida con el crudo en las diferentes baterías de separadores del campo Tamulipas.

- 1.- Evaporación solar en fosas
- 2.- Inyección al yacimiento productor del aceite
- 3.- Inyección a una formación permeable del subsuelo, sin aprovechamiento posterior.
- 4.- Descarga controlada al mar

EVAPORACION SOLAR EN FOSAS.

Esta alternativa requeriría la construcción de fosas para concentrar la salmuera mediante la evaporación solar, y fosas para cristalización de las sales contenidas en ellas.

Esta alternativa no se considera atractiva por los argumentos siguientes:

- 1.- Las condiciones climatológicas no son totalmente favorables a pesar de que hay período de 6 meses, aproximadamente, en que la evaporación solar en milímetros es superior a la precipitación pluvial.
- 2.- Se requiere de áreas muy extensas de terreno para la construcción de estas instalaciones.
- 3.- Las inversiones son elevadas.
- 4.- Instalaciones de salinas cercanas al yacimiento que beneficien las sales contenidas en el agua de mar.

Todos estos factores inclinan a pensar que esta alternativa resultaría incostruable y poco atractiva.

INYECCION AL YACIMIENTO PRODUCTOR DE ACEITE.

Para aplicar esta alternativa se requeriría construir un sistema colector del agua que se drena en las diferentes baterías de separadores y una planta de tratamiento de agua, para acondicionarle a estas las especificaciones que tiene el agua de inyección, de modo que pueda conectarse al sistema de inyección de agua de mar.

En la siguiente tabla se indican las especificaciones del agua de inyección al yacimiento.

	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE
	P.P.M.	P.P.M.	P.P.M.	P.P.M.	P.P.M.
pH	7.0	7.0	7.3	7.1	7.4
Turbidez (S ₁₀)	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7
Oxígeno (O ₂)	0.3	0.0	0.4	0.3	0.8
Cloruros (NaCl)	35000	34000	35000	28000	30000
Hierro (Fe ³⁺)	—	3.5	2.3	1.1	1.1
Anhidrido Carbónico (CO ₂)	—	—	—	140.0	130.0
Sólidos Disueltos					
totales	39000	39000	39000	32500	32500
Polímeros	—	—	—	—	275
Anticorrosivo	10.0	10.0	18.0	20.0	10.0
Bactericida	100.0	100.00	100.0	100.0	100.0

La viabilidad técnica de esta alternativa estaría supeditada de los resultados de las pruebas analíticas que se realizan con objeto de determinar la compatibilidad de ambas aguas: la del yacimiento y la drenada que se pretende inyectar, pudiéndose de esta manera determinar la corrosividad, la tendencia a formar incrustaciones, la actividad bacteriológica, etc. y tener elementos de juicio para predecir los problemas que en un futuro pudiesen resultar de inyectar la salmuera separada del crudo.

Lo anterior es de suma importancia en la prevención de taponamiento en la formación, especialmente teniendo en cuenta que la permeabilidad promedio de la caliza es de 1.4 milidarcies.

Si mediante las pruebas se determinara que son compatibles, entonces sería procedente hacer una evaluación económica balanceando los costos de tratamiento de la salmuera de desecho con los ahorros que se obtuviesen en la operación y mantenimiento de los motores eléctricos que hoy día se usan para extraer agua de mar.

INYECCION A UNA FORMACION PERMEABLE DEL SUBSUELO SIN APROVECHAMIENTO POSTERIOR.

Según esta alternativa, el desecho de agua salada que se separa del aceite, se haría inyectándolo a una formación somera y permeable, solución que ha tenido gran aceptación en países altamente desarrollados, y con excelentes tecnologías de explotación petrolera, como Estados Unidos de América y Canadá en los cuales se han perforado más de 12,000 pozos para desechar dichas aguas.

Su visibilidad de aplicación se basa principalmente en la disponibilidad de una formación con características adecuadas de extensión, porosidad y permeabilidad, que permitan absorber los volúmenes que se requirieron eliminar.

También influyeron en la selección de esta alternativa los volúmenes desechables, así como las presiones requeridas para la inyección de la salmuera, el costo del equipo de tratamiento y los costos de operación mantenimiento.

Tiene la ventaja de ser un método eficaz para eliminar las corrientes de agua salada, pero en ocasiones requiere de inversiones muy altas, con costos de operación y mantenimiento muy elevado.

DESCARGA CONTROLADA AL MAR.

Esta alternativa implicaría la descarga regulada de la salmuera en el mar, previa eliminación de todas aquellas substancias nocivas que pudieran causar daño a la flora y a la fauna marinas.

Según ella, el sistema de desecho estaría constituido por una red de recolección del agua salada procedente de las diferentes baterías de separadores, un centro de recolección en donde se trataría la salmuera para eliminar su contenido de aceite y ácido sulfúrico y evitar que dieran lugar a problemas de contaminación. También se requeriría un acueducto para enviar el agua salada hasta el mar.

Este planta estaría integrada por una torre desgasificadora, para disminuir mediante aereación intensa, el contenido de ácido sulfúrico; de allí las aguas crudas entrarían a un clarificador con desnatador a fin de retirar el aceite grueso que llevan las aguas.

Para poder retirar el aceite emulsionado, se requiere agitación, por lo que las aguas procedentes del clarificador, se alimentarían a un mezclador y a un floculador, provisto de dos dosificadores: uno para sulfato y otro para cal.

En el siguiente paso las aguas procedentes del floculador entrarían al tanque de presurización y el sediflotador; la salida del aire haría que se recogiera el aceite emulsionado y las materias en suspensión se precipitarían.

De la pared central del tanque se obtendría agua prácticamente libre de aceite, lista para ser descargada al mar.

SELECCION DE ALTERNATIVA

Al hacer un análisis cuidadoso de cada una de las alternativas descritas anteriormente, se encuentra las siguientes:

La alternativa No 1 consistente en el aprovechamiento comercial de las sal, separada por evaporación solar de la salmuera se considera poco factible por la siguiente razón:

Las condiciones climatológicas de la región no son del todo favorables para escalar una planta de este tipo, a pesar de existir un período de 5 ó 6 meses al año en que la evaporación solar es superior a la precipitación pluvial. Los 6 meses restantes se presentan un período de lluvias intensas, durante el cual resultaría inoperante el sistema de desecho de la salmuera. Por otra parte, en otras regiones, por lo general, se encuentran instalaciones de salinas, que por temporadas obtiene sal aprovechando la energía solar.

La alternativa No 2, referente a la inyección de agua salada previo tratamiento, se considera inconveniente desde el punto de — vista técnico, por las razones siguientes:

- a) La permeabilidad promedio de la formación, que es de 1.4 milidarcies (datos proporcionados en Pemex), lo que obligaría a un tratamiento severo y muy costoso al agua que se pretende inyectar, con objeto de prevenir taponamiento en la formación.
- b) Los costos de operación y mantenimiento de equipo de inyección resultarían muy elevados, dadas las características del agua de desecho.

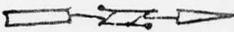
La alternativa No 3, consistente en la inyección de la salmuera a una formación permeable y porosa del subsuelo, resultaría difícil de aplicar por no disponerse en el área, de un horizonte de inyección con características adecuadas. Al igual que en la alternativa anterior, el agua necesitaría un tratamiento riguroso para prevenir taponamientos en la formación.

Esta alternativa es muy restrictiva cuando se dispone de Arenas que pueden recibir grandes volúmenes de agua.

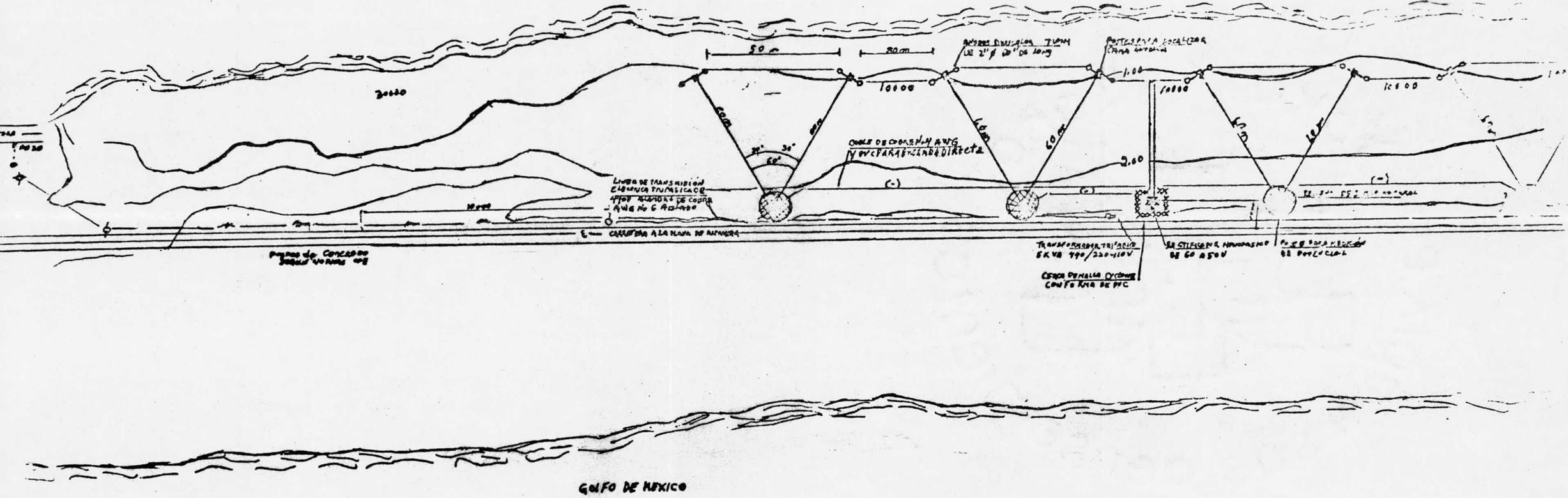
La alternativa No 4, referente a la descarga controlada de agua de mar, previa eliminación de todas las substancias que pueden ejercer daños a la flora y a la fauna marina, parece ser la más — conveniente, pues resolvería el problema en forma satisfactoria.

Para esta alternativa, se requeriría de un sistema de recolección de agua salada constituido por varias líneas, y para facilidad de cálculos, se consideró el desecho del agua salada extraída con el crudo en el campo Tamaulipas Constituciones, tomando en cuenta datos de 1977, donde se estimó un drenaje de 160.000 B.P.D. según la siguiente información, proporcionada en Pemex.

BATERIA		PRODUCCION BRUTA
		(B P D)
Tamaulipas	1	2,820
Tamaulipas	3	29,945
Tamaulipas	4	16,430
Tamaulipas	5	19,300
Tamaulipas	6	10,655
Tamaulipas	7	9,460
Constituciones	1	15,130
Constituciones	2	7,560
Constituciones	3	4,760
Constituciones	4	7,980
Constituciones	5	10,000
Constituciones	6	8,025
Constituciones	7	14,160
Constituciones	8	20,850
Constituciones	9	11,365
		<hr/>
		188,460



LAGUNA (MARISMAS)



VOLUMENES DE AGUA A ELIMINAR

BATERIA	75% de agua para drenar (B P D)	Aceite con 15% de agua (B P D)	15% de agua drenada de los hidrotats (B P D)	Agua por eliminar (B P D)
Temps. 1	2,115	705	10,419	12,534
Temps. 3	22,459	7,486		22,459
Temps. 4	12,322	4,108		12,322
Temps. 5	14,475	4,825		14,475
Temps. 6	2,664	7,991		7,991
Temps. 7	7,095	2,365		7,095
Const. 1	18,847	6,283		18,847
Const. 2	5,680	1,890		5,670
Const. 3	3,570	1,190		3,570
Const. 4	5,985	1,995		5,985
Const. 5	7,500	2,500		7,500
Const. 6	6,019	2,066		6,619
Const. 7	10,620	3,540		10,620
Const. 8	15,637	5,213		15,637
Const. 9	8,539	2,846		8,539
Totals:	148,844	49,616		159,263

En los siguiente dibujos se indica el sistema de recolección propuesto para la conducción de agua salada.

C A P I T U L O

IV

ANALISIS ECONOMICO DE ALTERNATIVA

Metodología de Cálculo:

Para el cálculo hidráulico del sistema de recolección se sigue la siguiente metodología:

- 1.- Cálculo de los diámetros económicos en función del gasto y --- la velocidad (6 pies/seg,) para cada uno de los diferentes tramos. Se utilizó el nomograma que aparece al final del capítulo.
- 2.- Cálculo de las pérdidas unitarias de carga por fricción en cada tramo para las diferentes condiciones de gasto.
- 3.- Cálculo de la caída de presión por fricción en cada tramo para cada una de las Sub-alternativas consideradas.
- 4.- La caída de presión por altura hidrostática, se consideró despreciable por tratarse de un terreno plano, en que las desviaciones por desnivel es mínima.
- 5.- Cálculo de la caída de presión total en cada tramo para todas las sub-alternativas.
- 6.- Cálculo de la presión de descarga, en cada una de las estaciones de bombeo.
- 7.- Corrección de la presión de descarga, para ajustarse a las dos restricciones siguientes:
 - a) Presión máxima de trabajo permitida por líneas.
 - b) Presión mínima requerida para evitar la vaporización del fluido manejado.
- 8.- Cálculo de potencia de bombeo necesaria en cada estación.

para manejar los gastos considerados.

CONSIDERACIONES:

- 1.- Los gastos utilizados en el cálculo hidráulico corresponden al 120% de los gastos considerados en el capítulo anterior.
- 2.- La presión mínima en cualquier parte del sistema, se limitó a 1 Kg/cm^2 (14.22 Lb/in^2).
- 3.- Los diámetros mínimos considerados en el sistema de recolección, fueron de 4".
- 4.- Para determinar el trazo del sistema de recolección, se utilizó el plano del area Temulipas-Constituciones, elaborado por la - Supticia. Gral.. de Construcción, mantenimiento y servicios auxiliares, zona norte, el 15 de abril de 1967, habiéndose estimado la longitud de los acueductos en líneas rectas, considerando un 5% adicional por desarrollo de las líneas.
- 5.- En de hacer notar que el trazo de los acueductos que constituyen el sistema de recolección, se determinó única y exclusivamente con base al plano mencionado anteriormente, por lo que el plano o proyecto verdadero, seguramente se aprovechará en forma óptima, las condiciones del terreno, con la economía consiguiente en longitud y distribución de líneas, así como en el equipo de bombeo.

FORMULAS EMPLEADAS:

- 1.- Para calcular las pérdidas unitarias de carga por fricción se utilizó la ecuación de DARCY:

$$hf + 0.01524 \frac{fLQ^2}{d^5}$$

- 2.- Para calcular la caída total de presión, en un tramo, se utilizó la fórmula:

$$P_t + P_f + P_h$$

3.- Para calcular la potencia consumida en las estaciones de bombeo se utilizó la fórmula:

$$\text{BHP} = \frac{Q (P_d - P_s)}{58,900 \times \rho}$$

4.- Para calcular las pérdidas de carga en tuberías de asbestocemento, se utilizaron gráficos basados en la ecuación de SCEET:

$$H = 410 K_s \frac{v^{1.9}}{D^{1.1}}$$

En estos gráficos se determina la caída de presión en metros de líquido por mil metros de tubería en función del gasto expresado en Lt/seg. y del diámetro del tubo en milímetros.

NOMENCLATURA DE SIMBOLOS:

- hf ——— Caída de presión, en pies de líquido.
- L ——— Longitud de la tubería, en pies.
- f ——— Factor de fricción.
- B ——— Gasto, expresado en barriles por hora.
- Ph ——— Caída de presión por altura hidrostática, en Lb/in².
- d ——— Diámetro interno de la tubería, en pulgadas.
- s ——— Densidad relativa.
- Pt ——— Caída de presión total, en Lb/in².
- Pf ——— Caída de presión por fricción, en Lb/in².

- BHP ----- Potencia consumida, en H.P.
Q ----- Gasto de diseño, manejado en B.P.D.
Pd ----- Presión de descarga en la bomba, en Lb/in².
Ps ----- Presión de succión en la bomba, en Lb/in².
φ ----- Pérdida de carga, en metros, eficiencia igual a 0.7
H ----- Perdida de carga, en metros.
Ks ----- Coeficiente (en éste caso Ks es igual a 0.32)
V ----- Velocidad, en metros / segundo
D ----- Diámetro del tubo, en pulgadas.

Como se indicó en el capítulo anterior, la alternativa No. 4, sería la más atractiva, pero podemos subdividirla en otras dos alternativas, la 4 A que consideraría el uso de una tubería nueva de acero. API, Std y la 4 B, que se referiría al empleo de tubería de esbeto- cemento, con especificaciones también.

Los diámetros de tuberías que a continuación se dan fueron calculados de acuerdo a los volúmenes de agua a drenar y las longitudes de acuerdo al plano antes mencionado.

En la tabla No. IV -1 se listan los diámetros, las líneas y las longitudes antes mencionadas.

TABLA No. IV -I

<u>LÍNEA</u>	<u>DIAMETRO (in)</u>	<u>LONGITUD (Km)</u>
B.T. # 1-B.T. #6	6	1.790
B.T. # 7-B.T. #6	6	1.820
B.T. #6 -B.T. #5	8	1.350
B.T. # 3-B.T. #5	8	1.530
B.T. # 4-B.T. #8	6	1.300
B.C. # 8- Pta. de Tratamiento	8	0.600
B.T. # 5- Pta. de tratamiento	14	2.100
B.C. # 5- Pta. de tratamiento	6	1.400
B.C. # 6- B.C. #1	4	1.120
B.C. # 4- B.C. #2	4	1.360
B.C. # 2 B.C. #7	6	1.550
B.C. # 9- Pta. de tratamiento	6	1.700
B.C. # 3- B.C. #7	4	1.700
B.C. # 1- B.C. #7	8	1.800
B.C. # 7- Pta. de tratamiento	12	1.070
Pta. de Tratamiento - Msr	24	8.000

NOTAS:

B.- Baterías de separadores.

T.- Tamsulipes.

C.- Constituciones.

Con éstas longitudes y diámetros, se puede calcular la potencia requerida y empezar nuestro cálculo económico.

POTENCIA REQUERIDA EN H.P.

LOCALIZACION

ALTERNATIVA 4A y 4B

Baterías Temaulipes	1	15
" "	3	15
" "	4	10
" "	5	40
" "	6	25
" "	7	3
" Constituciones	1	20
" "	2	7.5
" "	3	3
" "	4	7.5
" "	5	2
" "	6	7.5
" "	7	15
" "	8	10
" "	9	5
Pta. de tratamiento		<u>125</u>
TOTAL		310.5

Debemos de tener en cuenta que la planta operará 24Hr/día y 365 días el año, por lo que es necesario aumentar el número de máquinas debido a lo pesado del trabajo o a la eficiencia baja, por lo que se recomienda el número de máquinas siguientes:

POTENCIA TOTAL EN H.P.

LOCALIZACION		H.P. Requeridos	No Máquinas	E.P. TOTALES
Baterías Temsulipes	1	15	2 de 15	30
" "	3	15	2 " 15	30
" "	4	10	2 " 10	20
" "	5	40	3 " 20	60
" "	6	25	2 " 25	50
" "	7	3	2 " 3	6
" Constituciones	1	20	2 " 20	40
" "	2	7.5	2 " 7.5	15
" "	3	3	2 " 3	6
" "	4	7.5	2 " 7.5	15
" "	5	2	2 " 2	4
" "	6	7.5	2 " 7.5	15
" "	7	15	2 " 15	30
" "	8	10	2 " 10	20
" "	9	5	2 " 5	10
Pta. de Tratamiento		<u>125</u>	<u>3 " 60</u>	<u>180</u>
TOTALES		310.5	34 Máquinas	531

Con estos datos procederemos al análisis económico de las dos subalternativas, teniendo en cuenta precios de tuberías y tomando en cuenta porcentajes sobre estos de mano de obra, ingeniería y administración.

ANALISIS ECONOMICO DE LA ALTERNATIVA 4- A

<u>No. CONCEPTO</u>	<u>MANO DE</u>		<u>ADMON.</u>		
	<u>MATERIAL</u>	<u>OBRA</u>	<u>INGENIERIA</u>	<u>Y OTROS</u>	<u>TOTAL</u>
L 1.790 Km de tubería de 6 " ϕ especifica- ción API- Std. de --- 0.288" de espesor --- entre las barerías de separadores Tamsulipes 1 y Tamsulipes 6	163, 112	97,867	16,311	20, 389	297,679
2.1.820 Km. de tubería de 6" ϕ especificación API-Std. de 0.288" de espesor entre las baterías de separadores Tamsulipes 7 y Tamsulipes 6	165,851	99.510	16.585	20.731	302,677
3 1.350 Km. de tubería de 8" ϕ especificación API- Std. de 0.288" de espesor entre baterías de separadores Tamsulipes 6 y Tamsulipes 5	145,343	87.205	14.534	18,167	265,249

<u>No. CONCEPTO</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>MANO DE</u>			<u>ADMON.</u>	<u>TOTAL</u>
		<u>OBRA</u>	<u>INGENIERIA</u>	<u>Y OTROS</u>		
4 1.530 Km de tuberías de 8"Ø/ especificación API-Std. de 0.288" de espesor entre baterías de separados Tamaulipas 3 y Tamaulipas 5	164,725	98,835	16,472	20,590	300,622	
5 1.300 Km. de tuberías de 6 "Ø especificación API-Std. de 0.288" de espesor entre baterías de separados Tamaulipas 4 y Constituciones 8	118,462	71,077	11,846	14,807	216,192	
6 0.600 Km. de tuberías de 8" Ø especificación API- Std. de 0.288" de espesor entre baterías de separados Constituciones 8 y la planta de Tratamiento de agua	64,600	36,360	6,460	8,075	115,495	

No. CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE			TOTAL	
		OBRA	INGENIERIA	ADMON. Y OTROS		
7 2.100 Km de tubería de 14"φ especificación API-Std. de 0.250" de espesor entre baterías de separadores Tamsulipas 5 y Planta de Tratamiento de agua		465,125	279,075	46,512	58,140	848,852
8 1.400 Km de tubería de 6 "φ especificación API- Std. y 0.288" de espesor entre baterías de separadores Constituciones 5 y la Planta de Tratamiento de agua		127,575	76,545	12,757	15,946	232,823
9 1.120 Km de tubería de 4" φ especificación API- Std. y 0.288" de espesor entre baterías de separadores Constituciones 6 y Constituciones 1		70, 181	42,108	7, 018	8,772	128,079

No.	CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE		ADMON.	
			OBRA	INGENIERIA	Y OTROS TOTAL	
10	1.360 Km de tubería de 4"φ especifica - ción API-Std. y --- 0.288 de espesor --- entre baterías de se paradores Constitu- ciones 2	85,218	51,130	8,521	10,652	155,521
11	1.550 Km de tubería de 6"φ especifica - ción API-Std. y --- 0.288" de espesor - entre baterías de se paradores Constitu- ciones 2 y Constitu- ciones 7	141,343	84,745	14,124	17,655	257,767
12	1.700 Km de tubería de 6"φ especifica - ción API-Std. y --- 0.288" de espesor - entre baterías de se paradores Constitu- ciones 9 y la Plan- ta Tratamiento de agua	154,912	92,947	15,941	19,364	282,714

<u>No</u> <u>CONCEPTO</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>MANO DE OERA</u>	<u>INGENIERIA</u>	<u>ALMON. Y OTROS</u>	<u>TOTAL</u>
13 1.700 Km de tuberías de 4"φ especificación API-Std. y 0.250" de espesor entre baterías de separadores Constituciones 3 y Constituciones 7	231,525	138,915	23,152	28,940	422,532
14 1.800 Km de tuberías de 8"φ especificación API-Std. y 0.288" de espesor entre baterías de separadores Constituciones 1 y constituciones 7	193,793	116,275	19,379	24,224	353,671
15 1.070 Km de tuberías de 12"φ especificación API-Std. y 0.288" de espesor entre baterías de separadores — Constituciones 7 y Plan de Tratamiento de agua	198,268	118,960	19,826	24,783	361,837

TOTALES DEL SISTEMA DE RECOLECCION:

MATERIAL	- - - - -	\$2,489,933
Mano DE OBRA	- - - - -	\$1,491,554
INGENIERIA	- - - - -	\$ 248,988
ADMINISTRACION Y OTROS	- - - - -	\$ 311,235
TOTAL	- - - - -	\$4,541,710

Al cual debemos de agregarle el concepto No 16, que serian 8.0 Km de tuberis de acero de 24"φ especificación API-Std y 0.250" de espesor entre la Planta de Tratamiento de agua y el punto de descarga en el Golfo de México.

MATERIAL	- - - - -	\$3,742,900
MANO DE OBRA	- - - - -	\$2,245,740
INGENIERIA	- - - - -	\$ 374,290
ADMINISTRACION Y OTROS	- - - - -	\$ 467,862
TOTAL :	- - - - -	\$6,381,674

TOTALES DEL DESECHO DE AGUA SALADA SEPARADA DEL CRUDO:

MATERIAL	- - - - -	\$ 6,232,833.00
MANO DE OBRA	- - - - -	\$ 3,737,294.00
INGENIERIA	- - - - -	\$ 623,278.00
ADMINISTRACION Y OTROS	- - - - -	\$ 779,097.00
TOTAL-	- - - - -	\$11,372,502.00

ESTIMADO DE COSTO DEL EQUIPO DE BOMBEO:

No. CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (#) (#)	TOTAL (#)
1 Bomba Centrífuga accionada por motores de 15 H.P. en la batería Tamsulips 1	2	27,000	54,000
2 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 15 H.P. en la batería Tamsulips 4	2	27,000	54,000
3 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 10H.P. en la batería Tamsulips No 4	2	18,000	36,000
4 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 20H.P. en la batería Tamsulips No 5	3	36,000	108,000

No Concepto	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (#) (#)	TOTAL (#)
5 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 25H.P. en la batería Tamsulipes No 6	2	45,000	90,000
6 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 3 H.P. en la batería Tamsulipes No 7	2	5,400	10,800
7 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 20H.P. en la batería Constituciones No 1	2	36,000	72,000
8 Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 7.5H.P. en la batería Constituciones N2	2	13,500	27,000

No	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (#)	TOTAL
			(#)	(#)
9	Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 3 H.P. en la batería Constituciones No 3	2	5,400	10,800
10	Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 7,5H.P. en la batería Constituciones No 4	2	13,500	27,000
11	Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 2 H.P. en la batería Constituciones No 5	2	3,600	7,200
12	Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 7.5H.P. en la batería Constituciones No 6	2	13,500	27,000
13	Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 15H.P. en la batería Constituciones No 7	2	27,000	54,000
14	Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 10H.P.			

No CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (#) (\$)	TOTAL (\$)
en la batería Consti- tuciones No 8	2	18,000	36,000
15 Bomba Centrífuga ac- cionada por motores eléctricos de 5 H.P en la batería Consti- tuciones No 9	2	9,000	18,000
Bomba Centrífuga accionada por motores eléctricos de 60 H.P en la Planta de Tra- tamiento de agua	3	108,000	324,000
TOTAL DEL EQUIPO DE BOMBEO		\$ 955,800	

(#)

Se ha considerado un costo de \$ 1,800 H.P. instalada, com-
prendiendo el grupo motor-bomba, fletes, instalación, cone-
xiones, instrumentación e imprevistos.

ESTIMADO DE COSTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

No	CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA (\$)	TOTAL (\$)
1	Torre desgasificadora construida en madera y equipada con venti- lador para abatir el contenido de ácido sulfú- rico	175,000	175,000	350,000
2	Tanque Clarificador di- señado para un gasto de 313 lt/seg. o sea 27,043 m ³ /día construi- do de concreto	257,000	267.00	534,000
3	Tanque de mezcla de -- reactivos para un gasto de 313 lt/seg.	27,300	27,300	54,600
4	Sistema de dosificación de reactivo, incluyendo bombas	110,000	110,000	220,000
5	Tanque floculador para manejar un gasto de 313 lt/seg de concreto arma- do	81,600	81,600	163,200
6	Tanque sediflotar o simi- lar de concreto provisto de desnatadores para eli- minar aceites emulsionado con capacidad de 313lt/seg.	672,000	672,000	1,344,000
TOTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA: \$				2,665,800

ANALISIS ECONOMICO DE LA 2ª ALTERNATIVA

(Sistema de recolección con tubería de Asbesto- Cemento)

ANALISIS ECONOMICO DEL DESECHO DE AGUA SALADA SEPARADA DEL CRUDO:

<u>No</u>	<u>CONCEPTO</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>MANO DE OBRA</u>	<u>ADMON. INGENIERI Y OTROS</u>	<u>TOTAL</u>	
1	1.790 Km de tubería de 6"φ de <u>asbesto cemento</u> , especificación A-7 entre la batería de separadores Tamsulipas 1 y Tamsulipas 6	74,270	8,400	11,600	168,000	
2	1.820 Km de tubería de 6" φ de <u>asbesto cemento</u> , especificación A-7 entre la batería de separadores Tamsulipas 7 y Tamsulipas 6	75,510	74,800	8,540	11,960	170,810
3	1.350 Km de tubería de 8" φ de <u>asbesto cemento</u> especificación A-7 entre la Batería de separadores Tamsulipas 6 y Tamsulipas 5.	76,510	70,335	8,350	11,705	167,079
4	1.530 Km de tubería de 8" φ de <u>asbesto cemento</u> , especificación A-7 entre la batería de separadores Tamsulipas 3 y Tamsulipas 5.	86,910	79,715	9,470	13,285	189,380

<u>No CONCEPTO</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>MANO DE OBRA</u>	<u>ADMON. INGENIERIA Y OTROS</u>	<u>TOTAL</u>
5 1.300 Km de tubería de 6" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre la batería de separadores Temaulipas 4 y Constituciones 8.	53,940	53,430	8,540	122,010
6 0.600 Km de tubería de 8" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre la batería de separadores Constituciones 8 y la planta de tratamiento de agua.	34,080	31,260	3,715	5,195 74,250
7 2.100 Km de tubería de 14" ϕ de asbesto cemento especificación A-7 entre la batería de separadores Temaulipas 5 y la planta de tratamiento de agua.	297,570	187,740	27,575	38,605 551,490
8 1.400 Km de tubería de 6" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre la batería de separadores Constituciones 5 y la planta de tratamiento de agua	58,080	32,450	3,625	5,075 72,480

<u>No CONCEPTO</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>MANO DE OBRA</u>	<u>INGENIERIA</u>	<u>AYUD. Y OTROS</u>	<u>TOTAL</u>
9. 1.120 Km de tubería de 4" ϕ de asbesto - cemento, especifica- ción A-7 entre la ba- tería de separadores Constituciones 6 y - Constituciones 1.	31,330	32,450	3,625	5,075	72,480
10 1.360 Km de tubería de 4" ϕ de asbesto ce- mento, especificación A-7 entre la Bateria - de separadores Consti- tuciones 4 y Constitu- ciones 2.	30,040	39,400	4,400	6,160	88,000
11 1.550 Km de tubería de 6" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre la batería de separadores Constituciones 2 y Cons- tituciones 7.	64,310	63,705	7,725	10,180	145,920
12 1.700 Km de tubería de 4" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre la batería de separadores Constituciones 3 y Consti- tuciones 7.	47,550	49,250	5,500	7,700	110,000

<u>No CONCEPTO</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>MANO DE OBRA</u>	<u>DE INGENIERIA</u>	<u>ADMON. Y OTROS</u>	<u>TOTAL</u>
13 1.700 Km de tuberías de 4" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre las baterías de separadores Constituciones 9 y la planta de tratamiento de agua.	47,550	49,250	5,500	7,700	110,000
14 1.800 Km de tuberías de 8" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre las baterías de separadores Constituciones 1 y Constituciones 7.	102,249	93,780	11,140	15,590	222,750
15 1.070 Km de tuberías de 12" ϕ de asbesto cemento, especificación A-7 entre las baterías de separadores Constituciones 7 y la planta de tratamiento de agua.	115,400	85,815	11,430	16,005	228,650

TOTAL DE SISTEMA DE RECOLECCION:

MATERIAL	\$ 1,203,460
MANO DE OBRA	\$ 1,042,040
INGENIERIA	\$ 127,590
ADMINISTRACION Y OTROS	\$ 178,660
TOTAL	\$2,551,750

A éste último total debemos agregarle el concepto No 16 que serían 8.0 Km de tubería de 24" ϕ de asbesto-Cemento, especificación A-7 entre la planta de tratamiento de agua y el punto de descarga en el Golfo de México:

MATERIAL	\$ 2,959,920
MANO DE OBRA	\$ 1,185,200
INGENIERIA	\$ 235,520
ADMINISTRACION Y OTROS	\$ 329,730
TOTAL	\$ 4,710,370

COSTOS DEL DESECHO DE AGUA SALADA SEPARADA DEL CRUDO:

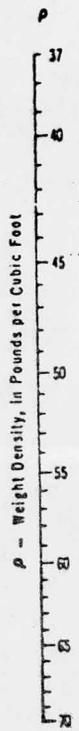
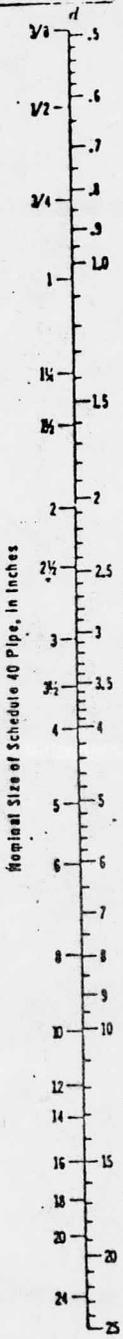
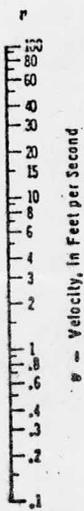
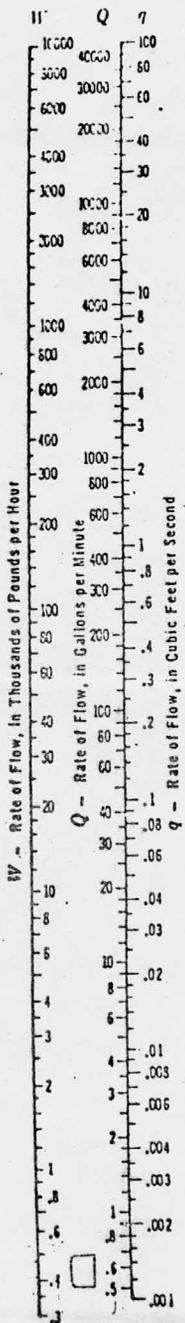
MATERIAL	\$ 4,163,380.00
MANO DE OBRA	\$ 2,227,240.00
INGENIERIA	\$ 363,110.00
ADMINISTRACION Y OTROS	\$ 508,390.00
TOTAL	\$7,262,170.00

VELOCIDAD DE LIQUIDOS EN TUBERIAS

Ecuaciones empleadas

$$V = 183.3 \frac{q}{d^2}$$

$$V = 0.408 \frac{Q}{d^2}$$



C A P I T U L O

V

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION

CATODICA

Como decíamos en el capítulo II, el agua salada extraída con el aceite se va a inyectar a formaciones permeables a través de 4 - pozos receptores y de esta manera evitar problemas de contaminación ambiental.

Dichos pozos están constituidos por una tubería de revestimientos de 14" ϕ y 36 mts. de profundidad y una de inyección de 6" ϕ , concéntrica a la anterior. Además disponen de tuberías de 3" ϕ - para engravado y limpieza de los mismos (ver capítulo II).

Desde su instalación estas tuberías fueron protegidas interiormente con una película delgada de espesor de un recubrimiento a base de alquitran de hulla, que fué aplicado sin un riguroso - control que pudiera garantizar, la continuidad y características buscadas, obligando a que en el presente trabajo se considere desnudas a las tuberías de dichos pozos.

Por otra parte, dada la imposibilidad física de proteger - interiormente la tubería de limpieza (3" ϕ). se consideró que la corrosión de ésta superficie podrá evitarse controlando la calidad del agua inyectada o mediante el empleo de inhibidores, mientras - que las otras superficies al contacto con agua estancada o el suelo deberá protegerse catódicamente.

Para el diseño del sistema protector se considera --
las siguientes acciones del medio estacionario sobre las tuberías:

a) La exterior: que actúa sobre la superficie externa de la tubería de revestimiento y que es provocada por la humedad del terreno, y por sus diferencias en composición ó concentración químicas.

b) La interior: que afecta a la superficie interna de la tubería de inyección y que es ocasionada por la agresividad del agua salada inyectada con elevado contenido de sales disueltas (52,000 ppm)" ver capítulo II ".

REQUERIMIENTO DE CORRIENTE PROTECTORA.

De acuerdo a lo anterior para proteger a las superficies al contacto con agua salada estacionada se requerirá aplicar la siguiente cantidad de corriente.

a) Superficie exterior de la tubería de revestimiento:

$$A_1 = 11 D L = 3.1416 \times \frac{14}{12} \times 36 \times 3.28 = 396 \text{ pies}^2$$

$$\text{Densidad de Corriente} = 6 \text{ m. amp./ pies}^2$$

NOTA: Esta densidad es normalmente aplicada a estructuras en contacto con agua salada.

$$\text{Corriente requerida} = 396 \times 6 = 2376 \text{ m. amp.}$$

b) Superficie interior de la tubería de revestimiento:

$$A_2 = 11 \text{ D L} = 3.1416 \times \frac{14}{12} \times 36 \times 3.28 = 396 \text{ pies}^2$$

$$\text{Densidad de corriente} = 6 \text{ m. amp. / pies}^2$$

$$\text{corriente requerida} = 3.96 \times 6 = 2376 \text{ M. amp.}$$

c) Superficie exterior de la tubería de inyección:

$$A_3 = 11 \text{ D L} = 3.1416 \times \frac{6}{12} \times 30 \times 3.28 = 164 \text{ pies}^2$$

$$\text{Corriente requerida} = 164 \times 6 = 984 \text{ m. amp.}$$

$$A_4 = 11 \text{ D L} = 3.1416 \times \frac{3}{12} \times 20 \times 3.28 \times 2 = 105 \text{ pies}^2$$

$$\text{Corriente requerida} = 105 \times 6 = 630 \text{ m. amp.}$$

$$\text{Corriente Total} = 2376 + 2376 + 984 + 630$$

$$\text{Corriente total} = 6360 \text{ m. amp.}$$

Para efectos de diseño es conveniente afectar el valor de la corriente protectora calculada por un factor de 2 con objeto de satisfacer requerimientos adicionales e imprevistos, o sea:

$$\text{I diseño} = 6360 \times 2 = 12720 \text{ amp.}$$

Algunas veces resulta práctico el empleo de ánodos de sacrificio para la protección exterior de la tubería de revestimiento cuando los agregados (grava) tienen resistividad del orden de ---
3,500 OHM - cm³.

Debido a las limitaciones que tiene el recubrimiento aplicado el potencial máximo en el punto de drenaje se considera que no debe exceder de 1.2 Volts con respecto a un electrodo, Cu- CuSO₄ a fin de evitar la presencia de fenómenos electroforéticos que pudiere dañarle u ocasionar su desprendimiento y pérdida de sus propiedades dieléctricas.

Se considere un acometido a una distancia de 300 m. en baja tensión, (440 volts) y se requeriría de un rectificador localizado en un punto donde la resistividad sea del orden de 600- 800 OHM - cm³.

La resistencia del circuito del sistema protector sería -
la siguiente:

$$R_t = \frac{R_g \times F_s \times F_s}{N}$$

en donde:

R_t = Resistencia total del circuito en OHMS.

R_g = Resistencia del grupo anódico 600- 800 O HMS- cm³

F_s = Factor de agrupamiento del conjunto anódico (hay varios tipos de ánodos, por ejemplo: DURICHLOR de varios tipos, de varios diámetros y longitudes = 1.22

F_s = Factor de seguridad que involucre resistencias de cables empleados en las interacciones anódicas y catódicas = 1.5

N = Número de anodos.

Consideremos una distancia entre pozos de 60 m. un número de anodos para 10 años de vida útil, consideremos 16.

Este valor obtenido en la fórmula anterior se ajustaría a especificaciones comerciales y de mayor uso por ejemplo un voltaje de 60 volts y una corriente de 50 amperes, ambos en corriente directa.

La protección interior se calcularía de la misma manera, o sea tomando en cuenta los siguientes factores:

- a) Corriente de diseño (por pozo)
- b) Vida útil del sistema (en años)
- c) Tipo de anodo a utilizar
- b) Dimensiones de éste anodo y peso
- e) Consumo teórico del anodo de a 90% de eficiencia
- f) Corriente por anodo
- g) Número de anodos por pozo

El costo estimado de la instalación sería del orden de 350,000 según datos de Cutler Hammer, Federal Pacific y Square "D" así como datos de conductores Monterrey Número 4 AWG.

De acuerdo a lo antes expuesto para proteger estódicamente a la tubería de los pozos de desecho de agua salada se requiere lo siguiente:

PROTECCION EXTERIOR:

- a) Instalación de un rectificador monofásico enfriado por aire con especificaciones especiales y comerciales.
- b) Instalación de anodos, con separación entre ellos y distribuidos en forma tal que garantice su durabilidad y seguridad.
- c) Instalación de una caseta de alambre de malla recubierta con PVC.
- d) Instalación de postes de medición y amojonamiento con inscripciones mostradas en el dibujo de páginas posteriores.
- e) Construcción de una línea de transmisión eléctrica, trifásica, 440 Volts y de la longitud deseada.
- f) Alimentación al rectificador a través de un transformador trifásico para reducir de 440 Volts a 220-110 Volts (C.A)

PROTECCION INTERIOR:

e) Instalación de ánodos (pueden ser del tipo Galvalum) con distribución e instalación adecuada, es decir, con especificaciones de operación tales que en su servicio la calidad de los ánodos sea óptima y que sus características tengan o llegen a los índices de estabilidad de Langelier y de Ryznar descritos a continuación:

INDICE DE LANGELIER Y DE RYZNAR

En 1936, el profesor Langelier publicó un trabajo referente a las condiciones en las cuales un agua está en equilibrio con el carbonato de calcio.

El uso de la ecuación desarrollada por Langelier, hace posible predecir la tendencia del agua (natural o acondicionada) a depositar carbonato de calcio.

El índice de Langelier se puede calcular según la expresión:

$$pH_s = (9.30 + A + B) - (C - B)$$

en donde:

pH_s = pH de saturación del carbonato de calcio

A = Constante en función del contenido de sólidos totales, ppm

B = Constante en función de la temperatura

C = Constante en función de la dureza total, expresada como ppm de $CaCO_3$

D = Constante en función de la alcalinidad, expresada como ppm de $CaCO_3$

Los valores de las constantes A, B, C, y D se pueden encontrar en el manual de "Natural Gas Processors Suppliers Association".

Ryznar, por otra parte, ha propuesto su Índice de Estabilidad, el cual es un método empírico para determinar las tendencias incrustantes y está basado en el estudio de resultado de aguas con diferentes índices de saturación.

La expresión del índice de Ryznar, es:

$$\text{Índice de Estabilidad} = 2\text{pHs} - \text{pH}$$

en donde:

pHs = pH de saturación del carbonato de calcio.

pH = pH medido en condiciones normales.

Por lo expresado anteriormente, se desprende que el índice de saturación y el índice de estabilidad, ayudan a predecir las tendencias corrosivas ó incrustantes del agua.

Aplicando estos conceptos al aguassalada que se drena en el campo Tamsulipas- Constituciones, se tiene:

	<u>ppm</u>
Sólidos Totales	36,605
Dureza del calcio como CaCO_3	3,069
Alcalinidad como CaCO_3	444.9
El valor de las constantes es :	A = 0.150 (#)

(#) Se consideró que sería una solución diluida a 100 Volúmenes con agua.

B = 2.06 ($70^\circ \text{F} = 21.1^\circ \text{C}$)

C = 1.08

$$D = 0.60$$

$$pH_s = (9.30 + A + B) - (C + D)$$

$$pH_s = 11.510 - 1.68 = 9.83$$

Indice de Saturación:

$$I_s = pH - pH_s$$

$$I_s = 7.9 - 9.83 = - 1.93$$

Indice de Estabilidad de Ryzner:

$$I_e = 2 pH_s - pH$$

$$I_e = 19.66 - 7.9 = 11.76$$

Los índices indican que el agua tiene un carácter fuertemente -
corrosivo. (ver gráficos anexos).

CaCO₃ SATURATION INDEX (LANGFELDER INDEX)

(Based on the Langfeller Formula: Larson-Buswell; Residual--Temperature Adjustment; Arranged by Herdick)

1. $pH = 9.30 + A - B - (C + D)$
(Note: Values of A, B, C & D are obtained from tables A, B, C & D)

2. Saturation Index = $pH - pH_s$

If index is 0, water is in chemical balance.

If index is a plus quantity, scale forming tendencies are indicated.

If index is a minus quantity, corrosive tendencies are indicated.

Example: To find the saturation index at 124° F. of water which has the following characteristics: Total solids—400 ppm; calcium hardness as CaCO₃—240 ppm; alkalinity as CaCO₃—196 ppm; and pH of 7.2. Then:

Total solids 400 ppm = 0.16 (from table A)

Temperature 124° F. = 1.53 (from table B)

Calcium hardness as CaCO₃ 240 ppm = 1.98 (from lower table C)

Alkalinity as CaCO₃ 196 ppm = 2.29 (from upper table D)

Substituting: $pH = (9.30 + 0.16 + 1.53) - (1.98 + 2.29) = 6.72$ (or 6.7)

Saturation Index = $7.2 - 6.7 = +0.5$

A	
Total Solids in ppm	
50	.07
75	.08
100	.10
150	.11
200	.13
300	.14
400	.16
600	.18
800	.19
1000	.20

B		UNITS					
Temperatures in degrees Fahrenheit		0	2	4	6	8	9
30	TEMP.	2.40	2.42	2.57	2.54	2.51	2.51
40		2.48	2.45	2.43	2.43	2.37	2.37
50		2.31	2.31	2.23	2.23	2.22	2.22
60		2.20	2.17	2.14	2.11	2.09	2.09
70		2.05	2.01	2.00	2.00	1.97	1.97
80		1.95	1.92	1.90	1.93	1.85	1.85
90		1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.76
100		1.74	1.72	1.71	1.69	1.67	1.67
110		1.65	1.61	1.62	1.60	1.58	1.58
120		1.57	1.55	1.53	1.51	1.50	1.50
130		1.49	1.45	1.44	1.43	1.41	1.41
140		1.40	1.33	1.37	1.35	1.34	1.34
150		1.32	1.31	1.29	1.25	1.27	1.27
160		1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21
170		1.19	1.18	1.17	1.16	1.16	1.16

C
Calcium hardness expressed as ppm CaCO₃
(For 1 to 200 ppm CaCO₃, use upper table)
(For 210 to 900 ppm CaCO₃, use lower table)

UNITS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	TEMP.	0.00	0.04	0.65	0.72	0.73	0.78	0.81	0.83	0.83	0.83
10		0.00	0.02	0.04	0.06	0.05	1.00	1.02	1.03	1.03	1.03
20		1.04	1.09	1.11	1.12	1.13	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19
30		1.20	1.21	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.27	1.28	1.29
40		1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.34	1.35	1.36	1.37	1.37
50		1.35	1.35	1.35	1.35	1.34	1.34	1.34	1.33	1.32	1.31
60		1.45	1.45	1.45	1.47	1.47	1.45	1.43	1.43	1.43	1.50
70		1.51	1.51	1.52	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54	1.55	1.55
80		1.55	1.55	1.57	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.60
90		1.60	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64
100		1.64	1.65	1.65	1.65	1.66	1.66	1.67	1.67	1.67	1.68
110		1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
120		1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74	1.74	1.74	1.75
130		1.75	1.75	1.75	1.75	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77	1.78
140		1.78	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79	1.80	1.80	1.80	1.80
150		1.81	1.81	1.81	1.81	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
160		1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
170		1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
180		1.88	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
190		1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
200	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	

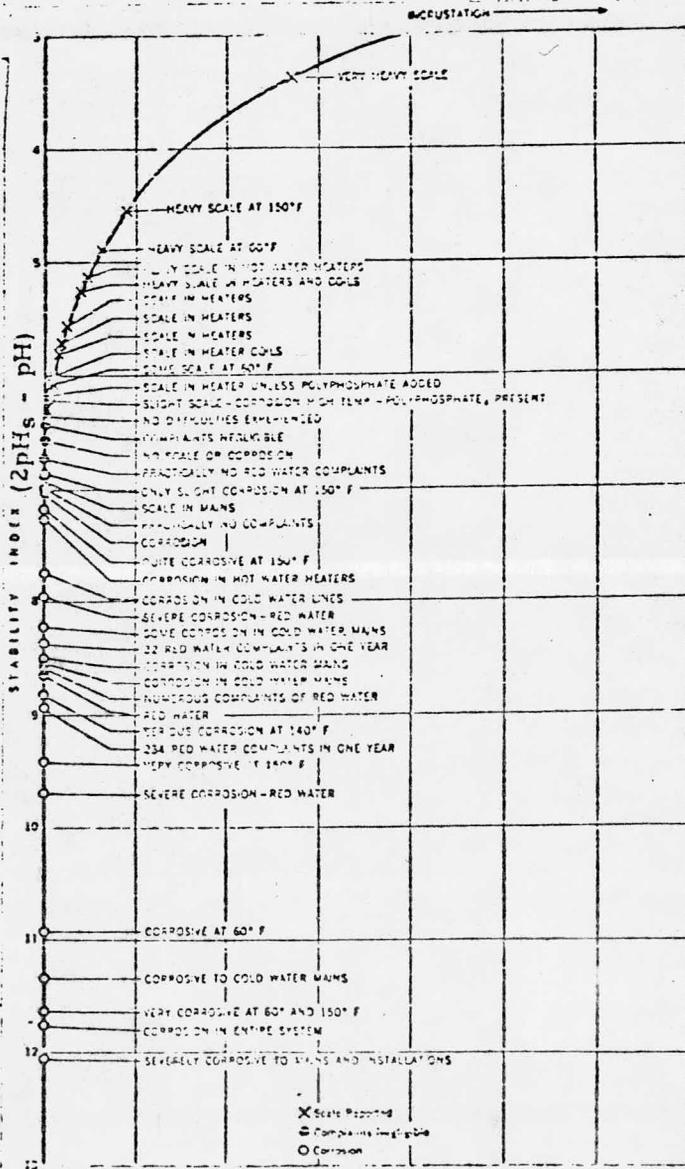
D
Alkalinity expressed as ppm CaCO₃
(For 1 to 200 ppm CaCO₃, use upper table)
(For 210 to 900 ppm CaCO₃, use lower table)

UNITS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	TEMP.	0.00	0.30	0.43	0.50	0.70	0.75	0.85	0.90	0.95	0.95
10		1.00	1.01	1.08	1.11	1.15	1.19	1.20	1.23	1.26	1.29
20		1.30	1.32	1.34	1.36	1.39	1.40	1.42	1.43	1.45	1.46
30		1.48	1.49	1.51	1.52	1.53	1.54	1.56	1.57	1.58	1.59
40		1.60	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66	1.67	1.68	1.69
50		1.70	1.71	1.72	1.72	1.73	1.74	1.75	1.76	1.76	1.77
60		1.78	1.79	1.79	1.80	1.81	1.81	1.82	1.83	1.83	1.84
70		1.85	1.85	1.85	1.85	1.87	1.85	1.85	1.85	1.85	1.89
80		1.90	1.91	1.91	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.91	1.91
90		1.95	1.95	1.95	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	1.99
100		2.00	2.00	2.01	2.01	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03	2.04
110		2.04	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.06	2.07	2.07	2.08
120		2.08	2.08	2.09	2.09	2.09	2.10	2.10	2.10	2.11	2.11
130		2.11	2.12	2.12	2.12	2.13	2.13	2.13	2.14	2.14	2.14
140		2.13	2.15	2.15	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.17	2.17
150		2.18	2.18	2.18	2.18	2.19	2.19	2.19	2.20	2.20	2.20
160		2.20	2.21	2.21	2.21	2.21	2.22	2.22	2.23	2.23	2.23
170		2.23	2.23	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.25	2.25	2.25
180		2.25	2.25	2.25	2.25	2.26	2.26	2.27	2.27	2.27	2.28
190		2.28	2.28	2.28	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.30
200	2.30	2.30	2.30	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.32	2.32	

TENS		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
200	HUNDREDS	1.92	1.94	1.98	1.98	2.00	2.00	2.03	2.03	2.06	2.06
300		2.05	2.05	2.11	2.12	2.13	2.15	2.15	2.17	2.18	2.19
400		2.20	2.20	2.23	2.24	2.25	2.26	2.26	2.27	2.28	2.29
500		2.33	2.31	2.32	2.33	2.34	2.35	2.36	2.37	2.37	2.37
600		2.44	2.43	2.43	2.46	2.44	2.45	2.45	2.46	2.46	2.46
700		2.55	2.53	2.55	2.57	2.57	2.58	2.58	2.59	2.59	2.59
800		2.68	2.65	2.67	2.68	2.68	2.69	2.69	2.70	2.70	2.70
900		2.76	2.76	2.77	2.77	2.78	2.78	2.78	2.79	2.79	2.79

TENS		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
200	HUNDREDS	2.00	2.01	2.05	2.05	2.09	2.09	2.13	2.13	2.16	2.16
300		2.18	2.18	2.21	2.22	2.23	2.24	2.25	2.25	2.26	2.26
400		2.23	2.23	2.25	2.26	2.26	2.27	2.27	2.28	2.28	2.28
500		2.30	2.31	2.32	2.32	2.33	2.34	2.34	2.35	2.35	2.35
600		2.38	2.37	2.39	2.40	2.41	2.41	2.42	2.42	2.43	2.43
700		2.55	2.53	2.55	2.56	2.57	2.58	2.58	2.59	2.59	2.59
800		2.60	2.61	2.61	2.62	2.62	2.63	2.63	2.64	2.64	2.64
900		2.65	2.65	2.66	2.66	2.67	2.67	2.67	2.68	2.68	2.68

INDICE DE ESTABILIDAD



CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

<u>PARAMETRO</u>	<u>VIDA ACUATICA</u>	<u>ABASTECIMIENTO DE AGUA</u>
Solidos disueltos ppm	1,500	500
pH	6.0 - 9.0	6.0- 8.5
Alcalinidad p.p.m. (CaCO_3)	20	---
Dureza p-p.m. (CaCO_3)	---	---
Temperatura	86° F	---
Origeno disuelto p.p.m.	5	
CO_2 (HCO_3) p.p.m.	25	
Aceite p.p.m.	0	
Turbidez (solidos en - suspensión) p.p.m.	25	
Organicos p.p.m.	0	
Substancias toxicas p.p.m.	0	

FUENTE:

U.S. Public Health service Drinking
water Standards, publicado en el ar
tículo " what New Water Quality Standards
Mean To Production Costs"
Chemical Engineering Progress,
Marzo de 1968, Págs. 35 a 39.

C A P I T U L O

VI

C O N C L U S I O N E S

ALTERNATIVA 4- A ; DESCARGA CONTROLADA AL MAR (TUBERIA DE FIERRO)

COSTO DEL SISTEMA DE RECOLECCION:

Msteriel	\$ 2,489,933.00
Meno de obra	\$ 1.491,554.00
Ingenieris	\$ 248,988.00
Administración y otros	\$ 311,235.00
Total	\$ 4.541,710.00

COSTO DEL DESECHO DE AGUA SALADA DEL CRUDO

(Se consideren 8 Km. de tubería de 24"Ø entre la planta de tratamiento y el punto de descarge en el mar).

Msteriel	\$ 3.742,900.00
Meno de obra	\$ 2.245,740.00
Ingeniería	\$ 374,290.00
Administración y otros	\$ 467,862.00
Total	\$ 6.830,792.00

COSTO DE DESECHO DE AGUA SALADA SEPARADA DEL CRUDO:

(Tubería de fierro, ver capítulo IV)

Materiales	\$ 6,232,833.00
Mano de obra	\$ 3,737,294.00
Ingeniería	\$ 623,278.00
Administración y otros	\$ 779,097.00
Total	\$11,372,502.00

COSTO DEL EQUIPO DE BOMBEO EN LAS DIFERENTES BATERIAS:

Total	\$ 955,800.00
-------	---------------

PLANTA INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUA ANTES DE DESCARGAR EN EL MAR

(Incluye tanque clarificador, mezclador, floculador y separador de aceite emulsionado)

Total	\$ 2,265,800.00
-------	-----------------

MEDIDOR REGISTRADOR DE FLUJO:	\$10,000.00
SISTEMA DE REMOCION DE A.o. SULFIDRICO	\$ 350,000.00
IMPREVISTOS (15%)	\$2,243,115.00
INVERSION FIJA	\$17,197,217.00
INTERESES DURANTE LA CONSTRUCCION	\$ 605,500.00
INVERSION NECESARIA	\$ 17,802,717.00

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA: \$17,802,717.00

ALTERNATIVA 4 B: DESCARGA CONTROLADA AL MAR (TUBERIA DE ASEBTO CE
MENTO)

Sistema de recolección
de agua salada separada
del crudo. \$ 2.551.750.00

Acueducto de descarga -
al mar de 24"Ø y 8 Km.
de longitud con tuberías de
asbesto- cemento \$ 4.710,370.00

Equipo de bombeo en las
diferentes baterías \$ 955,800.00

Sistema de remoción de
ácido sulfhídrico \$ 350,000.00

Planta de tratamiento de
agua antes de descargar -
en el Golfo de México ---
(incluyen tanque clarificador
mezclador, floculador y -
separador de aceite emulsiona
do. \$ 2.315,800.00

Medidor- Registrador de flujo	\$ 10,000.00
IMprevistos (15 %)	\$ 1.634,060.00
Inversión fija	\$ 12.527,780.00
Intereses durante la construcción (6 % Anual)	\$ 375,830.00
<u>INVERSION NECESARIA</u>	\$ 12.903,610.00
<u>COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA</u>	\$ 12.903,610.00

La alternativa 4 A considera el uso de tuberías nuevas de acero, especificación API/Standard y la Alternativa 4B se refiere al empleo de tuberías de asbesto-cemento especificación A-5, A-7, A-10, A-14 .

La alternativa referente al empleo de tuberías de acero de ha descartado por dos razones:

- 1.- Su vida útil es menor que la tuberías de asbesto-cemento -
- 2.- Resultaría muy elevado su costo al reacondicionarla y protegerla interiormente contra la corrosividad del agua salada.

La evaluación económica de estas dos alternativas indican que las inversiones requeridas en cada caso, incluyendo los intereses del capital durante el periodo de construcción, serían las siguientes:

ALTERNATIVA NUMERO	INVERSION NECESARIA
4 A	\$ 17.802,717.00
4 B	\$ 12.903,610.00

Del análisis de las alternativas se propone la construcción del sistema de recolección con tuberías de asbesto-cemento por los argumentos siguientes:

- 1.- Requiere menor inversión.

2.- No es atacada por la corrosividad exagerada de la salmuera saturada con oxígeno, pues la corriente de agua salada es fuertemente corrosiva, según lo indican los índices del Langelier y de Ryznar (ver tablas anexas).

En cada una de las alternativas se requiere además, la instalación de un equipo de tratamiento de agua constituido de las siguientes unidades:

- 1.- Torre desgasificadora para serer la corriente de agua salada y abatir el contenido de ácido sulfídrico.
- 2.- Equipo de clarificación y floculación, con facilidades para " -- flotación aerada " (air- flotation), utilizando un tanque de tipo "Sediflotador " o similar.

Este equipo tiene por finalidad separar el aceite residual y sufre coloidal antes de su descarga en el mar.

El tipo de tratamiento escogido para acondicionar la salmuera, se considera indispensable, pues en la actualidad la tendencia es -- hacia evitar la contaminación del medio ambiente.

La siguiente tabla se reproducen los criterios de calidad para el agua, Publicada por la Oficina Gubernamental de los Estados Unidos denominada: " U.S. Public Health Service Drinking Water Standards en la que indica que no debe haber aceite en aguas en donde hay vida acuática (animal o vegetal)

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

<u>PARAMETRO</u>	<u>VIDA ACUATICA</u>	<u>ABSTECIMIENTO DE AGUA</u>
Sólidos disueltos p.p.m.	1,500	500
pH	6.0-9.0	6.0-8.5
Alcalinidad p.p.m. CaCO_3	20	-----
Dureza p.p.m. (CaCO_3)	-----	150
Temperatura	86° F	-----
Oxígeno disuelto p.p.m.	5	-----
CO_2 (HCO_3) p.p.m.	25	-----
Aceite p.p.m.	0	-----
Turbidez (sólidos en sus pensión) p.p.m.	25	-----
Orgánicos p.p.m.	0	-----
Substancias tóxicas p.p.m.	0	-----

FUENTE U.S. Public Health Service Drinking Water
Standards, publicado en el artículo "What
New Water Quality Standards mean to Product
tion Costs " Chemical Engineering Progress
Marzo de 1968, págs. 35 e 39.

NOTA: En México, Pemex toma en cuenta este mismo criterio de
calidad de agua con una tolerancia de $\pm 5\%$

En el análisis del problema de desecho de agua salada, extraída con el crudo, del yacimiento Tamsulipes- Constituciones, se han analizado cuatro alternativas:

- 1.- Evaporación solar
- 2.- Tratamiento del agua para la reinyección al yacimiento.
- 3.- Inyección en el subsuelo a una formación porosa y permeable sin aprovechamiento posterior.
- 4.- Descarga controlada en el Golfo de México.

Después de examinar brevemente los riesgos y beneficios que se obtendrían con la aplicación de cada una de dichas alternativas - analizadas superficialmente se concluye que la más conveniente es la número 4, consistente en el desecho al mar del agua salada, requiriendo en el desecho al mar del agua salada, requiriéndose para ello las siguientes instalaciones:

- a) Sistema de recolección de agua salada, con 22,190 Km. de Longitud total, con tuberías de asbesto-cemento y diámetro de 4, 6, 8, 12 y - 14" ϕ
- b) 34 unidades de bombas (18 en operación y 16 en relevo con potencia total de 581 H.P. .
- c) Sistema de tratamiento de agua, consistente en una torre desgasificadora, construida en madera y equipada con un ventilador que - produce una corriente de aire a contra- corriente con el agua para



abstir el contenido de ácido sulfhídrico y tanque clarificador- - Flocculador; así mismo un tanque sediflotador o similar para eliminar el aceite residual.

d) Acueducto de descarga al mar, de 8 Km. de Longitud y 24 " ϕ

El cálculo hidráulico (Capítulo IV) se efectuó con base en los volúmenes desechables estimados para el año de 1983, que se consideran serán del orden de 162,000 BPD.

El costo estimado de las instalaciones antes mencionadas, incluyendo intereses del capital durante la construcción, ascenderá a la cantidad de 12.9 MM. distribuido como se indica, en la página siguiente:

Sistema de recolección con tuberías de asbesto- cemento	\$ 2.551,750.00
Equipo de bombeo	\$ 955,800.00
Planta de tratamiento de agua	\$ 2.665,800.00
Acueducto de descarga al mar	\$ 4.710,370.00
Imprevistos (15 %)	\$ 1.644,060.00
INVERSION FIJA	\$12.527,780.00
Intereses durante la construcción	\$ 375,880.00
INVERSION NECESARIA	\$12.903,610.00

Se considera que esta obra podría realizarse en un lapso no mayor de 6 meses, a partir de la fecha de su aceptación.

Es de hacerse notar que estos costos, aunque son bastantes aproximados, podran tener una variación que posiblemente sea significativa, debido a los problemas económicos que atraviesa nuestro país y que obviamente repercuten en las industrias, tanto de acero, como de equipo en general (Bombas, interruptores etc.), aunado esto a los problemas de inflación y a las variaciones de salario, según la especialidad en cada región de la República nos repercutirá en nuestro costo total estimado de la inversión.

Actualmente, una compañía, fabricante de equipo se protege sustancialmente contra esta economía tan fluctuante, haciendo sus cotizaciones con indicaciones de que si hay alguna variación tanto en nuestra moneda como en su materia prima, el precio de la cotización también variará.

En la actualidad se está tomando muy en cuenta la utilización de tuberías de P.V.C., P.D.V.C. e incluso la fibra de vidrio con resinas epóxicas y fenólicas que han dado muy buen resultado en la prevención de la corrosión, por lo que en un futuro no muy remoto podrán aplicarse y la inversión podría abstirse considerablemente -- así como los costos de mantenimiento y de mano de obra.

El mantenimiento en tuberías de asbesto-cemento, es relativamente bajo, debido a su resistencia a la corrosión (normalmente es atacada por sustancias cuyo pH es menor de 3, o sea, ácidas).

El mantenimiento en tuberías de P.V.C. o de fibra de vidrio también es muy bajo, aunque esta última es fuertemente atacada por sustancias alcalinas de un pH de 8 en adelante.

B I B L I O G R A F I A

"INTRODUCTION TO OIL FIELD WATER TECHNOLOGY"

A.G. Ostroff, Printice Hall Inc., 1965.

"MANUAL ON DISPOSAL OF REFINERY WASTES"

Vol. I, Waste Water Containing oil, A.P.I. 1963

"BETZ HANDBOOK OF INDUSTRIAL WATER CONDITIONING"

Sixth Edition, 1962.

"MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO"

Perry, John Edición 1978, Utehs.

"AQUEOUS WASTES FROM PETROLEUM AND PETROCHEMICAL PLANTS "

Mylton R. Beychok; John Willey and sons, 1967.

"ENCICLOPEDIA DE LA TECNOLOGIA QUIMICA"

Kirk & Othmer Vol. VI

"WASTE WATERS"

NACE (National Association of Corrosion Engineers). 1976

"FLOW OF FLUIDS"

Crane, 1974

"PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS"

Foust; UTEHA 1976

"LIQUIDS HANDBOOK"

Chemical Engineering, Vol. 85 N° 8, Abril 3 de 1978

"HYDROCARBON PROCESSING"

Vol. 8, Agosto de 1976.

"DEEP DISPOSAL OF INDUSTRIAL WASTES"

Chemical Engineering Progress, Enero de 1964

"WHAT NEW WATER QUALITY STANDARDS MEAN TO PRODUCTION COSTS"

Chemical Engineering Progress, Marzo de 1968.