

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**Desecho de la Salmuera Separada del Crudo en
los Campos de Tamaulipas - Constituciones**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
J O R G E G E B A R A K A I M

MEXICO, D. F.

1969



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.

JURADO QUE REVISÓ Y
APROBO LA PRESENTE
TESIS.

PRESIDENTE Ing. Eduardo Rojo.

VOCAL Ing. Guillermo Carsolio.

SECRETARIO Ing. J. L. Costero.

SITIO DONDE DESARROLLO EL TEMA:

PETROLEOS MEXICANOS

SUSTENTANTE: JORGE GEBARA KAIM.

ASESOR DEL TEMA: ING. GUILLERMO CAR SOLIO.

SUPERVISOR TECNICO: ING. ANUAR KARAM.

A MI PADRE

MI MAS SINCERO Y PROFUNDO
AGRADECIMIENTO.
q.e.p.d.

A MI MADRE

CON TODO CARINO Y RESPETO.

A MIS HERMANOS.

A MIS MAESTROS Y AMIGOS.

A PATY

QUIERO HACER PRESENTE MI AGRADECI- -
MIENTO AL ING. GUILLERMO CAROLIO,
POR SU COLABORACION EN LA DIREC---
CION DE LA PRESENTE TESIS.

QUIERO AGRADECER A PETROLEOS ME -
XICANOS Y EN PARTICULAR A LA GE -
RENCIA DE PROYECTOS Y CONSTRUC -
CION POR HABERME PERMITIDO DESA -
RROLLAR MI TESIS Y EN ESPECIAL A LOS
INGS. LEONARDO ALDECO, ANUAR -
KARAM Y FRANCISCO MONDRAGON.

INDICE GENERAL

		Pág.
CAPITULO I	INTRODUCCION.- GENERALIDADES.- ANTECEDENTES.	1
CAPITULO II	ANALISIS DEL PROBLEMA.	10
CAPITULO III	SISTEMAS EMPLEADOS PARA LA PURIFICACION Y DESE- CHO DE SALMUERA.	14
CAPITULO IV	BASES DEL CALCULO.	21
CAPITULO V	ALTERNATIVAS CONSIDERADAS.	24
CAPITULO VI	SELECCION DE ALTERNATIVA.	29
CAPITULO VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	37
CAPITULO VIII	ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA.	94

CAPITULO I

INTRODUCCION GENERALIDADES

ANTECEDENTES

INTRODUCCION

La presente tesis tiene por objeto determinar la solución más conveniente y económica para resolver el problema de recolección y desecho del agua salada que se separa del crudo en las diferentes baterías de separadores del campo Tamaulipas-Constituciones, perteneciente al Distrito Norte de la Zona Norte.

Esta descarga no controlada, en los ríos, lagos o lagunas, generalmente ocasiona trastornos a los habitantes de los poblados, villas y rancherías situadas en las cercanías que en la mayoría de los casos constituyen su única fuente de abastecimiento de agua potable.

Los campesinos de las regiones afectadas resultan perjudicados cuando por necesidad utilizan las aguas contaminadas, pues es un hecho comprobado mediante pruebas experimentales, que el incremento de salinidad se refleja en una disminución de los rendimientos agrícolas.

Por otra parte, cuando los ríos llevan aceite, ocasionan la contaminación de las playas, lo que acarrea una disminución del turismo a dichos lugares, afectando por consiguiente los beneficios económicos de la región.

Todos estos factores plantean la necesidad de encontrar una solución adecuada y eficaz para resolver este problema.

GENERALIDADES .

1.1 BREVE EXPOSICION DE LAS TEORIAS DE INGENIERIA PETROLERA REFERENTES - A EXPLOTACION DEL YACIMIENTO.

Una yacimiento petrolífero puede definirse como un cuerpo de roca permeable y porosa que contiene una acumulación de hidrocarburos comercialmente explotable.

En términos muy generales puede decirse que las rocas principales en que se encuentran esas acumulaciones de hidrocarburos son únicamente dos: las calizas y las areniscas. Estas dos clases de rocas están comprendidas en el grupo de las sedimentarias y se derivan por procesos geológicos de las rocas ígneas y de las metamórficas.

En la explotación natural de los yacimientos petrolíferos, al perforar pozos se alcanza la roca almacenante; entonces el aceite y el gas estrechamente ligados surgen hasta la superficie exterior porque los expulsa una fuerza contenida en el yacimiento. Dicha fuerza la da: el gas disuelto en el aceite, o el agua salada acumulada.

En atención a esas dos particularidades, los almacenamientos se clasifican en "Yacimientos de empuje de gas disuelto" y "Yacimientos de empuje de agua" respectivamente.

El estudio de la explotación natural o primaria de esos dos tipos de yacimientos ha demostrado que los promedios de recuperación de hidrocarburos con respecto al volumen total almacenado son de 27 % para los empujados por el gas disuelto y de 52 % para los empujados por el agua.

De la observación de esas eficiencias tan relativamente bajas se deduce la-

necesidad de aplicar otras técnicas para aumentar la recuperación, pero la introducción de éstas, estará sujeta a la condición de que, no obstante que se aumente el costo de la recuperación, la explotación se mantenga dentro de los límites costeables. La aplicación de estas técnicas y sus resultados, es lo que en términos petroleros se denomina explotación secundaria.

1.11 Explotación Primaria.

Se llama así a la extracción del aceite y gas cuando se utilizan únicamente las fuerzas naturales disponibles en el propio yacimiento.

Se considera todavía comprendido dentro de la explotación primaria el empleo de fuerzas artificiales que se aplican una vez que el gas y el aceite han fluido de manera natural, hasta el pozo de explotación y que sirven únicamente para vencer el peso de la columna de hidrocarburos de valor equivalente a la profundidad del pozo.

Un ejemplo de esos métodos artificiales es la utilización de una bomba de varillas y émbolo que se considera la más representativa del método de bombeo mecánico; otro ejemplo es la aplicación de gas a presión en el fondo del pozo para aliviar la columna de aceite. Este último se conoce como "bombeo neumático".

1.12 Explotación Secundaria.

Se llama así, al procedimiento mediante el cual se extrae el aceite de un yacimiento por medio de la aplicación de una fuerza exterior, inyectando un fluido de manera tal que éste penetre al yacimiento y realice un "barrido" del aceite que había quedado retenido al terminarse el gas disuelto que al principio lo impulsó al exterior. Un ejemplo de fluido empleado es el agua.

Este tipo de explotación secundaria llamado "Inyección de agua" se aplica preferentemente a los yacimientos cuya explotación primaria fue de "empuje de gas disuelto".

En épocas pasadas en los Estados Unidos se había venido aplicando esta medida a campos que prácticamente habían dejado de producir por haber expulsado todo el aceite que era capaz de mover el gas disuelto en él. En casos como éste, al aplicar la inyección de agua para barrer el aceite remanente en los yacimientos se obtuvieron en general volúmenes adicionales de aceite que igualaron y aún sobrepasaron al obtenido por explotación primaria. Sin embargo la tendencia moderna es aplicar esta medida de explotación secundaria como un auxiliar de la explotación primaria, llenándose así el doble objetivo de mantener un buen volumen de producción diaria y aumentar sustancialmente el volumen total recuperado.

ANTECEDENTES

Debido a que la aplicación de técnicas de recuperación primaria para la extracción de aceites es muy deficiente, se instaló un sistema de recuperación secundaria, - el cual presenta el problema del desecho de agua salada.

En algunas etapas de la explotación de los yacimientos petrolíferos y la re-finación del aceite crudo, es necesario desechar productos indeseables que arrastran con -sigo los fluidos extraídos del subsuelo o que han sido utilizados para su procesamiento; tal es el caso de la salmuera que se separa del crudo en los tanques de asentamiento o en las plantas deshidratadoras o desaladoras.

La eliminación de esos desperdicios no siempre puede hacerse sin causar con -taminación de las aguas superficiales o de los terrenos labrantíos y sin perjuicio de personas o animales que habitan las áreas afectadas.

Las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en esas aguas de des -perdicios son: sal común, aceites, bicarbonatos de calcio y otros productos químicos co- -mo ácido sulfhídrico.

En los campos productores de petróleo, es común el problema de una cont -inua eliminación de la salmuera que se separa del crudo, tanto en los tanques de medición -- como en los deshidratadores, problema que se agrava con el transcurso del tiempo, ya - - que la cantidad de agua salada que se arrastra con el crudo aumenta constantemente.

Desafortunadamente, no existe una solución de aplicación general en todos los casos que permita resolver el problema de eliminar los grandes volúmenes de la salmue

ra separada del aceite.

CAMPO TAMAULIPAS - CONSTITUCIONES.

1.2 Ubicación.

El yacimiento Tamaulipas-Constituciones, correspondiente al campo del mismo nombre, se localiza entre la Laguna de Champayán y el Golfo de México, contiguo hacia el norte del pueblo de Altamira, Tamps. Cubre un área de 7.2 Ha que mide aproximadamente 12 Km. de largo por 6 Km. de ancho.

1.3 Características.

Este yacimiento, gran productor de aceite, está constituido por roca de carbonato de calcio, cuya litología corresponde a la de una caliza Oolítica de la formación geológica denominada Tamán, perteneciente al jurásico superior, identificado con las épocas Kimmeridgiano y Oxfordiano.

Su principales características petrofísicas son:

Porosidad	17%
Permeabilidad	1.4 milidarcies

Con respecto a los hidrocarburos que contiene, se le puede definir como una acumulación de aceite y gas disuelto a una temperatura de 89°C, cuya presión original era del orden de 200 Kg/cm² y que actualmente varía de 190 a 110 Kg/cm² a lo largo del yacimiento.

1.4 Producción Actual.

De acuerdo con un estudio elaborado para conocer la recuperación que podría obtenerse del yacimiento, mediante una explotación primaria, se encontró que sería

del orden del 8% del volumen total de crudo contenido en el yacimiento y que la producción diaria del aceite que en la actualidad es de $2000 \text{ m}^3/\text{día}$ (13000 BPD) irá disminuyendo hasta alcanzar en el año de 1971 un ritmo de $430 \text{ m}^3/\text{día}$ (2700 BPD). A partir de ese año la explotación del yacimiento sería inco^osteable.

1.5 Prueba piloto de inyección de agua.

Con el objeto de comprobar los resultados del estudio teórico, en cuanto a la recuperación de hidrocarburos y poder fijar el procedimiento adecuado para la inyección de agua al yacimiento, se decidió construir una planta piloto de tratamiento de agua dulce y se utilizaron para la inyección, 6 pozos periféricos, registrando la producción de un pozo central.

Aún cuando se tuvieran problemas de control debido a la distribución irregular de las presiones en los pozos de inyección los resultados de la prueba dieron una recuperación del 13 % en lugar del 8 % que se obtiene por recuperación primaria. Se considera que la aplicación extensiva de la inyección de agua al yacimiento se podría obtener una recuperación del orden del 16 %.

1.6 Inyección de agua y producción futura.

De acuerdo con los resultados de la prueba piloto que permitieron duplicar la recuperación y ante los atractivos económicos que presentaría el incremento sustancial de la producción de aceite en el yacimiento Tamaulipas-Constituciones, se llegó a la conclusión de inyectar agua de un modo integral.

Para resolver el problema que presentaba el suministro de agua requerida para la inyección, se hizo un estudio de factibilidad entre varias alternativas, encontrándose que la utilización del agua de mar presentaba ventajas sobre el uso de agua dulce,

de alguna fuente cercana al mismo, como podría serlo la Laguna de Champayán.

Se consideró conveniente fijar en base a las características del yacimiento, la producción de crudo en $4800 \text{ m}^3/\text{día}$ (30000 BPD) y la inyección de $31900 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua de mar (200000 BPD) disponiendo que el volumen fuera manejado a través de 100 pozos inyectoros, dejando disponibles 200 más para la extracción de aceite.

CAPITULO II

ANALISIS DEL PROBLEMA

2.1 Descarga de salmuera.

El agua dulce constituye un elemento indispensable para la vida del hombre, lo que hace necesario la conservación y utilización racional de este recurso, pudiéndose establecer que en gran parte el desarrollo demográfico e industrial depende del aprovechamiento adecuado de las aguas superficiales y de la forma en que se traten las aguas residuales tanto domésticas como industriales.

La contaminación de las aguas superficiales, debido a descargas de aguas negras y a desperdicios industriales como el de las salmueras separadas del crudo debe ser controlada, a fin de proteger los intereses de los usuarios.

Es por consecuencia, de vital importancia encontrar una solución adecuada para evitar este problema, pues la descarga de salmuera de crudo a los ríos que ha sido la forma como hasta la fecha se ha procedido en casi todo el país, además de causar perjuicios a los agricultores de la región, ha traído consigo molestias de carácter sanitario para los habitantes de las poblaciones situadas en las cercanías de los ríos de los que se abastecen de agua dulce.

Si a ello se añaden las consecuencias adversas sobre la flora y la fauna fluvial y marítima, que tiene la descarga de aguas contaminadas, se ve la necesidad de estudiar a fondo el problema de contaminación y de prevenir los daños antes mencionados.

La posible utilización de agua salada para irrigación disminuiría en forma notable el rendimiento agrícola.

Los iones que más perjudican a las tierras laborales, son: sodio, cloro, bicarbonato y sulfato.

El problema de desecho de salmuera en ríos, lagos y lagunas, se agrava gran
demente cuando ésta contiene aceites residuales.

Desde el punto de vista práctico, aún está en discusión la cantidad máxima de aceite que pueden recibir las aguas superficiales sin que vaya en detrimento de la vida acuática o de la aplicación futura del agua.

Las aguas superficiales contienen oxígeno disuelto que utilizan los peces y las plantas en sus procesos biológicos, así como en los procesos de oxidación que tienen lugar en la autpurificación de aguas. A medida que el oxígeno es consumido, se reponen del contenido en el aire, pero la presencia de una película de aceite interfiere la aereación del agua y puede traducirse en la muerte de las distintas formas de vida al impedir el proceso de fotosíntesis y el de autpurificación.

La contaminación con aceite crudo del agua de mar, en las costas y playas turísticas, puede afectar el movimiento turístico, causando daños a la economía regional.

2.2 Formación de películas de aceite.

La cantidad de aceite requerido para producir películas de aceite en la superficie del agua, se muestra en la siguiente tabla:

espesor aprox. de película (cm).	Apariencia	cantidad aprox. de aceite para formar una película en un área de 1 milla - cuadrada. (lt).
0.00000381	poco visible	95
0.00000762	ligeramente visible	189
0.0000152	se observan trazos de color	378
0.0000304	el color se vuelve oscuro	2520
0.000203	colores oscuros	5041

2.3 Efectos de otras sustancias contaminantes.

Otras alteraciones que pueden sufrir las aguas superficiales, debido a los de echos industriales son: la acidez, la alcalinidad, el sabor, el olor, la cantidad de oxíge no, la turbidez, etc.

La mayoría de los peces viven en aguas con un rango de p.H. de 4.8 a 9.0 y una vez adaptados a una determinada condición, son sumamente sensibles a cambios de alcalinidad o acidez del medio.

La descarga en aguas superficiales, de contaminantes fácilmente oxidables, como el ácido sulfhídrico, repercute inmediatamente en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, pudiendo disminuir su contenido más rápidamente que como se repone, dando por resultado la extinción de todo tipo de vida, excepto la anaeróbica.

La presencia de color y de materias suspendidas en el agua son indeseables porque interfieren la penetración de la luz solar en el agua absorbida por las algas que a su vez sirven de alimento a los peces.

La turbidez reduce la penetración de la luz y por lo tanto, disminuye el pro ceso de fotosíntesis de los organismos vivientes en las aguas.

La presencia de ácido sulfhídrico en el agua le comunica un carácter corrosivo y le imparte un olor muy desagradable.

Debido al pésimo efecto de la salmuera en el agua dulce de los ríos cuya - demanda aumenta día con día, es a todas luces indeseable su descarga en los mismos; cu an do esto sea posible o bien, someterla a un tratamiento adecuado a fin de disminuir al míni mo los componentes más nocivos.

CAPITULO III

SISTEMAS EMPLEADOS PARA LA PURIFICACION Y DESECHO
CHO DE SALMUERA.

3.1. Métodos de Purificación del Agua.

En general, los métodos para purificar el agua, dependen del servicio al que va a ser destinada, requiriéndose en algunos casos de utilización, que cumpla con rigurosas limitaciones de composición y en otros, que llene los requisitos de potabilidad, si será empleada para usos domésticos, etc., pero regularmente dichos procesos sirven para obtener agua clara que sea ni incrustante ni corrosiva, lo cual puede lograrse, bien mediante una simple aereación seguida de un asentamiento de las partículas sólidas o con el empleo de procesos químicos sumamente elaborados.

3.2 Autopurificación.

Normalmente la autopurificación logra eliminar la materia orgánica, dependiendo del grado de la efectividad de la reaereación de la sedimentación y principalmente del tiempo disponible para que se verifiquen las acciones bioquímicas. Las bacterias que se introducen con las aguas negras quedan sujetas a condiciones enteramente distintas, pues los factores que regulan la destrucción de las mismas son la temperatura del agua, el alimento disponible, el efecto germicida de la luz del sol y la sedimentación.

Por desgracia, los efectos del reposo y el tiempo no son todo lo benéficos que se quisiera, en la purificación del agua, ya que por ejemplo: la purificación bioquímica induce el desarrollo de algas y de otras formas de vida microscópica animal y vegetal, organismos que pueden afectar ligeramente a la salud de una población y son los que comunmente dan al agua malos olores y sabores. Por lo tanto, para evitar lo anterior, se requiere generalmente de un tratamiento adicional cuando se encuentran presentes.

3.3 Aereación.

En el tratamiento de aguas se practica la aereación por tres razones principales, a saber:

- 1.- Para introducir oxígeno del aire.
- 2.- Para dejar que escapen los gases nocivos disueltos, como bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, anhídrido sulfuroso, etc.
- 3.- Para eliminar las sustancias volátiles que causan mal olor y sabor.

La introducción de oxígeno constituye la primera etapa en el proceso de eliminación del hierro y manganeso por filtración. La eliminación de bióxido de carbono — mediante la aereación es un método que sirve para hacer menos corrosivas las aguas para abastecimiento. La efectividad de la aereación para eliminar olores y sabores es limitada, no pudiendo por lo tanto considerarse como sustituto del control preventivo o de procesos de tratamiento más adecuados.

La aereación puede llevarse a cabo por métodos muy diversos. Se ha encontrado que el más eficaz consiste en usar aspersores por medio de los cuales el agua se dispersa en la atmósfera, hasta formar una neblina a base de gotas muy pequeñas. Otro método consiste en forzar el pazo del aire comprimido dentro del agua que se va a tratar.

3.4. Mezclado.

Consiste la distribución uniforme y rápida de un coagulante o algún otro -- producto químico, en el agua que se esté tratando.

Esta operación puede hacerse mecánica o hidráulicamente en tanques especiales, en secciones de otros tanques, o en sistemas de tuberías. Se basa en el principio fundamental de agitar violentamente el agua que se va a tratar, con el producto químico

que se aplique, durante un corto tiempo, pudiéndose llevar a cabo con agitadores de hélice acondicionados por motor, o mediante canales con deflectores, creándose condiciones turbulentas por cualquiera de estos dos métodos.

3.5 Coagulación.

Se refiere a la formación de flóculos precipitados o incipientes mediante los cambios fisicoquímicos que tienen lugar entre el coagulante soluble y la alcalinidad del agua. Hay cierto número de sustancias químicas que se usan como coagulantes para el agua, pero el que generalmente se usa es el sulfato de aluminio, comunmente llamado alumbre. El alumbre es una sustancia fácilmente soluble con el agua, y se aplica con facilidad bien en solución o bien directamente en forma sólida.

Existen algunos otros coagulantes que también se usan, entre los cuales son de mencionarse: el alumbre activado, que contiene sílice, el alumbre negro que contiene carbón activado; el aluminato de sodio, el cloruro férrico y el sulfato férrico.

Debe señalarse sin embargo, que la reacción fundamental que se verifica usando cualquiera de los coagulantes mencionados, depende de la presencia de iones alcalinos, y que el flóculo que se produce es de hidróxido de aluminio o de hidróxido de hierro.

Por lo general, se logran los mejores resultados en la coagulación, con dosificaciones de alumbre que varían desde 10 hasta 50 p.p.m., determinándose la dosificación óptima mediante la llamada "Prueba de las jarras". Esta técnica consiste en agregar cantidades conocidas de coagulante a varias jarras del agua que se va a tratar, agitando suavemente las mezclas durante un período de tiempo definido y observando después la calidad y características de sedimentación de los flóculos.

3.6 Sedimentación.

Consiste en el depósito de los flóculos en estanques o recipientes especialmente diseñados para ese fin.

Por lo general, un tanque de sedimentación es una estructura a través de la cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo del tanque, saliendo de éste un agua relativamente clara.

Probablemente los factores de operación más importantes de un tanque de sedimentación son: la turbulencia causada en la entrada del tanque; las corrientes en corto circuito o directas entre la entrada y la salida y el efluente de salida, el cual no debe causar turbulencias para que no arrastre consigo el material sedimentado.

3.7 Sistemas de desecho de salmuera.

Los sistemas utilizados para el desecho de salmueras producidas en los campos de aceite, se dividen en sistemas de "Superficie" y "Bajo Superficie".

Los sistemas de superficie se refieren al empleo de fosas de filtración, o de evaporación y el método de descarga controlada en ríos, lagos o lagunas y mar.

Los sistemas de desecho bajo la superficie se relacionan a la inyección de salmuera en formaciones del subsuelo. La selección del sistema depende del volumen de salmuera por inyectar, de las disposiciones legales locales, de la factibilidad de su aplicación y de factores de índole económica.

3.8 Métodos de Superficie.

a) Fosas de Evaporación: aun cuando las fosas para almacenar la salmuera se impermeabilizan antes de ponerlas en servicio, representan un peligro potencial, pues

to que la salmuera puede filtrarse a depósitos subterráneos de agua dulce.

Los materiales con que se cubren estas fosas, pueden ser de concreto o de asfalto; para prevenir la infiltración de la salmuera en el subsuelo, se recubre la fosa con pintura vinílica y una película plástica protectora.

Este tipo de fosa se usa mucho en aquellos lugares que por sus características climatológicas permiten la evaporación de la salmuera.

b) Descarga controlada en ríos y lagos: este método se aplica en las épocas de lluvias o en aquellos en las que el caudal del río o el volumen acumulado de salmuera es tal, que la descarga de la misma no origina problemas por alta concentración salina. En las épocas de estiaje la salmuera se almacena en estanques.

Dependiendo del gasto diario a desechar y de los regímenes pluviales, esta operación puede requerir grandes áreas de tierra para formar las presas de almacenamiento.

3.9 Método bajo superficie.

Desecho de aguas contaminadas por inyección al subsuelo:

Este método se ha usado muchos años en los Estados Unidos, pero en el caso de utilizar formaciones geológicas someras, se presenta el riesgo de que el agua salobre del estrato permeable seleccionado, contamine acuíferos vecinos de agua dulce.

Con el objeto de prevenir el taponamiento de la formación y la incrustación en las paredes internas de la tubería, el agua de inyección requiere un tratamiento previo.

El sistema de inyección generalmente consta de un sistema de captación para el agua contaminada, un centro de recolección, instalaciones para tratamiento de agua y un pozo de inyección.

Un factor de suma importancia es el estudio geológico e hidrológico del área en cuestión, con el objeto de determinar la permeabilidad, el espesor, el carácter litológico y la continuidad de la formación geológica.

El tamaño de la formación es importante, ya que puede determinar el volumen máximo de salmuera que pueda ser descargado.

CAPITULO IV

BASES DE CALCULO.

Las bases para la elaboración de la presente tesis, son en general, datos proporcionados por la Gerencia de Explotación, en estudios previos relativos a la inyección de agua al yacimiento Tamaulipas-Constituciones.

1.- Volúmenes de agua drenados en las diferentes baterías de separadores del Campo Tamaulipas Constituciones.

2.- Análisis químico del agua producida con el crudo en el campo Tamaulipas-Constituciones.

3.- Pronósticos de producción de agua.

4.1 Volumen de agua drenada.

En la actualidad, mediante la inyección de 68,000 barriles de agua de mar, el campo Tamaulipas-Constituciones produce un volumen de 13,000 barriles diarios de aceite y 2,516 B.P.D. de agua salada.

En el Anexo Núm. I se indica el volumen de aceite y agua que se produce en las diferentes baterías del yacimiento.

En el Anexo Núm. II se indica la localización de las diferentes baterías de separadores.

4.2. Análisis químico del agua producida.

La composición química del agua fue determinada en una muestra representativa de la que se drena en las baterías de separadores. Se le puede considerar como salobre y con alto contenido de dureza (20,058 p.p.m. de ión cloro y 3,069 p.p.m. de dureza total, expresada como carbonato de calcio). En el Anexo Núm. III, se indica -

el análisis químico completo del agua salada.

4.3 Pronóstico de producción de agua.

Se estima que después de 5 años de estar inyectando agua de mar al yacimiento, se tendrá una producción bruta de 200,000 B.P.D. (Agua-Aceite) de los cuales corresponderá al aceite, un máximo de 15%, es decir, 30,000 barriles diarios.

En el Anexo Núm. IV se indican los volúmenes de agua que se calcula serán eliminados en el año de 1972, de los cuales, en las baterías de separadores, se drenarán 160,000 B.P.D. ($25,440 \text{ m}^3/\text{día}$) y en las plantas de deshidratación de crudo, 7,450 barriles de agua salada.

CAPITULO V

ALTERNATIVAS CONSIDERADAS.

5.1 En la presente tesis se analizan las siguientes alternativas para el desecho de agua - salada obtenidas con el crudo en las diferentes baterías de separadores del campo Tamau- lipas-Constituciones.

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

5.11 Alternativa No. 1.

Evaporación solar en fosas.

Esta primera alternativa requeriría la construcción de unos fosas para con- centrar la salmuera y cristalizar posteriormente las sales contenidas en ella.

La factibilidad técnica de aplicar esta alternativa, fundamentalmente de- pende de las condiciones climatológicas de la zona.

Estas condiciones climatológicas no son totalmente favorables a pesar de que hay un período de 7 meses, aproximadamente, en que la evaporación solar es superior a la pre cipitación pluvial. Para su enjuiciamiento en el Anexo Núm. V se indican los valores de precipitación en milímetros, durante el período de los años 1950 a 1961 en Tampico, Tamps.

De dichos datos se observa que durante los meses de Noviembre a Mayo hay poca intensidad pluvial, durante los meses de Junio a Octubre, las lluvias se intensifican.

Para construir los vasos de concentración y evaporación se necesitaría de un

terreno muy extenso, de aproximadamente 1000 Ha. ya que la producción de sal sería de 800 Ton. por día, teniéndose información que una planta que aprovecha la energía solar para evaporar salmuera y producir 55 Ton./día de sal requiere 73 Ha.

Para llevar a cabo esta alternativa, se requeriría la construcción de un sistema de recolección para el agua procedente de las baterías de separadores, una planta de tratamiento de agua así como una planta desaladora para la obtención de la sal.

En el anexo VII se indica un esquema con el sistema de recolección propuesto entre las diversas baterías de separadores, la localización probable de la planta de tratamiento.

En el anexo VIII se presenta un diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua.

5.12 Alternativa No. 2

Inyección al yacimiento productor de aceite.

Esta segunda alternativa consiste en el tratamiento de la salmuera para utilizarla como una parte del volúmen de agua requerido al yacimiento.

Para llevarla a cabo, se requeriría la construcción de un sistema de recolección para el agua que se drena en las diferentes baterías de separadores, una planta de tratamiento de agua conforme a las especificaciones del agua de inyección y fundamentalmente un sistema de inyección al yacimiento, que sería diferente al instalado, debido a que tendría que estar construido con materiales propios para soportar la corrosividad del agua dada a su alta concentración en sales y cloruros, la tendencia a formar incrustaciones, la actividad bacteriológica, etc.

Lo anterior es de suma importancia en la prevención de taponamientos en la

formación, especialmente teniendo en cuenta que la permeabilidad promedio de la caliza es de 1.4 milidarcies.

En el Anexo No. VI se indican las especificaciones del agua de inyección al yacimiento.

5.13 Alternativa No. 3

Inyección a una formación 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 aceptación en países altamente desarrollados, 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 viabilidad 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 requiera eliminar.

También influyen en la selección de esta alternativa los volúmenes desechables, así como la construcción de un sistema de recolección entre las diferentes baterías de separadores, una planta de tratamiento de agua conforme a las especificaciones del agua de inyección, así como las presiones requeridas para la inyección de la salmuera.

5.14 Alternativa No. 4

Descarga controlada al mar.

Esta alternativa implicaría la descarga regulada de la salmuera en el mar, -

previa eliminación de todas aquellas sustancias nocivas que pudieran causar daño a la flora y a la fauna marina.

Este sistema estaría constituido por una red de recolección del agua salada procedente de las diferentes baterías de separadores en el Campo Tamaulipas-Constituciones, un centro de recolección en donde se trataría la salmuera para eliminarle su contenido de aceite y ácido sulfhídrico y evitar que dieran lugar a problemas de contaminación; también se requeriría un acueducto para enviar el agua salada hasta el mar.

En el Anexo VII se indica un esquema con el sistema de recolección propuesto entre las diversas baterías de separadores, la localización probable de la planta de tratamiento, así como el trazo del acueducto hasta el mar para ser desechada.

La planta de tratamiento estaría integrada por una torre desgasificadora, para disminuir mediante ebullición intensa, el contenido de ácido sulfhídrico; de ahí las aguas crudas entrarían a un clarificador con desnatador, a fin de retirar el aceite grueso que lleven las aguas.

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

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

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

En el Anexo No. VIII se presenta un diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua.

CAPITULO VI

SELECCION DE ALTERNATIVA

6.- Al hacer un análisis de cada una de las alternativas descritas en el capítulo anterior, se encuentra lo siguiente:

Para las cuatro alternativas el sistema de recolección, equipo de bombeo y planta de tratamiento es necesario e igual para cada alternativa.

1.- Para el sistema de recolección se consideraron dos sub-alternativas (A y B); la sub-alternativa A se refiere al uso de tubería de acero nueva, de especificación API-Std., 5LGr.8, y la sub-alternativa B, al empleo de tubería de asbesto-cemento con especificación A-7.

2.- La evaluación económica de las subalternativas A y B, resulta que las inversiones requeridas en cada caso serían las siguientes:

SUBALTERNATIVA	INVERSION
A: TUBERIAS DE ACERO	\$ 3.300,000.00
B: TUBERIA ASBESTO CEMENTO	" 2.500,000.00

3.- La inversión del equipo de bombeo para las 4 alternativas consideradas es de \$ 900,000.00.

4.- En cada una de las alternativas se requiere además, la instalación de un equipo de tratamiento de agua constituido por las siguiente unidades:

1.- Torre desgasificadora para aerear la corriente de agua salada y abatir el contenido de ácido sulfhídrico.

2.- Equipo de clarificación y floculación con facilidad para flotación aerea (Air-flotation), usando un tanque del tipo sediflotor o similar.

3.- La inversión de este equipo de tratamiento se estimó en la cantidad de \$ 2.600,000.00

6.1 ALTERNATIVA No. 1. Consiste en el aprovechamiento comercial de la sal, separadas por evaporación solar de la salmuera, se considera poco factible por las siguientes razones:

1.- Las condiciones climatológicas de la región no son del todo favorables para instalar una planta de este tipo, a pesar de existir un período de 7 meses al año en que la evaporación solar es superior a la precipitación pluvial. Los 5 meses restantes se presenta un período de lluvias intensas, lo cual haría inoperante el desecho de salmuera. Durante estos 5 meses la posibilidad de descarga regulada en ríos no es factible debido a que no se encuentra ningún río cercano a dichos yacimientos.

2.- La inversión requerida para llevar a cabo esta alternativa incluyendo imprevistos durante la construcción es de:

ALTERNATIVA	INVERSION
1-A	\$ 24.000,000.00
1-B	" 23.200,000.00

En el Anexo No. X, se presenta la inversión fija total para esta alternativa.

6.2 Alternativa No. 2. Referente a la inyección de agua salada, previo tratamiento, se considera inconveniente por las siguientes razones:

1.- La permeabilidad promedio de la formación es de 1.4 Milidarcles, lo que obliga a un tratamiento severo y muy costoso al agua que se pretende inyectar con objeto de prevenir taponamientos en la formación.

2.- La inversión que se requiere para llevar a cabo esta alternativa, incluyendo imprevistos durante la construcción es de:

ALTERNATIVA	INVERSION
2-A	\$ 14.500,000.00
2-B	\$ 13.800,000.00

En el anexo No. X se presenta la inversión fija total para esta alternativa.

6.3 Alternativa No. 3 Consiste en la inyección de la salmuera a una formación permeable y porosa del sub-suelo, 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 taponamiento en la formación.

Esta alternativa es muy atractiva cuando se dispone de areniscas que puedan recibir grandes volúmenes de agua.

6.4 Alternativa No. 4 Referente a la descarga controlada de agua en el mar, previa eliminación de todas las sustancias que puedan ejercer daños a la flora y a la fauna marina, resulta ser la más conveniente desde el punto de vista operacional y económica y resolvería el problema de una forma segura y definitiva.

Para ello se requeriría la construcción de un sistema de recolección con -- 30.190 Kms. de tubería y diámetros variables de 4" a 24" según se desglosa de la siguiente forma:

L I N E A	DIAMETRO (Pulgadas)	LONGITUD (Km.)
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

	33	
B.T. # 4-B.C. # 8	6	1.300
B.C. # 8-Pta. de Trat.	8	0.600
B.T. # 5-Pta. de Trat.	14	2.100
B.C. # 5-Pta. de Trat.	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 Trat.	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. Trat.	12	1.070
Pta. Trat.- Mar	24	8.000

NOTA: B: Batería de separadores

T: Tamaulipas

C: Constituciones.

Los diámetros de las tuberías fueron calculados considerando los volúmenes -
que se estima drenar en 1973, que en números redondos asciende a la cantidad de - - -
\$ 160,000 B.P.D. (Ver Anexo IV).

En el anexo VII se indica el sistema de recolección propuesto para la conducción
ción de agua salada.

La metodología de cálculo utilizada para determinar la caída de presión por
fricción, así como la potencia requerida, se describen en el anexo IX'

6.5 Evaluación económica de la alternativa No. 4.

De la evaluación económica de esta alternativa, resulta que la inversión requerida en cada caso, incluyendo imprevistos durante la construcción es el siguiente :

ALTERNATIVA	INVERSION NECESARIA
4-A	\$ 13.500,000.00
4-B	" 12.500,000.00

En el Anexo X se presenta la inversión necesaria para esta alternativa.

6.7 Factores a considerar en la estimación de costos.

Para el estimado de costo se consideraron los siguientes factores :

a) Tubería de acero y materiales :

Espesor de pared, especificación y grado de tubería, importe de la tubería, importe de los materiales anticorrosivos, importe de la tubería y piezas específicas, importe de inspección radiográfica, importe de protección catódica.

b) Mano de obra Tubería de Acero :

Apertura, conformación del desecho de vía; - excavación de la zanja; transporte y tendido de la tubería; válvulas y conexiones; alineado, doblado y soldado; limpieza y recubrimiento exterior; bajado y tapado de la tubería; limpieza interior y prueba hidrostática.

c) Tubería de Asbesto-Cemento :

Para la tubería de asbesto-cemento se tomaron

en consideración los siguientes factores :
 importe de la tubería, de las válvulas y
 plazas específicas.

d) Mano de obra tubería asbesto-cemento :

Se consideraron los mismos factores que para la tubería de acero exceptuando el alineado, doblado y soldado; ya que la tubería de asbesto-cemento no se puede doblar ni soldar y ni tampoco biselar.

6.8 Selección de la alternativa.

Del análisis de las alternativas se propone la construcción del sistema de recolección con tubería de asbesto-cemento por las siguientes razones :

1. - Requiere menor inversión.
2. - No es atacada por la corrosión del fluído, factor de suma importancia, - ya que la salmuera obtenida en el campo Tamaulipas-Constituciones es fuertemente corrosiva, según lo indican los índices de Langelier y de Ryznar (Ver Anexo XI)
3. - Con respecto a la resistencia mecánica: la tubería de acero inoxidable es mayor a la de asbesto-cemento, debido a esto se le protegerá adecuadamente para que - no se tengan problemas posteriores; esta protección esta incluída en la inversión de la tubería.

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

1. - Torre desgasificadora para aerear la corriente de agua salada y abatir el contenido de ácido sulfhídrico.
2. - Equipo de clarificación y floculación, con facilidad para flotación aerea

da (Air-flotation), usando un tanque de tipo "sediflотор" o similar.

Este equipo tiene por finalidad separar el aceite residual y azufre 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 evitar la contaminación del medio ambiente.

La inversión de este equipo de tratamiento se estimó en la cantidad de - - - -
\$ 2.600,000.00 .

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

Después del estudio realizado del desecho de salmuera se llegó a las siguientes conclusiones :

1. Es indispensable el control de descarga de las aguas negras y desperdicios industriales como el de las salmueras separadas del crudo para proteger los intereses de los usuarios.
2. Los sistemas empleados para la purificación de la salmuera son : autpurificación, aereación, mezclado, coagulación, y sedimentación. Para el desecho de salmuera se aplicó el sistema de superficie.
3. El volumen de agua salada procedente de las baterías de separadores, que será eliminado es de 160,000 B.P.D.
4. Las alternativas consideradas para el desecho de agua salada, extraída con el crudo, del yacimiento Tamaulipas-Constituciones fueron :
 1. Evaporación solar.
 2. Tratamiento de agua salada para su 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.
5. Se estimó que la alternativa No. 4., consistente en el desecho al mar del agua salada, resulta la más conveniente desde el punto de vista técnico - económico ya que resuelve ría el problema en forma segura y definitiva.

Para ello se requieren las siguientes instalaciones :

- a) Sistema de recolección de agua salada, con 22.190 Km. de longitud total, con tubería de asbesto-cemento y diámetros de 4", 6", 8", 12", y 24" .
- b) 34 unidades de bombeo (18 en operación y 16 de relevo), con potencia total de 531

c) Sistema de tratamiento de agua, consistente en una torre desgasificadora, construída en madera y equipada con un ventilador que produce una corriente de aire a contracorriente con el agua, para abatir el contenido de ácido sulfhídrico y tanque clarificador-floculador; 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" de diámetro.

El cálculo hidráulico se efectuó con base en los volúmenes desechables para el año de 1973, que se considera serán del orden de 160,000 B.P.D.

El costo estimado de las instalaciones antes mencionadas, incluyendo imprevisto e intereses del capital durante la construcción, ascenderá a la cantidad de \$ 12.5 millones.

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

INDICE DE ANEXOS

- I. Producción actual de agua salada en el yacimiento Tamaulipas-Constituciones.
- II. Localización de las baterías de separadores.
- III. Análisis químico del agua producida.
- IV. Pronóstico de producción de agua salada.
- V. Datos pluviométricos de Tampico-Tamps.
- VI. Especificación del agua de inyección.
- VII. Sistema de recolección propuesto.
- VIII. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento.
- IX. Metodología de cálculo.
- X. Estimado de costo de las alternativas.
- XI. Indico de Langelier y de Ryznar.
- XII. BIBLIOGRAFIA.

A N E X O No. 1

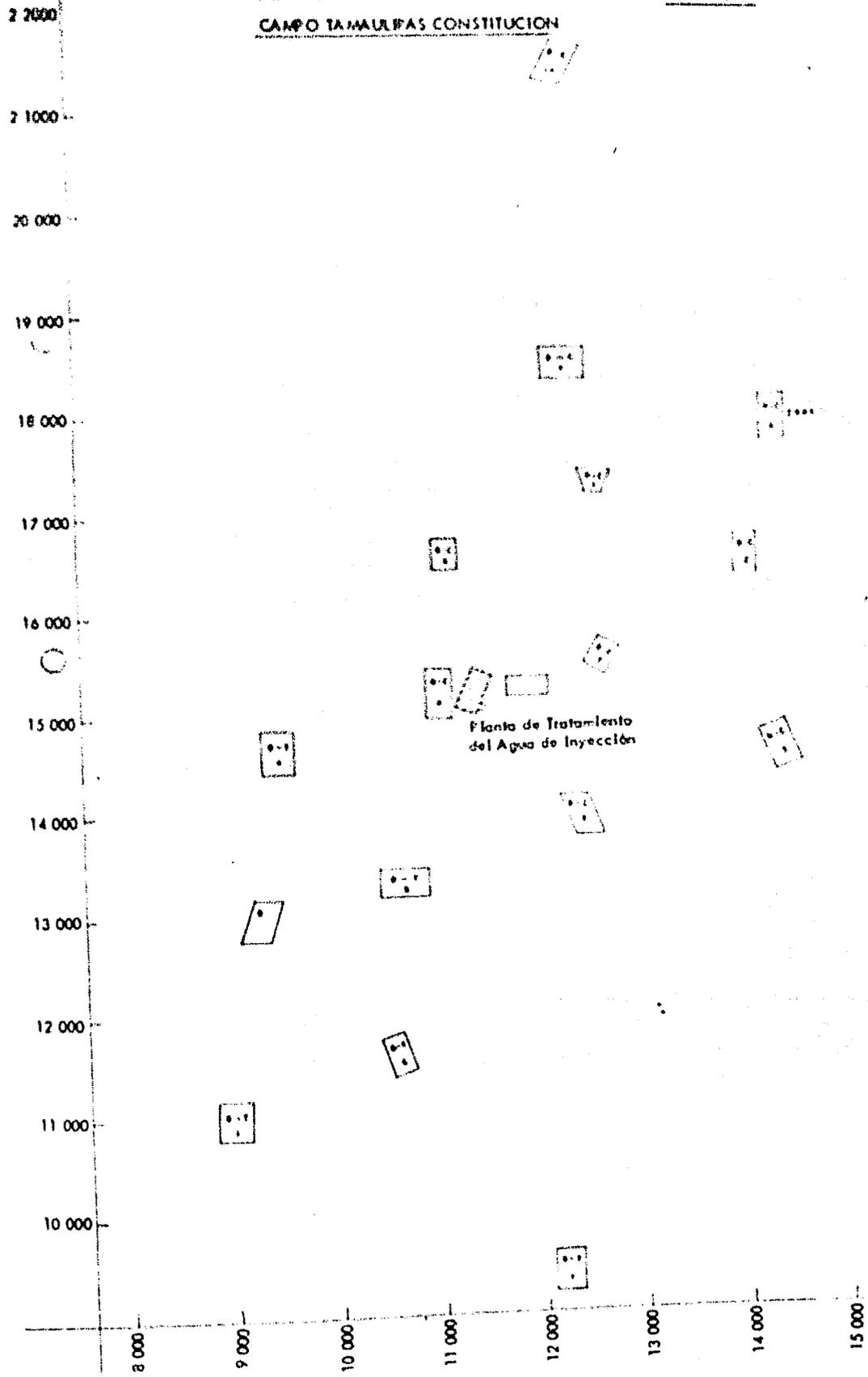
PRODUCCION ACTUAL DE AGUA SALADA EN EL
YACIMIENTO TAMAULIPAS-CONSTITUCIONES.

<u>Batería</u>		<u>B. P. D.</u>
Tamaulipas	1	18
"	3	132
"	4	138
"	5	4
"	6	5
"	7	176
Barcadón	1	591
Constituciones	1	69
"	2	1,113
"	3	-
"	4	25
"	5	19
"	6	-
"	7	75
"	8	44
"	9	63
"	10	44
		<hr/>
TOTAL:		<u>2,516</u>

LOCALIZACION DE LAS BATERIAS

ANEXO II

CAMPO TAMALIFAS CONSTITUCION



A N E X O No. III

ANALISIS DEL AGUA DEL CAMPO TAMAULIPAS-CONSTITUCIONES.

	<u>p.p.m.</u>
pH	7.9
H ₂ S	125
Sólidos disueltos	36,588
Sólidos en suspensión	17
Sólidos totales.	36,605
OH ⁻	0
CO ₃ ⁼	0
HCO ₃ ⁻	549
SO ₄ ⁼	430
Cl ⁻	20,058
Ca ⁺⁺	800
Mg ⁺⁺	260
Na ⁺	12,000
Fe ⁺³ Al ⁺³	13.1
Como óxidos:	
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

ANEXO IV

PRODUCCION BRUTA DE ACEITE EN 1972

<u>Batería</u>		<u>Producción Bruta.</u>
		(B P D)
Tamaulipas	1	2,820
"	3	29,945
"	4	16,430
"	5	19,300
"	6	10,655
"	7	9,460
Constituciones	1	15,130
"	2	7,560
"	3	4,760
"	4	7,980
"	5	10,000
"	6	8,025
"	7	14,160
"	8	20,850
"	9	11,385
		<u>198,460</u>

ANEXO V

DATOS PLUVIOMETRICOS MENSUALES DE TAMAULIPAS-CONSTITUCIONES

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1950	100.2	12	21.1	55.4	106.6	43.4	24.8	51.5	45	157.7	3.1	13.6	634.4
1951	18.7	2.9	17.1	0.9	2.9	180.6	181.2	287.7	134.7	70.8	11.6	2.8	931.9
1952	9.8	0.5	4.3	34.0	3.4	345.9	182.2	61.1	523.3	7.7	354.8	0.8	1527.9
1953	0.0	6.9	10.9	16.9	34.3	7.3	179.8	60.1	158.1	166.6	28.9	2.0	671.7
1954	18.0	7.8	4.2	51.6	18.7	113.2	242.6	118.2	498.1	327.0	30.2	37.4	1467.1
1955	1.0	11.1	10.9	2.3	19.0	0.5	336.8	51.9	914.9	55.2	46.8	4.6	1455.0
1956	0.0	24.6	8.3	19.3	41.4	194.4	112.3	42.9	425.2	105.1	68.7	23.1	1056.3
1957	10.5	11.1	11.1	79.0	33.8	45.7	172.0	67.9	141.0	191.9	2.6	47.0	865.1
1958	99.9	11.4	11.4	0.0	37.7	325.4	288.6	18.9	291.4	407.5	28.3	27.3	1545.1
1959	39.9	50.3	50.3	53.8	1.0	146.8	67.7	86.4	44.0	112.1	43.1	28.0	721.1
1960	0.6	6.0	6.0	4.2	97.0	10.6	146.2	94.9	194.6	58.9	51.0	3.9	56.1
1961	65.5	20.0	20.0	3.3	30.5	244.0	159.0	40.3	220.0	125.1	40.4	33.2	81.4
com.	29.0	14.6	14.6	20.8	32.3	143.6	175.9	79.4	299.1	148.8	59.1	18.6	

A N E X O No. VI

ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DE INYECCIÓN AL YACIMIENTO TAMAU-
LIPAS-CONSTITUCIONES.

	<u>Febrero</u> p.p.m.	<u>Marzo</u> p.p.m.	<u>Abril</u> p.p.m.	<u>Mayo</u> p.p.m.	<u>Junio</u> p.p.m.
pH	7.0	7.0	7.3	7.1	7.4
Turbidez (SiO ₂)	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7
Oxígeno (O ₂)	0.3	0.0	0.0	0.3	0.8
Cloruros (NaCl)	35,000	34,000	35,000	28,000	30,000
Hierro (Fe ³)	-	3.5	2.3	1.1	1.1
Anhídrido carbónico (CO ₂)	-	-	-	140.0	130.0
Sólidos disueltos totales	39,000	39,000	39,000	32,500	33,500
Polímero	-	-	-	-	275.0
Eliminador de oxígeno	-	-	-	-	20.0
Anticorrosivo Nalco 163	10.0	10.0	10.0	18.0	10.0
Bactericida Nalco 322*	100	100.0	100.0	100.0	100.0
Humectante Visco 1111	-	-	-	-	-

NOTA: El bactericida Nalco se inyecta solamente una vez por semana.

LOCALIZACION DE LAS BATERIAS

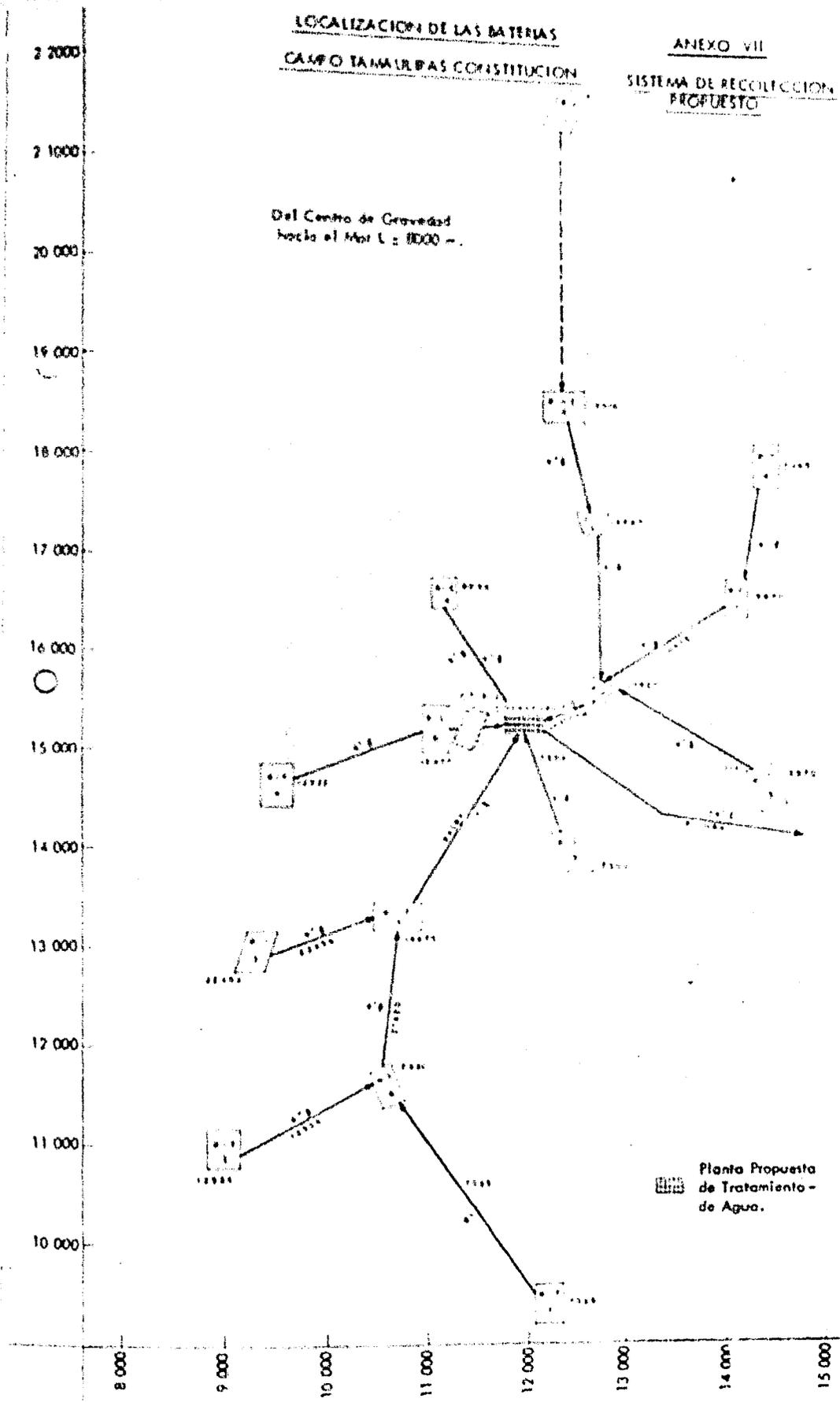
ANEXO VII

CAMPO TAMAUULPAS CONSTITUCION

SISTEMA DE RECOLECCION
PROPUESTO

Del Centro de Gravedad
hacia el Mar L = 10000 -

Planta Propuesta
de Tratamiento
de Agua.



ANEXO VIII

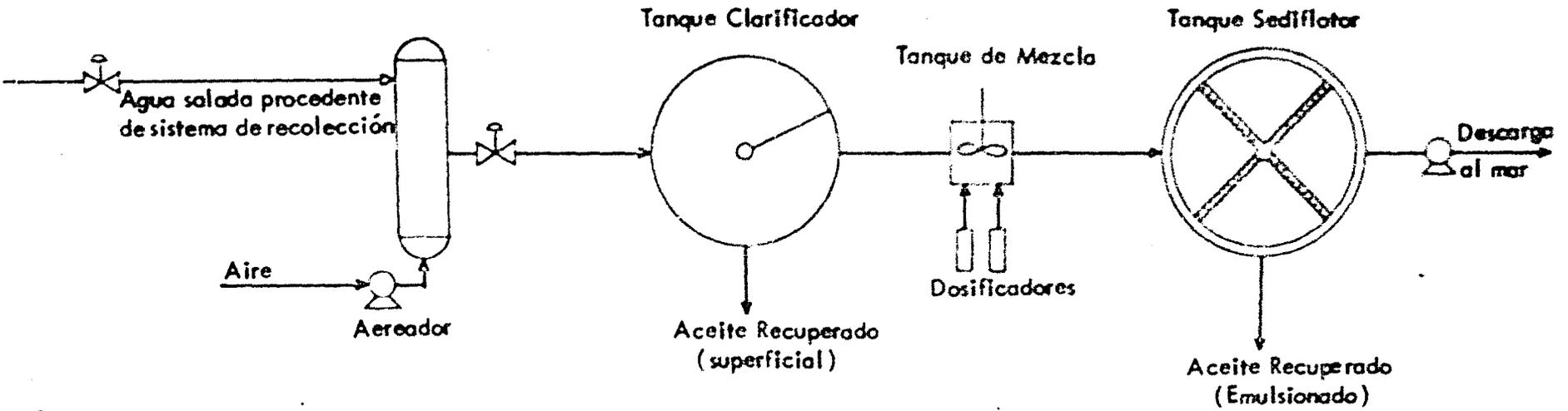


Diagrama de flujo de planta de tratamiento en el campo Tamaulipas - constituciones.

ANEXO IX

CALCULOS.

I. - Metodología de Cálculo.

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

1. - Cálculo de los diámetros en función del gasto y la velocidad (6ft/seg) para cada uno de los diferentes tramos.
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 - son mínimas. (3 a 4 m. de desnivel).
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. - Cálculo de la potencia de bombeo necesaria en cada estación para manejar los gastos considerados.

II. Consideraciones.

1. - Para el cálculo de No. de Reynolds se consideró una viscosidad (1.5 c.p.s.) y una densidad (65.06 lb/ft³) a una temperatura de 70°F.

2. - Los gastos utilizados en el cálculo hidráulico corresponden al 120% de los gastos estimados para el año de 1973 (Ver anexo No. 4).
3. - Los diámetros mínimos considerados en el sistema de recolección fueron de 4".
4. - La presión mínima en cualquier parte del sistema se limitó a 1 Kg/cm² (14.22 lb/in²).
5. - Para determinar el trazo del sistema de recolección, se utilizó el plano del area Tamaulipas-Constituciones.
6. - Es de hacer notar que el trazo de los acueductos que constituyen el sistema de recolección, se determinó única y exclusivamente con base en el plano mencionado anteriormente, por lo que será el proyecto definitivo el que determine el trazo verdadero, existiendo la posibilidad de que se aprovechen en forma óptima, las condiciones de terreno, con la economía consiguiente en la longitud de líneas así como en el equipo de bombeo.

III. Formulas empleadas .

1. - Para el cálculo del no. de Reynolds se utilizó la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{du \rho}{\mu}$$

2. - Para calcular las pérdidas unitarias de carga por fricción, se utilizó la siguiente ecuación:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2G_c}$$

3. - Para calcular la caída de Presión de cada tramo se utilizó la fórmula:

$$\Delta P = \frac{h_L \times S.G.}{2.31}$$

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

$$P_T = P_f + P_h$$

Como se mencionó en el inciso 4 la P_h se desprecia.

$$P_T = P_f$$

5. - Para el cálculo de la presión de descarga se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{como } P_T = P_f$$

$$\text{y además } P_T = P_f = P_d - P_s$$

$$P_d = P_f + P_s$$

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

$$B.H.P. = \frac{Q (P_d - P_s)}{1715 \eta}$$

IV. Nomenclatura de símbolos.

- Re no. de Reynolds.
- d diámetro nominal, en pulg.
- u velocidad en ft/seg
- ρ densidad del líquido en lb/ft³
- μ Viscosidad del líquido, en c.p.s.
- h_L caída de presión en pies de líquido.
- f factor de fricción.
- L longitud en ft.

- D = diámetro de tubería en ft.
- $2G_c$ = aceleración de la gravedad en ft/seg^2 .
- SG = densidad relativa ($S.G = 1.0432$)
- 2.31 = factor de conversión de la columna de agua a lb/in^2
- P_f = caída de presión por fricción en lb/in^2
- B.H.P = potencia consumida en H.P.
- Q = gasto de diseño manejado en G.P.M.
- P_d = presión de descarga de la bomba en lb/in^2
- P_s = presión de succión de la bomba en lb/in^2
- 1715 = factor de conversión a H.P.
- η = eficiencia del grupo motor-bomba igual a 0.8

ANEXO IX

TABLA # 1

CALCULO DEL GASTO, FACTOR DE DISEÑO, DEL DIAMETRO DE TUBERIA, LA VELOCIDAD.

LINEA	Q B.P.D.	Q ft ³ /seg.	1.2 Q ft ³ /seg.	Q G.P.M	Ø in	V ft/seg.
B.T. #1-B.T. #6	12534	0.8140	0.9768	440	6	4.89
B.T. #7-B.T. #6	7095	0.4610	0.5532	250	6	2.78
B.T. #6-B.T. #5	27620	1.7950	2.1540	966	8	6.10
B.T. #3-B.T. #5	22459	1.4590	1.7508	785	8	5.13
B.T. #4-B.T. #8	12322	0.8009	0.9610	430	6	4.75
B.C. #6-Pta. Trat.	27959	1.8713	2.1807	1000	8	6.41
B.T. #5-Pta. Trat.	64554	4.1960	5.0352	2250	14	5.33
B.C. #5-Pta. Trat.	7500	0.4875	0.5850	270	6	2.90
B.C. #6-B.C. #1	6019	0.3912	0.4694	210	4	5.27
B.C. #4-B.C. #2	5985	0.3890	0.4668	210	4	5.20
B.C. #2-B.C. #7	11655	0.7575	0.9090	410	6	4.45
B.C. #9-Pta. Trat	8539	0.5550	0.6660	300	6	3.33
B.C. #3-B.C. #7	3570	0.2320	0.2784	125	4	3.15
B.C. #1-B.C. #7	24866	1.6162	1.9394	870	8	5.60
B.C. #7-Pta. Trat.	50711	3.2962	3.9554	1700	12	4.87
Pta. Trat. - MAR	159263	10.3519	12.422	5600	24	6.35

ANEXO IX

TABLA # 2

Cálculo del No. Re.		Diámetro Interno		Rugosidad.
Factor de Fricción.				
LINEA	No.Re.	di (in)	E/D	f
B.T. #1-B.T. #6	157,799	6.065	0.000293	0.183
B.T. #7-B.T. #6	89,710	6.065	0.000293	0.020
B.T. #6-B.T. #5	262,461	7.981	0.00022	0.0172
B.T. #3-B.T. #5	220,725	7.981	0.00022	0.172
B.T. #4-B.C. #8	153,281	6.065	0.000293	0.0183
B.C. #8-Pta. Trat.	270,150	7.981	0.00022	0.0172
B.T. #5-Pta. Trat.	380,910	13.25	0.00012	0.0145
B.C. #5-Pta. Trat.	93,580	6.065	0.000293	0.0198
B.C. #6-B.C. #1	113,374	4.026	0.000447	0.020
B.C. #4-B.C. #2	111,868	4.026	0.000447	0.0199
B.C. #2-B.C. #7	239,334	6.065	0.000293	0.0177
B.C. #9-Pta. Trat.	97,526	6.065	0.000293	0.0177
B.C. #3-B.C. #7	67,766	4.026	0.000447	0.0217
B.C. #1-B.C. #7	240,947	7.981	0.00022	0.0172
B.C. #7-Pta. Trat.	387,237	12	0.00016	0.0156
Pta. Trat. - Mar	819,652	22.62	0.000060	0.0135

ANEXO IX

TABLA #3

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN PIES DE LIQUIDO.

LINEA	L(ft)	D _i (ft)	$u^2/2G_c$	L/D	h _L
B.T. #1-B.T. #6	5871	0.505	0.371	11625	78.49
B.T. #7-B.T. #6	5970	0.505	0.120	118441	28.41
B.T. #6-B.T. #5	4428	0.665	0.59	6675	66.95
B.T. #3-B.T. #5	5018	0.665	0.41	7500	52.27
B.T. #46-B.C. #8	4264	0.505	0.58	85.00	90.2
B.C. #8-Pta. Trat.	1968	0.665	0.66	2959	33.58
B.C. #5-Pata. Trat.	6888	1.10	0.46	6255	41.72
B.C. #5-Pata. Trat.	4592	0.505	0.13	9087	23.38
B.C. #6-B.C. #1.	3673	0.335	0.30	10964	65.78
B.C. #4-B.C. #2	4460	0.335	0.44	13390	117.2
B.C. #2-B.C. #7	5084	0.505	0.31	10067	55.23
B.C. #9-Pta. Trat.	5576	0.505	0.172	10000	30.44
B.C. #3-B.C. #7	5576	0.335	0.154	16644	55.6
B.C. #1-B.C. #7	5904	0.665	0.49	8870	74.75
B.C. #7-Pata. Trat.	3509	1	0.60	3509	32.84
Pta. Trat. MAR	26240	1.885	0.60	13500	109.35

ANEXO IX

TABLA #4

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION TOTAL, PRESION DE SUCCION Y DE DESCARGA.

LINEA	ΔP lb/in ²	P_s lb/in ²	P_d lb/in ²
B.T. #1-B.T. #6	35.4	14.22	49.66
B.T. #7-B.T. #6	12.83	"	27.0
B.T. #6-B. #5	30.27	"	44.49
B.T. #3-B.T. #5	23.60	"	37.82
B.T. #4-B.T. #8	42.0	"	56.22
B.C. #8-Pta. Trat.	15.8	"	30.02
B.T. #5-Pta. Trat.	20.0	"	34.22
B.C. #5-Pta. Trat.	10.55	"	24.77
B.C. #6-B.C. #1	29.70	"	43.92
B.C. #4-B.C. #2.	55.0	"	69.22
B.C. #2-B.C. #7	24.0	"	38.22
B.C. #9-Pta. Trat.	14.2	"	28.42
B.C. #3-B.C. #7	25.10	"	39.32
B.C. #1-B.C. #7	33.0	"	47.22
B.C. #7-Pta. Trat.	14.8	"	29.02
Pta. Trat. - MAR	49.38	"	63.60

ANEXO No. IX

TABLA No.5

POTENCIA REQUERIDA EN H. P.

LOCALIZACION		ALTERNATIA 4-A-----4B
Bateria Tamaulipas	1	15
" "	3	15
" "	4	10
" "	5	40
" "	6	25
" "	7	3
Bateria Constituciones	1	20
" "	2	7.5
" "	3	3
" "	4	7.5
" "	5	2
" "	6	7.5
" "	7	15
" "	8	10
" "	9	5
Planta de Tratamiento		<u>125</u>
TOTAL :		310.5

T A B L A No. 6POTENCIA TOTAL EN H.P.

<u>Localización</u>		<u>H.P. requeridos</u>	<u>No. Máquinas</u>	<u>H.P. totales</u>
Batería Tamaulipas	1	15	2 de 15	30
Batería Tamaulipas	3	15	2 " 15	30
Batería Tamaulipas	4	10	2 " 10	20
Batería Tamaulipas	5	40	3 " 20	60
Batería Tamaulipas	6	25	2 " 25	50
Batería Tamaulipas	7	3	2 " 3	6
Batería Constituciones	1	20	2 " 20	40
Batería Constituciones	2	7.5	2 " 7.5	15
Batería Constituciones	3	3	2 " 3	6
Batería Constituciones	4	7.5	2 " 7.5	15
Batería Constituciones	5	2	2 " 2	4
Batería Constituciones	6	7.5	2 " 7.5	15
Batería Constituciones	7	15	2 " 15	30
Batería Constituciones	8	10	2 " 10	20
Batería Constituciones	9	5	2 " 5	10
Planta de Tratamiento		<u>125</u>	<u>2 " 60</u>	<u>180</u>
		<u>310.5</u>	<u>34 máquinas</u>	<u>531</u>

ANEXO No. X

I. ESTIMACION DE COSTOS

La estimación de costos está constituida por una serie de procedimientos mediante los cuales es posible conocer aproximadamente desde el costo de algún elemento integrante de una Planta hasta el de la Planta completa, sabiendo de antemano algunas características de ese elemento o Planta como pudieran ser: Capacidad, potencia, costo unitario de producción, valor unitario de venta, etc.

Los métodos a seguir para lograr la estimación de costos, son muy diversos, tanto por la forma de realizarios como por la exactitud que ofrecen. Obviamente aquel que ofrece más exactitud, es el que más tiempo toma y más información pide. En muchas ocasiones, la recavación de la información toma más tiempo del que justifica el avance del proyecto, entonces se prefiere sacrificar un poco la exactitud por la urgencia de elaborar una estimación que dé una idea aproximada de la inversión que es necesario hacer.

II. ESTIMACION DE COSTOS PARA EQUIPOS.

Para estimar el costo de los equipos que componen una Planta, se tienen también métodos específicos con diferentes grados de exactitud.

El estimar con cuidado el costo del equipo, es muy útil ya que a partir de él se pueden obtener los demás renglones que van a integrar la Planta, usando factores empíricos encontrados al analizar diversos tipos de Industrias.

Es esencial al estimador para poder realizar estimaciones útiles de costos, tener información del costo del equipo, así como métodos de ajuste de precios de equipo --

por capacidad y métodos de estimación de equipos auxiliares para el proceso.

El usar los valores de los archivos de órdenes de compra anteriores, constituye un método muy eficaz y útil.

Cuando se usa este método para estimar nuevos equipos, los precios de las órdenes de compra deben corregirse o actualizarse mediante índices de costo.

METODO DE LOS 6 10: este método estima el costo de un nuevo equipo, cuando el costo de otro equipo similar pero de diferente capacidad, es conocido.

La expresión general es:

$$E_b = E_a \left(\frac{C_b}{C_a} \right)^{0.6}$$

En donde:

E_b = Costo que se quiere estimar

E_a = Costo conocido del equipo base.

C_b = Capacidad del equipo a estimar

C_a = Capacidad del equipo base.

III. INDICE PARA ACTUALIZACION DE COSTOS.

Si los costos que han servido para elaborar gráfica y tablas comparativas para estimaciones, no son actualizados constantemente, mediante el uso de algunos factores, el trabajo del estimador que recabó y procesó esos datos se vuelve obsoleto al cabo de algún tiempo, pues los costos varían sin seguir una ley de sucesión que pueda predecirlos con exactitud.

Afortunadamente existen una serie de índices publicados periódicamente por

diferentes sociedades que permiten actualizar los costos de estudios anteriores, ahorrando mucho tiempo al evitar la necesidad de hacer una nueva investigación de costos.

Así pues se tienen los índices de Marshall & Stevens (Publicados en el Chemical Engineering) que se refiere a la Industria de proceso, el índice de Nelson, (Publicado en el Oil & Gas Journal) enfocado específicamente a la Industria del petróleo y el índice del Engineering News Record (ENR, publicado en la revista del mismo nombre) referido al renglón de la construcción.

El uso de los índices es muy sencillo. Sea A el año en que se elaboran la gráficas o tablas de costos. Sea B el año actual en el que se quiere estimar el equipo, entonces:

$$\text{Costo B} = \text{Costo A} \left(\frac{\text{Índice B}}{\text{Índice A}} \right)$$

ANEXO X

ALTERNATIVA 1-A

	M.N.
Sistema de recolección con tubería de acero, API-Std. Gr. B, protegida interiormente para evitar la corrosión.	\$ 3.300,000.00
Equipo de bombeo en la diferentes baterías del área Tamaulipas-Com _u n _i titución.	" 900,000.00
Sistema de remoción de ácido Sulfúrico.	" 350,000.00
Planta integral de tratamiento de agua antes de pasar a la planta de saladora.	" 2.600,000.00
Planta desaladora, incluyendo terreno, fosas de evaporación, concentración y cristalización.	" 13.900,000.00
Medidor registrador de flujo.	" 10,000.00
Imprevistos (15%)	" 3.150,000.00
INVERSION FIJA TOTAL:	\$ 24.000,000.00

ANEXO No. X

ALTERNATIVA No. 1-B

M.N.

Sistema de recolección con tubería de asbesto-cemento especificación A-7 y diámetros de 4", 6", 8", 12" y 16" incluyendo protección de la resistencia mecánica.	" 2.500,000.00
Equipo de bombeo en las diferentes baterías del área Tamaulipas-Constituciones.	" 900,000.00
Sistema de remoción de ácido sulfídrico.	" 350,000.00
Planta integral de tratamiento de agua antes de pasar a la planta desaladora.	" 2.600,000.00
Planta desaladora incluyendo terreno, fosas de evaporación, concentración y cristalización.	" 13.900,000.00
Medidor registrador de flujo	" 10,000.00
Imprevistos (15%)	" 3.000,000.00
INVERSION FIJA TOTAL:	\$ 23.200,000.00

ANEXO No. X

CALCULO DE LA INVERSION PARA LA ALTERNATIVA I

Método de los 6/10

$$\frac{Eb}{Ea} = \left(\frac{Cb}{Ca} \right)^{0.6}$$

Donde:

Eb: Inversión de la planta nueva

Ea: \$ 5.000,000.00

Cb: 288,000 Ton/Año.

Ca: 120,000 Ton/Año*

Por lo tanto:

$$Eb = 5.000.000 \left(\frac{288,000}{120,000} \right)^{0.6}$$

Eb = \$ 8.500,000.00 (Para el año de 1956)

Actualizando por los índices de Marshall & Stevens, se tiene:

Índice para 1956: 215 Inversión 1956 \$ 8.500,000.00

Índice en 1969: 273.1 Inversión 1969 " X

Por lo tanto:

$$\text{Inv. 1969} = \$ 8.500,000.00 \frac{273.1}{215}$$

Inv. 1969 = \$10.700,000.00

Debido a que el costo del equipo en México es mayor que en E.U., se amen
ta un 30 % de la inversión anterior.

Por lo tanto: Inv. 1969 = \$ 13.900,000.00

* Dato proporcionado por la Gerencia de Proyectos y Construcción (PEMEX).

ANEXO No. X

ALTERNATIVA No. 2-A

M.N.

Sistema de recolección con tubería de acero inoxidable, API-Std., Gr. B, protegida interiormente para evitar la corrosión.	\$ 3.300,000.00
Equipo de Bombeo en las diferentes baterías del área Tamaulipas Constituciones.	\$ 900,000.00
Sistema de remoción de Acido Sulfúrico.	\$ 350,000.00
Planta de Tratamiento de Agua.	\$ 2.600,000.00
Filtros de arena para evitar la turbiedad, y taponamientos.	\$ 5.500,000.00
Medidor registrador de flujo.	\$ 10,000.00
Imprevistos (15%)	" 1.900,000.00
INVERSION FIJA TOTAL:	\$ 14.500,000.00

ANEXO X

ALTERNATIVA 2-B

	M. N.
Sistema de recolección con tubería de asbesto-cemento, especificación A-7 y diámetros de 4", 6", 8", 12" y 16", incluyendo protección a la resistencia mecánica.	\$ 2.500,000.00
Equipo de bombeo en las diferentes baterías del área Tamps. - Constituciones.	" 900,000.00
Sistema de remoción de ácido sulfúrico.	" 350,000.00
Planta de Tratamiento de agua.	" 2.600,000.00
Filtros de arena para eliminar la turbiedad y evitar taponamientos.	" 5.500,000.00
Medidor registrador de flujo.	" 10,000.00
Imprevistos (15%)	" 1.800,000.00
INVERSION FIJA TOTAL:	\$ 13.800,000.00

ANEXO X

CALCULO DE LA INVERSION PARA LA ALTERNATIVA 2.

Aplicando los índices de Marshall Stevens, para el cálculo de los filtros de arena con un área de filtración de 133 ft^2 , gráficamente se encontró que para esa área de filtración se tiene un costo de \$ 150,000.00/Filtro.

Por lo tanto aplicando los índices de Marshall & Stevens se tiene:

$$\text{Inv. 1969} = \text{Inv. 1954} \frac{\text{Indice 1969}}{\text{Indice 1954}}$$

$$\text{Inv. 1969} = \$ 150,000.00 \frac{273.1}{184}$$

Por lo tanto la inversión en 1969 es de \$ 168,750.00

Dada la cantidad tan grande de agua salada que hay que purificar, así como el retrolavado que se tiene que hacer a los filtros se necesitan 25 de estos.

Por consecuencia:

$$\text{Inv. 1969} = 168,750 (25) = \$ 4,218,750.00.$$

Debido a que el costo de equipo en México es mayor que en E.U. se aumenta un 30 % de la inversión anterior.

$$\text{O sea: Inv. 1969} = \$ 5,500,000.00$$

ANEXO X

ALTERNATIVA No. 4-A

	M.N.
Sistema de recolección con tubería - de acero, API-Std, Gr. B, protegida interiormente para evitar la corrosión.	\$ 3.300,000.00
Equipo de bombeo en las diferentes - baterías del área Tamaulipas-Consti- tuciones.	" 950,000.00
Acueducto de descarga al mar, de 24" Ø y 8 Km. de longitud, con tubería de acero, API-Std. 5L, Gr. B, prote- gido interiormente para evitar la co- rrosión.	" 4.700,000.00
Sistema de remoción de ácido Sulphú- rico.	" 350,000.00
Planta integral de tratamiento de agua antes de descarga en el Golfo de México.	" 2.600,000.00
Medidor-Registrador de flujo.	" 10,000.00
Imprevistos (15%)	" 1.700,000.00
INVERSION FIJA TOTAL:	\$ 13.500,000.00

ANEXO No. X

TABLA # 1

ESTIMACION DE COSTOS DE TUBERIA DE ACERO Y MATERIALES POR Km.

Espesor de pared (in)	Especifica <u>ci</u> ción y gra <u>do</u> de la - tubería.	Importe - de la tu- bería - - \$/ Km.	Importe de los - Materia- les anti- corrosivos \$/Km.	Importe de las - válvulas y piezas específi- cas. \$/Km.	Importe de la ins- pección radio gra <u>do</u> fica. \$/Km.	Importe protec- ción ca todica. \$/Km.	Importe total \$/Km
40.203	API-Std 5L	52400	4920	1070	1500	620	60150
60.203	"	73500	6970	1590	1500	940	84500
80.277	"	108000	8930	2200	1550	1150	121830
120.281	"	164200	13180	4950	1600	1710	185640
160.344	"	258700	16540	7250	1700	2130	286320
240.344	"	414800	24640	17690	1900	6400	465430

A N E X O X

T A B L A # 2

ESTIMACION DE COSTOS DE MANO DE OBRA PARA LOS DIFERENTES
DIAMETRO DE TUBERIA DE ACERO POR Km.

Diámetro.	4"	6"	8"	12"	16"	24"
Apertura	2070.00	3200.00	3200.00	7200.00	7200.00	7200.00
Conformacion del dehecho de vía.						
Excavación de la zanja.	3800.00	8500.00	8500.00	8500.00	12500.00	12500.00
Transp. y tendi- do de la tubería, valvulas y conec- ciones.	4400.00	5100.00	7700.00	11500.00	15400.00	19800.00
Alineado, dobla- do y soldado.	6200.00	10700.00	16500.00	24800.00	27700.00	33100.00

ANEXO (CONTINUACION).

TABLA No.2

Diámetro	4"	6"	8"	12"	16"	24"
Limpieza y recubrimien- to exterior.	4600.00	5700.00	7600.00	13100.00	21200.00	24600.00
Limpieza in- terior y pueba hidro- tica.	2300.00	2300.00	2300.00	5000.00	5000.00	6000.00
Total importe. por Km.	28970.00	41100.00	52100.00	80200.00	102500.00	121100.00

ALTERNATIVA 4 - A

ESTIMADO DE COSTO.

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ASMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL.
1.790 Km. de tubería de 6" Ø especificación API-Std-5L Gr.B y 0.188" de espesor entre la batería de separadores Tamaulipas 1 y Tamaulipas 6.	\$ 130,490	\$ 73,569.00	\$ 11,595	\$ 16,231	\$ 231,885.00
1,820 Km. de tubería de acero 6" Ø, especificación API-Std-5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Tamaulipas 7 y Tamaulipas 6.	132,680	74,802	11,788	16,505	235,775.00
1,350 Km. de tubería de acero de 8" Ø, especificación API-Std-5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Tamaulipas 6 y Tamaulipas 5.	116,275	70,335	10,600	14,850	212,060.00
1,530 Km. de tubería de acero de 8" Ø, especificación API-Std-5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Tamaulipas 3 y Tamaulipas 5.	131,780	79,713	12,012	16,825	240,330.00

ALTERNATIVA 4-A

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
1.300 Km. de tubería de acero de 6" Ø, especificación API-Std 5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Tamaulipas 4- y Constituciones 8.	\$ 94,700	\$ 53,430	\$ 8,420	\$ 11,790	\$ 168,420.00
0.600 Km. de tubería de acero de 8" Ø, especificación API-Std 5L Gr. B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 8 y la planta de tratamiento de agua.	51,680	41,680	5,300	7,430	106,090.00
2.100 Km. de tubería de acero de 14" de Ø, especificación API-Std. 5L Gr.B y 0.250" de espesor entre batería de separadores Tamaulipas 5 y la planta de Tratamiento de agua.	372,100	187,740	31,810	44,530	636,180.00

ALTERNATIVA 4-A

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
1.400 Km. de tubería de acero de 6" Ø, especificación API-Std- 5L Gr. B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 5 y la planta de Tratamiento de agua.	\$ 102,060	\$ 57,540	\$ 9,070	\$ 12,690	\$ 181,360.00
1.120 Km. de tubería de acero de 4" Ø especificación API-Std- 5L Gr. B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 6 y Constituciones 1	56,145	32,446	5,035	7,004	100,670.00
1.360 Km. de tubería de acero de 4" Ø, especificación API-Std- 5L Gr. B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 4 y Constituciones 2.	68,175	39,400	6,110	8,560	122,245.00

ALTERNATIVA 4-A

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS	TOTAL
1.550 Km. de tubería de acero de 6" Ø, especificación API-Std- 5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 2 y Constituciones 7.	\$ 112,995	\$ 63,705	\$ 10,040	\$ 14,055	\$ 200,795.00
1.700 Km. de tubería de acero de 6" Ø, especificación API-Std - 5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 9 y la planta de Tratamiento de agua.	123,930	69,870	11,010	15,420	220,230.00
1.700 Km. de tubería de acero de 4" Ø, especificación API-Std-5L Gr.D y 0.125" de espesor, entre batería de separadores Constituciones 3 y Constituciones 7.	185,220	49,250	17,640	10,700	152,810.00

ALTERNATIVA 4-A

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
1.800 Km. de tubería de acero de 8" Ø, especificación API-Std. 5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constitución 1 y Constitución 7.	\$ 155,035	\$ 93,780	\$ 14,135	\$ 19,795	\$ 282,745.00
1.070 Km. de tubería de acero de 12" Ø especificación API-std- 5L Gr.B y 0.188" de espesor entre batería de separadores Constituciones 7 y la planta de Tratamiento de agua.	158,615	85,814	13,881	19,450	277,760.00
TOTAL SISTEMA DE RECOLECCION.	1,891,950	1,073,074	168,446	235,875	3.369,345.00
8.0 Km. de tubería de acero- (24" Ø) especificación API-Std- 5L Gr. B y 0.250" de espesor entre la Planta de Tratamiento de agua y el punto de descarga en el Golfo de México.	2,994,320	1,185,200	237,490	332,840	4,749,850.00
T O T A L E S:	4,886,270	2,258,274	405,936	568,715	8.119,195.00

ANEXO X

TABLA No. 3

COSTO DE MOTO-BOMBA H.P. PARA MOTORES ELECTRICOS.

1.- Motor	\$	M.N. 300.00 H.P.
2.- Bomba		400.00 "
TOTAL:		700.00 "
3.- Fletes (30% de 1 + 2)		210.00 "
TOTAL:		910.00 "
4.- Instalación (50% de 1 + 2 + 3)		455.00 "
TOTAL:		1,365.00 "
5.- Imprevistas (10% de 4)		135.00 "
TOTAL:		1,500.00 "
6.- Conexiones e instrumentación. (10% de 5)		150.00 "
TOTAL:		1,650.00 "
7.- Cable, arrancador, cobertizo (9% de 6)		150.00 "
TOTAL:	\$	1,800.00 H.P.

ESTIMADO DE COSTO

EQUIPO DE BOMBEO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 15 H.P. en la batería de Tamaulipas No. 1	\$ 54,000				\$ 54,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 15 H.P. en la batería de Tamaulipas No. 3.	54,000				54,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 10 H.P. en la batería de Tamaulipas No. 4	36,000				36,000.00
3 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 20 H.P. en la batería de Tamaulipas - No. 5	108,000				108,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 25 H.P. en la batería de Tamaulipas No. 6	90,000				90,000.00

ESTIMADO DE COSTO
EQUIPO DE BOMBEO.

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 3 H.P. en la batería Tamaulipas No. 7	\$ 10,800				\$ 10,800.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 20 H.P. en la batería de Constitu- ciones No. 1	72,000				72,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 7.5 H.P. en la batería de Consti- tuciones No. 2	27,000				27,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 3 H.P. en la batería de Constitu- ciones No. 3.	10,800				10,800.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores - eléctricos de 7.5 H.P. en la batería Constitu- ciones No. 4.	27,000				27,000.00

ESTIMADO DE COSTO

EQUIPO DE BOMBEO.

CONCEPTO	MATERIALES	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
2 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 2 H.P. en la batería de constituciones No. 5	\$ 7,200				\$ 7,200.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 7.5 H.P. en la batería de Constituciones No. 6	27,000				27,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 15 H.P. en la batería de Constituciones No. 7	54,000				54,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 10 H.P. en la batería de Constituciones No. 8	36,000				36,000.00
2 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 5 H.P. en la batería de Constituciones No. 9	18,000				18,000.00

ESTIMADO DE COSTO

EQUIPO DE BOMBEO.

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA.	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
3 bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de 60 H.P. en la Planta de Tratamiento de agua.	324,000				324,000.00

TOTALES :

\$ 955,800.00

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
Torre desgasificadora construida en madera y equipada con ventilador para abatir contenido de ácido sulfhídrico.	\$ 175,000	\$ 175,000			\$ 350,000.00
Tanque clarificador diseñado para un gasto de 313 lt. seg. (27,043 m ³ /día) construido de concreto.	267,000	267,000			534,000.00
			(incluye Ingeniería y Admón.)		
Tanque de mezcla de reactivos para un gasto - 313 lt. seg.	27,300	27,300			54,600.00
			(incluye Ingeniería y Admón.)		
Sistema de dosificación de reactivos, incluido bombas.	110,000	110,000			220,000.00
			(incluyendo Ingeniería y Admón.)		
Tanque floculador para manejar un gasto de 313 lts./seg. (de concreto armado).	81,600	81,600			163,200.00
			(incluye Ingeniería y Admón.)		
Tanque Sedifloteo o similar de concreto provisto de desnatadores para eliminar aceite emulsionado, con capacidad de 313 lts./seg.	672,000	672,000			1,344,000.00
T O T A L E S :					\$ 2,665,800.00

ANEXO X

ALTERNATIVA No. 4-B

Sistema de recolección con tubería de asbesto-cemento, especificación A-7 y diámetros de 4", 6", 8", 12" y 16".	\$ 2.500,000.00
Equipo de bombeo en las diferentes baterías del área Tamaulipas— Constituciones.	" 900,000.00
Acueducto de descarga al mar, de 24" de Ø y 8.0 Km. de long. con tubería de asbesto-cemento, especificación A-7.	" 4.700,000.00
Sistema de remoción de ácido sulfúrico.	" 350,000.00
Planta integral de Tratamiento de agua antes de descargar en el Golfo de México.	" 2.600,000.00
Medidor registrador de flujo.	" 10,000.00
Imprevistos (15%)	" 1.600,000.00
INVERSION FIJA TOTAL:	\$ 12.500,000.00

ANEXO X

TABLA # 4

ESTIMACION DE COSTOS DE TUBERIA DE ASBES
TO-CEMENTO Y MATERIALES POR Km.

A - 7

Ø in.	Importe de la tubería \$/Km.	Importe de válvulas y piezas espe- cíficas \$ Km.	Importe to- tal \$/Km.
4	30,900.00	1077.00	31,970.00
6	48,200.00	1590.00	49,790.00
8	64,700.00	2200.00	66,900.00
12	127,200.00	4950.00	132,150.00
16	233,000.00	7250.00	240,250.00
24	458,900.00	17690.00	476,590.00

A N E X O X

TABLA No. 5

ESTIMACION DE COSTOS DE MANO DE OBRA PARA LOS DIFERENTES
DIAMETRO DE TUBERIA ASBESTO-CEMENTO POR Km.

Apertura	4"	6"	8"	12"	16"	24"
Conformación del desecho de vía	2070.00	3200.00	3200.00	7200.00	7200.00	7200.0
Escavación de la - zanja.	3800.00	8500.00	8500.00	8500.00	12500.00	12500.0
Transporte y tendido de la tubería válvulas y conexiones.	4400.00	1500.00	7700.00	11500.00	15400.00	19800.0
Limpieza y rec. exterior.	4600.00	5700.00	7600.00	13100.00	21200.00	24600.0
Bajado y tapado de la tubería	5600.00	5600.00	6300.00	10100.00	13500.00	17900.00
Limpieza int. y prueba hidrostática.	2300.00	2300.00	2300.00	5000.00	5000.00	6000.00
Total imp. por Km.	22700.00	30400.00	35600.00	55400.00	74800.00	88000.0

ALTERNATIVA 4 B

ESTIMADO DE COSTO.

CONCEPTO.	MATERIAL	MANO DE OBRA		ADMINISTRA- CION Y OTROS	TOTAL.
1.790 Km. de tubería de 6" Ø de asbesto-ce <u>me</u> mento especificación A-7 entre la batería de separadores Tamaulipas 1- y Tamaulipas 6.	74,270	73,570	8,400	11,760	\$ 168,000.00
1.820 Km. de tubería de 6" Ø de asbesto-ce <u>me</u> mento especificación A-7 entre la batería de separadores Tamaulipas 7 y Tamaulipas 6.	75,510	74,800	8,540	11,960	170,810.00
1.350 Km. de tubería de 8" Ø de asbesto-ce <u>me</u> mento especificación A-7 entre la batería de separadores Tamaulipas 6 y Tamaulipas 5.	76,680	70,335	8,350	11,705	167,070.00
1.530 Km. de tubería de 8" Ø de asbesto-ce <u>me</u> mento especificación A-7 entre batería de se paradores Tamaulipas 3 y Tamaulipas 5	86,910	79,715	9,470	13,285	189,380.00

ALTERNATIVA 4-8

ESTIMADO DE COSTO.

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
1.300 Kg. de tubería de 6" Ø de asbesto-cemento especificación A-7 entre batería de separadores Tamoulipas 4 y Constituciones 8.	\$ 53,940	\$ 53,430	\$ 6,100	\$ 8,540	\$ 122,010.00
0.600 Km. de tubería de 8" Ø 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	74,250.00
2.100 Km. de tubería de 14" Ø de asbesto-cemento especificación A-7 entre batería de separadores Tamoulipas 5 y la planta de Tratamiento de agua.	297,570	187,740	27,575	38,605	551,490.00
1.400 Km. de tubería de 6" Ø de asbesto-cemento especificación A-7 entre batería de separadores Constituciones 5 y la Planta de Tratamiento de agua.	58,080	57,540	6,570	9,200	131,390.00

ALTERNATIVA 4-B

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA.	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
1.120 Km. de tubería de 4" Ø de asbesto-cemento entre la batería de separadores Constituciones 6 y Constituciones 1	31,330	32,450	3,625	5,075	\$ 72,480.00
1.360 Km. de tubería de 4" Ø de asbesto-cemento especificación A-7, entre batería de separadores Constituciones 4 y Constituciones 2	38,040	39,400	4,400	6,160	88,000.00
1.550 Km. de tubería de 6" Ø de asbesto-cemento entre batería de separadores Constituciones 2 y Constituciones 7	64,310	63,705	7,275	10,180	145,470.00
1.700 Km. de tubería de 4" Ø de asbesto-cemento especificación A-7 entre batería de separadores Constituciones 3 y Constituciones 7.	47,550	49,250	5,500	7.700	110,000.00

ALTERNATIVA 4 -B
ESTIMADO DE COSTO.

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
1.700 Km. de tubería de 4" Ø de asbesto-cemento especificación A-7, entre batería de separadores Constituciones 9 y la Planta de Tratamiento de agua.	47,550	49,250	5,500	7,700	\$ 110,000.00
1.800 Km. de tubería de 8" Ø de asbesto-cemento, especificación A-7 entre batería de separadores Constituciones 1 y Constituciones 7	102,240	93,780	11,140	15,590	222,750.00
1.070 Km. de tubería de 12" Ø de asbesto-cemento especificación A-7 entre batería de separadores Constituciones 7 y la Planta de Tratamiento de agua.	115,400	85,815	11,430	16,005	228,650.00
TOTAL SISTEMA DE RECOLECCION;	1.203,460	1.042,040	127,590	178,660	2,551,750.00
8.0 Km. de tubería de 24" Ø de asbesto-cemento especificación A-7 entre la planta de tratamiento de agua y el punto de descarga en el Golfo de México.	2.959,920	1.185,200	235,520	329,730	4.710,370.00
T O T A L E S :	4.163,380.00	2.227,240.00	363,110.00	508,390.00	7.262,170.00

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

ESTIMADO DE COSTO

CONCEPTO	MATERIAL	MANO DE OBRA.	INGENIERIA.	ADMINISTRACION Y OTROS.	TOTAL
Torre desgasificadora construida en madera y equipada con ventilador para abatir contenido de ácido sulfhídrico.	\$ 175,00	\$ 175,000			\$ 350,000.00
Tanque clasificador diseñado para un gasto de 313 lt./seg. (27,043 m ³ /día) construido de concreto.	267,000	267,00	(incluye Ingeniería y Admón.)		534,000.00
Tanque de mezcla de reactivos para un gasto de 313 lt./seg.	27,300	27,300	(incluye Ingeniería y Admón.)		54,600.00
Sistema de dosificación de reactivos, incluyen do bombas.	110,00	110,000	(incluye Ingeniería y Admón.)		220,000.00
Tanque floculador para manejar un gasto de 313 lts./seg. (de concreto armado).	81,600	81,600	(incluye Ingeniería y Admón.)		163,200.00
Tanque Sediflador o similar de concreto provisto de desnatadores para eliminar aceite emulsionado, con capacidad de 313 lts./seg.	672,000	672,000			1.344,000.00
T O T A L E S :					\$ 2.665,800.00

A N E X O XI

INDICE DE LANGELIER Y 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 predecir la tendencia (natural o acondicionada) a depositar carbonato de calcio.

El índice de Langelier se puede calcular según la expresión:

$$\text{pH}_s = (9.30 + A + B) - (C + D)$$

en donde:

pH_s = pH. de saturación del carbonato de calcio.

A = constante en función del contenido de sólidos totales, en p.p.m.

B = constante en función de la temperatura.

C = constante en función de la dureza total, expresada como p.p.m. de carbonato de calcio.

D = constante en función de la alcalinidad, expresada como p.p.m. de carbonato de calcio.

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:

$$\text{Índice de estabilidad} = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

en donde:

pH_s = pH de saturación del carbonato de calcio.

pH = pH medio 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 o incrustantes de -- agua.

Aplicando estos conceptos al agua salada que se drena en Tamaulipas--Constituciones, se tiene:

Sólidos totales	p.p.m. 36,605
Dureza del calcio como CaCO_3	3,069
Alcalinidad como CaCO_3	444.9

El valor de la constante es:

$$A = 0.150 \text{ (}^* \text{)}$$

(*) se consideró que sería una solución diluida a 100 volúmenes, con agua.

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

$$C = 1.08$$

$$D = 0.68$$

$$\text{pH}_s = (9.30 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{pH}_s = (9.30 + 0.15 + 2.06) - (1.08 + 0.60)$$

$$\text{pH}_s = 9.83$$

Indice de Saturación:

$$I_s = \text{pH} - \text{pH}_s$$

$$I_s = 7.9 - 9.83$$

$$I_s = - 1.93$$

Indice de estabilidad de Ryznar:

$$I_e = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

$$I_e = 2(9.83) - 7.9$$

$$I_e = 11.76$$

Los índices indican que el agua tiene un carácter fuertemente corrosivo.

ANEXO XII

BIBLIOGRAFIA

Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemical Plants.

Milton R. Beychok. John Wiley and Sons, 1967.

Betz Handbook of Industrial Water Conditioning.

Sixth Edition, 1962.

Cameron Hydraulic Data

G.V. Shaw and A.W. Loomis.

Chemical Engineering Cost Estimation.

Aries and Newton, Mc. Graw-Hill.

Chemical Engineering Progress.

Enero 1964, págs. 49-52.

Chemical Engineering Progress.

marzo 1968, págs. 35-39.

Flow of Fluids.

Crane Co. Chicago.

Infilco Sedifloteo Clarifier

Bulletino N. 830.

Introduction to oil field water technology.

A.G. Ostroff. Prentice Hal Inc. 1965.

Manual de tratamiento de aguas.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.

Manual on Disposal of Refinery Wastes.

Waste Water Containing oil. API 1963. Volumen I

Mixers an Mixing.

Bulletin 730 5430 - A. Infilco General American

Pipe Friction Manual.

Hidraulic Institute.

U.S. Public Health Service Drinking Water Standards.

Oficina Gubernamental de E.U.A.