

T
622.1828
D949



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Geología, Minás y Petróleo



“ASPECTOS GENERALES SOBRE EL TRATAMIENTO
DEL AGUA DE INYECCION Y DISEÑO BASICO DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA UN CAMPO
EN EL NORORIENTE ECUATORIANO”

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN PETROLEO

Presentada por:
Segundo Durango García

Guayaquil - Ecuador
1988

A G R A D E C I M I E N T O

- Al Ing. RICARDO GALLEGOS ORTA, Director de Tesis, por su Gran Ayuda y Colaboración Para la Realización de Este Trabajo.
- A mi Hermano Sr. PATRICIO DURANGO por su Valiosa Colaboración en la Elaboración de la Tesis.
- A los Técnicos del Consorcio CEPE - TEXACO, y de la Cia. DI CHEM del Ecuador, Por su Asesoría Técnica y por la Información Proporcionada.

DEDICATORIA

- Con Infinito Agradecimiento a mi Madre, Sra. NORMA GARCIA DE DURANGO. Con Sacrificado Esfuerzo Ella ha Hecho Posible la Culminación de mi Carrera Universitaria.
- A mis Hermanos, NORMA, ENRIQUE, EDUARDO y PATRICIO.
- A mis Compañeros y Amigos.

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas espuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Titulos Profesionales de la ESPOL.



SEGUNDO DURANGO GARCIA.

Jorge Rengel

Ing. Jorge Rengel E.
DECANO DE LA FACULTAD DE
ING. GEOLOGIA, MINAS Y
PETROLEO.

Ricardo Galleos

Ing. Ricardo Galleos O.
DIRECTOR DE TESIS.

José Cabezas

Ing. José Cabezas P.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Heinz Terán

Ing. Heinz Terán M.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.



RESUMEN

En el presente trabajo, el objetivo es proporcionar a los ingenieros de petróleos un conocimiento general sobre los requerimientos básicos del agua de inyección y sus diferentes procesos de tratamiento, utilizados en los proyectos de recuperación secundaria.

Los aspectos teóricos expuestos han sido llevados a la práctica elaborando, un diseño básico el cual, consiste en dimensionar los principales componentes de un sistema de tratamiento e inyección para un campo específico del nor-orienté ecuatoriano (Auca), partiendo de algunos datos como el volumen diario de agua a inyectarse, presión de inyección, tiempo de vida del proyecto, ubicación de los pozos inyectorés. Estos datos son obtenidos de un modelo matemático computarizado del yacimiento, elaborado por técnicos del Consorcio Cepe-Texaco y, de los análisis de laboratorio de las aguas involucradas en el proyecto. Con ellos se determinará el tipo de tratamiento que necesitará el agua de inyección, el tipo de sistema de tratamiento y, los componentes básicos del sistema para conocer su calidad en la fuente natural de origen y determinar la calidad final.

INDICE GENERAL

	PAGINA
RESUMEN	V
INDICE GENERAL	VI
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XIII
NOMENCLATURA	XV
INTRODUCCION	19
CAPITULO I	
EL AGUA DE INYECCION.....	22
1.1 GENERALIDADES SOBRE EL AGUA DE INYECCION...	22
1.2 CALIDAD PROVENIENTE DE LA FUENTE DE ABASTE- CIMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA TRATADA.....	23
CAPITULO II	
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	26
2.1 FUENTES DE AGUA DULCE.....	27
2.1.1 AGUA DULCE DE ORIGEN SUPERFICIAL.....	27
2.1.2 AGUA DULCE DE CAPAS DE ALUVION.....	28
2.1.3 AGUA DULCE DE FORMACIONES SUB-SUPER- FICIALES.....	29
2.2 FUENTES DE AGUA SALADA.....	29
2.2.1 AGUA SALADA DE ORIGEN SUB-SUPERFI-	

CIAL.....	30
2.2.2 AGUA SALADA DE ORIGEN OCEANICO.....	31
2.2.3 AGUA SALADA PRODUCIDA.....	32
CAPITULO III	
TIPOS DE ANALISIS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	34
3.1 ANALISIS DE PROPIEDADES FISICAS.....	36
3.2 ANALISIS QUIMICO.....	41
3.2.1 BASES EN SOLUCION.....	41
3.2.2 SOLIDOS DISUELTOS.....	44
3.2.3 SOLIDOS EN SUSPENSION.....	44
3.3 ANALISIS BIOLÓGICO.....	45
3.3.1 BACTERIAS FERRUGINOSAS.....	46
3.3.2 BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS.....	47
3.3.3 BACTERIAS FORMADORAS DE BIENOS.....	47
3.4 ANALISIS DE COMPATIBILIDAD.....	48
3.4.1 COMPATIBILIDAD ENTRE EL AGUA IN- TERSTICIAL Y EL AGUA DE INYECCION....	49
3.4.2 COMPATIBILIDAD ENTRE EL AGUA DE IN- YECCION Y LA ROCA DE LA FORMACION....	51
CAPITULO IV	
TRATAMIENTOS BASICOS DEL AGUA DE INYECCION.....	55
4.1 SEDIMENTACION.....	57
4.2 FLOCULACION.....	59
4.3 FILTRACION.....	68

4.4 AEREACION.....	84
4.5 AGOTAMIENTO A CONTRACORRIENTE CON GASES INERTES.....	85
4.6 DEAEREACION.....	86
4.7 ABLANDAMIENTO DEL AGUA.....	95
4.8 TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	98
CAPITULO V	
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	100
5.1 SISTEMA CERRADO.....	102
5.2 SISTEMA ABIERTO.....	104
5.3 SISTEMA SEMI-CERRADO.....	106
CAPITULO VI	
ASPECTOS BÁSICOS REFERENTES AL CONTROL DE CALI- DAD DEL AGUA DE INYECCION.....	109
6.1 PUNTOS DE MUESTREO.....	109
6.2 TIPOS DE ANALISIS.....	110
6.2.1 ANALISIS DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS..	111
6.2.2 PRUEBAS DE FILTROS DE MEMBRANA.....	112
6.2.3 PRUEBAS DE CORROSION.....	115
CAPITULO VII	
DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO BÁSICO PARA EL SIS- TEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL CAMPO AUCA.....	120
7.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE EL AGUA DE INYEC- CION.....	120

7.1.1 BREVE DESCRIPCION DEL CAMPO AUCA.....	120
7.1.2 REQUERIMIENTOS DE VOLUMEN DE INYECCION. PRESION DE INYECCION.....	121
7.1.3 FUENTE DE AGUA DE INYECCION.....	123
7.1.4 CALIDAD DEL AGUA PROVENIENTE DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO.....	123
7.1.5 CALIDAD DEL AGUA TRATADA.....	128
7.1.6 COMPATIBILIDAD CON EL AGUA DE FORMACION.....	132
7.2 COMPONENTES BASICOS DEL SISTEMA.....	133
7.2.1 LINEA DE SUMINISTRO DE AGUA.....	134
7.2.2 BOMBAS DE CAPTACION DEL RIO.....	135
7.2.3 PISCINA DE SEDIMENTACION.....	145
7.2.4 FILTROS.....	146
7.2.5 BOMBA DE TRANSFERENCIA A FILTROS.....	151
7.2.6 BOMBA DE RETROLAVADO.....	155
7.2.7 TORRE DE DEAEREACION.....	157
7.2.8 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	162
7.2.9 BOMBAS DE ALTA PRESION.....	164
7.2.10 DIMENSIONAMIENTO DE LINEA DE DISTRIBUCION HACIA LOS POZOS INYECTORES...	167
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	168
FIGURAS	173
TABLAS	210
APENDICES.	232
BIBLIOGRAFIA.	254

INDICE DE FIGURAS

- Fig. (2.1) Agua Dulce de Origen Superficial.
- Fig. (2.2) Agua Dulce de Capas de Aluviòn.
- Fig. (2.3) Agua Dulce de Formaciones Sub-superficiales.
- Fig. (2.4) Agua Salada de Formaciones Sub-superficiales.
- Fig. (2.5) Agua Salada* de origen oceànico.
- Fig. (2.6) Agua Salada Producida.
- Fig. (4.1) Estanque de Sedimentaciòn.
- Fig. (4.2) Mecanismo Floculador Rotativo.
- Fig. (4.3) Corte Transversal de un Filtro de Gravedad.
- Fig. (4.4) Filtro a Presiòn Tipo Ascendente.
- Fig. (4.5) Filtro a Presiòn Tipo Descendente.
- Fig. (4.6) Filtro de Flujo Mixto (dual flow).
- Fig. (4.7) Filtro Descendente (Multimedia Filter).
- Fig. (4.8) Esquema de un Filtro a Presiòn Descendente Tipo Horizontal.
- Fig. (4.9) Diseõo para Conversiòn de Filtros Horizontales en Unidades Tipo Vertical Mediante Placas Verticales de Acero.
- Fig. (4.10) Filtro de Tierras de Diatomáceas.
- Fig. (4.11) Diàtonos. Elementos de las tierras de diatomáceas.
- Fig. (4.12) Filtro Tipo Cartucho.

- Fig.(4.13) Aereador de Gravedad.
- Fig.(4.14) Deaereador de Gas a Contracorriente.
- Fig.(4.15) Deaereador a Vacio sin gas Secuestrante.
- Fig.(4.16) Esquema de un Ablandador de Agua.
- Fig.(4.17) Presentación gráfica del Proceso de Actuación y Regeneración de una Zeolita.
- Fig.(5.1) Diagrama de Flujo de un Sistema Cerrado.
- Fig.(5.2) Diagrama de Flujo de un Sistema Abierto.
- Fig.(5.3) Diagrama de Flujo de un Sistema Semi-Cerrado.
- Fig.(6.1) Equipo Para Prueba de Filtros de Membrana.
- Fig.(6.2) Gráfico de Flujo Vs. Volumen Acumulativo para Determinar M.S.T.N.
- Fig.(6.3) Carta de Clasificación del Agua de Inyección.
- Fig.(7.1) Mapa del Campo Auca (Pozos Productores).
- Fig.(7.2) Mapa de Ubicación de Pozos Inyectores.
- Fig.(7.3) Agitador de Laboratorio para Prueba de Jarras.
- Fig.(7.4) Prueba de Filtración en Membrana de $.45 \mu$. Muestra de Agua del Rio Tiputini.
- Fig.(7.5) Configuración del Sistema de Descarga (Rio).
- Fig.(7.6) Longitud Equivalente de Accesorios de tuberías, en Pies.
- Fig.(7.7) Gráfico Presión Atmosférica Vs. Altitud.
- Fig.(7.8) Gráfico Presión de Vapor Vs. Temperatura.
- Fig.(7.9) Configuración del Sistema de Succión (rio).
- Fig.(7.10) Diagrama de Flujo de la Planta.
- Fig.(7.11) Esquema (Planta) del Sistema de Filtros.
- Fig.(7.12) Configuración de Línea de Alta Presión.

Fig.(7.13) Configuración de Sistema de Bombas de Inyección.

Fig.(7.14) Capacidad de la Red de Distribución a los Pozos Inyectores.

INDICE DE TABLAS

Nº	
I - X	Análisis Físico Químico del Agua del Río Tiputini.
XI	Prueba de Filtración en Membrana MILLIPORE de 8 μ .
XII	Prueba de Jarras Nº 1.
XIII	Prueba de Jarras Nº 2.
XIV	Prueba de Filtros de Membrana.
XV	Descripción Aproximada Del Sistema de Descarga de las Bombas de Captación en el río Tiputini.
XVI	Descripción Esquemática Aproximada del Sistema de Succión de las Bombas de Captación en el río Tiputini.
XVII	Descripción aproximada de la Trayectoria del Agua desde la descarga de bomba de Alimentación a Filtros, hasta la Entrada al Deaerador.
XVIII	Descripción del Sistema de Succión de la bomba de Alimentación a los Filtros.
XIX	Descripción Aproximada de la Configuración de la Línea de Retrolavado para Filtros.
XX	Configuración de Bomba de Retrolavado.
XXI	Constante de Henry Vs. Temperatura.

- XXII Configuración Aproximada del Sistema de
Succión de las Bombas de Inyección.
- XXIII Cálculo de Línea de Distribución a Pozos
Inyectores.
- XXIV Estimación de la Presión de el Cabezal de los
Pozos de Inyección.

NOMENCLATURA

a	Sección transversal de Especimen, Pie ² .
A	Sección Transversal de Tubería, Pie ² .
Af	Area de Cada Filtro, Pie ² .
At	Area de Tanque de Almacenamiento, Pie ² .
B.P.P.D.	Barriles de Petróleo por Día.
B.W.P.D.	Barriles de Agua por Día.
C	Coefficiente de Hazen - Williams.
d	Diámetro de Tuberías, Pulgadas.
D	Diámetro más Pequeño de Tubería, Pulg.
Df	Diámetro de Filtro, Pies.
Dm	Pérdida de Peso por Unidad de Area de Testigo de Corrosión, Lbs./Pulg ² .
Ds	Diámetro de Tubería de Succión, Pulg.
Dt	Diámetro de Tanque, Pies.
e	Eficiencia Teórica de Diseño de Deaeradores (e = 0.0727), (14), fracción.
Ef	Eficiencia de la Bomba, fracción.
G.P.M.	Galones por Minuto.
G.S.	Gravedad Específica, Adimensional.
G.W.R.	Relación Gas / Agua, P.C.N. / BL.
h	Pérdida de cabeza de Presión, P.S.I.
hp	Caballos de Fuerza.

ht	Altura de Tanque de Almacenamiento, Pies.
H	Pérdida de Cabeza de Presión, Pies
Hac	Cabezal de Aceleración, pies.
Hcg	Presión Ejercida por Capa de Gas, Onz./Pulg ² .
Hd	Cabeza de Descarga, pies.
Hdif	Caída de Presión a Través de Filtros, PSI.
Hent	Pérdida a la Entrada de la Bomba, Pies.
Hf	Pérdida por Fricción, Pies, PSI.
Hhid	Presión Hidrostática, Pies, PSI.
Hi	Altura Desde Plato Inferior hasta fondo de Deaereador, Pies.
Hin	Presión hidrostática en conducto Inclinado 45° de Ascenso del agua al Deaereador, Pies.
Hlv	Presión hidrostática en tubo Vertical de Entrada a Filtros, Pies, PSI.
Hnt	Altura del Nivel del Tanque de Almacenamiento, pies.
Ho	Constante de Henry para el Oxígeno, Adimensio- nal.
Hp	Altura Ocupada por platos en el deaereador, pies.
HP	Potencia de la Bomba, hp.
Hs	Altura desde plato superior hasta tope del deaereador, pies.
Ht	Altura del deaereador, Pies.
Htw	Presión hidrostática en conducto vertical de Ascenso del agua al deaereador, pies.

K	Constante para Determinar el Número de Platos en el Deaereador.
Kb	Constante de bombas reciprocantes.
l	Longitud de Testigo expuesto a Corrosión, Pulg.
L	Longitud de Tubería, Pies.
Ls	Longitud de Tubería de Succión, pies.
M.S.T.N.	Gradiente de Filtración en Membrana MILLIPORE de 0.45 μ .
MW	Peso MOlecular del Agua, 18 Lbs/Lb Mol.
MV	Volumen Molecular de un Gas, 379 pies cuc. por Libra Mol.
n	Número de Platos del Deaereador.
N	Número de Filtros en el sistema.
N.P.S.H.d.	Cabeza Neta Positiva de Succión Disponible.
N.P.S.H.r.	Cabeza Neta Positiva de Succión Requerida, Pies.
P	Penetración Promedio por año, pulg/año.
P.C.N.	Pies cúbicos normales.
Pd	Periodo de duración de Prueba de Corrosión, años.
Pe	Peso específico de Testigo de Corrosión, Lbs. / p.cub.
Po	Fresión de operación de deaereador, PSI.
Ps	Fresión Atmosférica a Cond. Normales, PSI.
P.S.I.	Libras por pulgada cuadrada.
p. cub.	Pies cúbicos.
ppm	Partes por Millón (miligramos por litro)

pulg.	Pulgadas.
Q	Tasa de Flujo, GPM, BPD, P.cub./seg.
Qa	Carga Hidráulica de Filtración, GPM/Pie ² .
Qbw	Flujo de Retrolavado, GPM.
Qg	Flujo de gas a deaerador, PCN/dia.
Qi	Capacidad Individual de los Filtros, GPM.
Qr	Carga Hidráulica de Retrolavado, GPM / PIE ² .
Qt	Capacidad total de la Planta, GPM.
R	Concentración de oxígeno a la salida del deaerador, ppm (mg / lit).
RHD	Resistividad del material del espécimen expuesto a corrosión, ohm.cm.
R.P.I.	Indice Relativo de Taponamiento, Adimensional.
R.P.M.	Revoluciones por minuto.
S.S.T.	Sólidos Suspendidos Totales, ppm.
t	Tiempo de RETrolavado, minutos.
T	Concentración de Oxígeno a la entrada del deaerador, ppm.
V	Velocidad del fluido, pies/ seg.
Vbw	Cantidad de Agua para Retrolavado, Gal, BLs.
Vol	Volumen del tanque de Almacenamiento, Bls.
w	Velocidad de las bombas, (R.P.M.)
δ	Densidad del agua, 350 Lbs/Bl.
δP	Caída de Presión, PSI, pies.
Ω	Resistencia Electrica del espécimen, ohmios.
µm/y	Micrómetros por año.

INTRODUCCION.

En todos los campos petroleros durante la etapa de explotación, la energía de los mismos disminuye debido a la tasa de producción a la cual están sometidos, llegando un momento en que esta energía que se manifiesta en forma de presión, disminuye asociándose a una producción la cual no resulta económicamente atractiva; por lo que, para incrementar la producción será necesario suministrar energía al yacimiento por algún medio mecánico tal como la inyección de fluidos en estado líquido o gaseoso, los cuales desplazarán los hidrocarburos remanentes en el yacimiento desde los pozos inyectores hacia los pozos de producción.

El método más aplicado en operaciones de recuperación secundaria en el mundo es la inyección de agua y, ha sido empleado con éxito en muchos campos petroleros desde el punto de vista económico, ya que el agua es un fluido de fácil disponibilidad y su acondicionamiento, el cual es necesario para evitar daños en la formación productora como en los componentes del sistema de inyección, es poco costoso.

En nuestro país, en la presente década ya se ha implementado la recuperación secundaria por inyección de agua en los campos petroleros de Sacha y Shushufindi, proyectos que en la actualidad marchan con relativo éxito en el desarrollo de las operaciones, debido al tratamiento adecuado que se proporciona al agua de inyección.

En los próximos años, un tercer campo entrará en esta etapa, con miras al incremento de su volumen de reservas hidrocarburíferas recuperables; se trata del campo Auca, situado al sur de la provincia del Napo.

El yacimiento de interés para este proyecto es la parte sur de la formación NAPD, por lo que el segundo objetivo de este trabajo es dimensionar los componentes básicos de un sistema de tratamiento para el agua de inyección a emplearse en este proyecto el cual proviene del río Tiputini distante, a más o menos 1500 metros del sitio de ubicación de la planta y cuyo tratamiento, es de acuerdo a los estudios realizados poco complicado.

En los primeros 6 capítulos se presenta un estudio sobre los principales aspectos que cubre el estudio del agua de inyección, lo cual es necesario conocer para determinar en base a los análisis físico-químicos del agua, el tratamiento más adecuado y por ende los diferentes elementos que constituyen el sistema de tratamiento. El

Último capítulo corresponde al diseño básico o dimensionamiento del sistema; trabajo que es necesario hacerlo previo a un diseño detallado cuya ejecución deberá estar en manos de un grupo de técnicos especializados.

CAPITULO I

"EL AGUA DE INYECCION"

1.1 GENERALIDADES SOBRE EL AGUA DE INYECCION.

El proceso de inyección de agua a yacimientos es el más conocido y empleado en la recuperación secundaria de petróleo. Se lo utiliza para suministrarle a los mismos, la energía requerida para barrer los hidrocarburos remanentes, aumentando la saturación de agua y disminuyendo la saturación de petróleo.

Las características del agua en su fuente natural de origen, no siempre son las adecuadas para permitir su inyección directa al yacimiento, si se la va a utilizar con propósitos de inyección debe ser sometida a un proceso de tratamiento para proporcionarle ciertas características que debe tener al final del tratamiento sin las cuales, su presencia en el seno de la matriz de la roca, en los pozos y en las instalaciones superficiales del sistema, resultaría indeseable, generando problemas como el encarecimiento o el fracaso del proyecto.

El acondicionamiento del agua para inyección, se logra mediante un tratamiento combinado mecánico y químico; en las plantas de tratamiento llamadas también sistemas de tratamiento de agua, cuyos componentes varían, de acuerdo con la calidad final que deba tener el agua a partir de una calidad original. Las dimensiones de la planta dependen del volumen de agua a manejar.

1.2 CALIDAD DEL AGUA PROVENIENTE DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA TRATADA. (22)

Una fuente de abastecimiento ideal debe contar con las siguientes características:

- 1.- Tener agua disponible en cantidad suficiente durante toda la vida del proyecto.
- 2.- Fácil acceso a la fuente de abastecimiento.
- 3.- El tratamiento del agua debe ser económico.
- 4.- El agua debe ser químicamente compatible con otras para que pueda ser mezclada y usada.

De acuerdo a lo anterior; para establecer el trata-

miento más adecuado es necesario determinar con análisis de laboratorio la calidad del agua en la fuente de abastecimiento, la cual por lo general es siempre pobre por las siguientes razones:

- 1.- Por contener material en suspensión el cual puede taponar rápidamente los pozos de inyección.
- 2.- Por contener cationes como bario, estroncio, hierro y calcio en solución y aniones como sulfatos, carbonatos, sulfuros y algunos radicales hidróxilos, cuya presencia puede traer como resultado la precipitación de componentes los cuales pueden taponar la cara de la formación en los pozos inyectoros. Esta precipitación de componentes, debido a la incompatibilidad del agua de inyección con la del yacimiento, no es de mucha importancia ya que los materiales se depositan en la parte más baja a una distancia considerable del punto de inyección y no reducen notablemente la permeabilidad del sistema.
- 3.- Por contener bióxido de carbono el cual es fuente de carbonatización, produce escamas negras y agujeros en el acero de la tubería; ácido sulfhídrico, el cual crea incrustaciones y corrosión en el acero; y oxígeno el cual ocasiona una

rápida destrucción y picadura del acero y además obtura los pozos inyectoros con herrumbre.

- 4.- Por contener algas, microorganismos y bacterias del tipo ferruginosas y sulfato reductoras, las cuales tienden a colectar una cuantiosa concentración del limo y producir material corrosivo, ocasionando el total taponamiento del sistema de inyección, en filtros y empaques de arena.

En cuanto a la calidad del agua tratada, la principal consideración es que sea lo suficientemente buena para permitir que el programa de inyección se lleve a cabo al menor costo posible, esto es, una calidad que permita la inyección dentro del yacimiento al gasto deseado y sin recurrir a presiones prohibitivas que ocasionen fracturamientos dañinos a la formación. Para esto el agua debe estar libre de sólidos en suspensión.

El agua de inyección no debe alterar la formación ni reaccionar con los componentes del agua congénita, para así aumentar la eficiencia de barrido del yacimiento.

CAPITULO II.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

En un proyecto de inyección de agua se debe determinar cuantas fuentes de abastecimiento de agua existan en el área donde se realizará el proyecto, con la finalidad de seleccionar la más adecuada, es decir, que proporcione el agua en cantidad suficiente durante la vida del proyecto.

Para abordar este problema es necesario determinar el volumen de agua requerido, la variación de infectividad de los pozos y la calidad del agua deseada, como también hacer un análisis económico de lo que implica el uso de cada una de las fuentes existentes.

Una vez seleccionada la fuente de abastecimiento, se diseñará una planta de tratamiento que proporcione agua libre de sólidos insolubles y de otros materiales suspendidos y que sea químicamente estable y relativamente inactiva con los elementos del sistema de inyección y del vaciamiento. Para conseguir esto en forma satisfactoria, será necesario acondicionar el agua con sistemas de tratamiento que varíen desde instalaciones simples, hasta

plantas sofisticadas para procesar agua contaminada o con un contenido considerable de minerales.

A continuación se describen brevemente los diferentes orígenes de agua para inyección. (22)

2.1 FUENTES DE AGUA DULCE.

2.1.1 AGUA DULCE DE ORIGEN SUPERFICIAL.

Dentro de esta denominación se encuentra el agua de los estanques, de las lagunas, de los arroyos y de los ríos. Fig.(2.1), este tipo de agua es utilizada ampliamente como agua de inyección. Uno de los grandes riesgos en el uso del agua superficial, es la posibilidad de crear sequía, por ello se la recomienda utilizar para inyección únicamente cuando proviene de grandes lagos y ríos.

El agua de origen superficial generalmente contiene grandes cantidades de oxígeno, mucho material suspendido y una variedad de microorganismos; presentando además una amplia variación en su contenido de contaminantes durante las estaciones del año. Esto implica tener altos costos de equipo de tratamiento, mas un

gasto continuo por reactivos químicos y de operación de la planta.

2.1.2 AGUA DULCE DE CAPAS DE ALUVION.

Las capas de aluvión se forman comúnmente cerca de los ríos. El agua contenida en estas capas, es agua dulce, su extracción se hace a través de pozos someros perforados en o cerca de las capas de aluvión, Fig.(2.2).

El agua de las capas de aluvión es de buena calidad ya que por lo general no es corrosiva, de turbidez aproximadamente constante y filtrada en forma natural. Su tratamiento se reduce tan solo al uso de productos para el control de bacterias, las cuales están frecuentemente en estas aguas: Este tipo de agua tiene un contenido de material razonablemente constante, lo cual permite realizar un programa de tratamiento más consistente.

Ciertos autores afirman que a pocos pies de profundidad a partir de la superficie del aluvión, se producen las bacterias sulfato-reductoras, que contaminan el agua. Para evitar parcial o totalmente el problema de las bacte-

rias. recomiendan perforar pozos más profundos en las capas de aluviòn. Cuando el problema se limita a este tipo de bacterias, generalmente se necesita un tratamiento químico mínimo.

2.1.3 AGUA DULCE DE FORMACIONES SUB-SUPERFICIALES.

Se puede disponer de agua dulce en cantidad adecuada para un proyecto de recuperación secundaria, de arenas acuíferas cercanas a la superficie o de formaciones de calizas situadas a varios miles de pies de profundidad, Fig.(2.3), la cual es de buena calidad y al igual que las capas de aluviòn, su costo de tratamiento es bajo.

Cuando el agua es obtenida de formaciones sub-superficiales, es preferible el uso de sistemas de tratamientos cerrados, es decir, sin entrada de aire, ya que de esta manera se suprime en varios casos los tratamientos químicos y la filtración antes de la inyección. Con el sistema cerrado se evita un tratamiento complicado, se facilita la inyección y se reduce notablemente la corrosión en las partes metálicas.

2.2 FUENTES DE AGUA SALADA.

2.2.1 AGUA SALADA DE ORIGEN SUB-SUPERFICIAL.

Debido a la escasez de buenas fuentes de abastecimiento de agua dulce en algunas regiones, y al incremento en la cantidad requerida del agua de inyección, se hace necesario extraer el agua salada de la formación para inyectarla al yacimiento. lo cual es indispensable hacer cuando las formaciones son sensibles al agua dulce debido a la presencia de arcillas hidratables.

Una de las principales cualidades del agua salada de origen sub-superficial es la alta productividad de las formaciones acuíferas que las contienen, ya que son fuentes potenciales de abastecimiento, de dimensiones muy grandes, adyacentes a los yacimientos petrolíferos, Fig.(2.4); otra cualidad es su facilidad de adopción a los sistemas de inyección y de tratamiento cerrados, ya que sus características son semejantes con las del agua dulce del mismo origen. En el caso de que el agua contenga cantidades considerables de ácido sulfhídrico y bióxido de carbono sería recomendable el uso de sistemas de inyección abiertos para el tratamiento. Esto dependerá de la vida del proyecto ya que los efectos de corrosión en el empleo de

estos sistemas son considerables.

2.2.2 AGUA SALADA DE ORIGEN OCEANICO.

Cuando se proyecta un sistema de inyección en un lugar cercano al océano, Fig. (2.5), generalmente es usual tomar el agua de esta fuente de suministro. Para esto, por lo general se perforan pozos someros en la playa, obteniéndose agua de mejor calidad que la de la superficie del océano.

La disponibilidad ilimitada del agua del océano como fuente de abastecimiento y la alta compatibilidad con el agua de la formación, hacen de esta una buena alternativa para usarse en la inyección a yacimientos de petróleo. Algunos problemas para su manejo son su contenido de oxígeno, los sólidos en suspensión (los cuales disminuyen cuando el agua se obtiene de pozos perforados en la playa), el contenido de materia viva así como la estabilidad química.

Una probable desventaja adicional es que al usar el agua del océano con gran cantidad de sulfatos, al encontrarse con las bacterias sulfato-reductoras en la formación, posiblemente

te transformarán un campo productor de petróleo y gas dulce, en un campo productor de petróleo con alto contenido de azufre y gas amargo. Por otra parte si el agua de formación contiene bario, se presentarán problemas de incrustación cuando el frente de inyección invada los pozos productores, lo cual puede ser atenuado con el uso de inhibidores químicos.

2.2.3 AGUA SALADA PRODUCIDA.

En campos petroleros, donde la producción de agua asociada al petróleo es alta, podría ser ventajosa utilizarla por su compatibilidad con el agua de la formación. Sin embargo cuando se la decide inyectar al yacimiento es recomendable acondicionarla debido al alto contenido de petróleo, sólidos disueltos y sulfuros.

El agua producida presenta tendencias a la corrosión debido a que contiene ácido sulfhídrico, alta concentración de cloruros y bióxido de carbono libre, presenta además problemas de incrustación por su alta dureza pero tiene la cualidad de poseer baja turbidez y no contener oxígeno.

Por los motivos anteriores, el agua producida no resulta atractiva para su inyección a yacimientos de petróleo, a menos que se pretenda prevenir y controlar la contaminación superficial. Esta es la razón principal por la que se inyecta a las formaciones con la finalidad de desecharla o incorporarla a un programa de recuperación secundaria (ver Fig.(2.6)), en cumplimiento de rigurosas normas gubernamentales orientadas a impedir el deterioro del medio ambiente.

Cuando se planea mezclar el agua producida con el agua de alguna otra fuente de suministro, es necesario determinar su compatibilidad y el daño que causará la combinación de los componentes de cada una de las aguas.

CAPITULO III.

"TIPOS DE ANALISIS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA"

La fase preliminar al diseño y construcción de las instalaciones para el tratamiento e inyección de agua, es hacer un análisis de todas las aguas involucradas en el proyecto; las fuentes posibles de abastecimiento y el agua congénita, para detectar las sales y gases disueltos en ellas, la presencia de alguna forma de vida y la materia suspendida.

Las sales y gases disueltos en el agua a ser utilizada para inyección le proporcionan a la misma, características corrosivas, provocando la destrucción del equipo, originando con esto costos elevados en el reemplazo de las partes afectadas.

La corrosión provoca problemas como la disminución de la eficiencia de operación del sistema de inyección; ya sea por depositación de los productos de la reacción dentro del sistema o por su acumulación en la matriz de la

formación, reduciendo la permeabilidad de la misma.

Las bacterias y otros microorganismos también constituyen un problema muy serio en cuanto a corrosión, y al abastecimiento de algunos sistemas de inyección. Por ejemplo el caso de las bacterias sulfato reductoras, las cuales generan ácido sulfhídrico dando como resultado la corrosión del equipo metálico. En caso de no controlar el crecimiento de los microorganismos presentes en el agua, estos pueden obturar los poros de la formación.

Además de detectar la cantidad de sólidos en suspensión y los iones de los compuestos en solución, es necesario determinar la compatibilidad entre el agua de inyección y el agua congénita, para evitar reacciones entre las sales disueltas en cada una de ellas. Es importante conocer también, como reaccionan las arcillas de la formación al ponerlas en contacto con el agua inyectada, ya que se pueden tener problemas de hinchamiento o de dispersión.

De lo anterior se puede concluir que el agua de inyección debe ser compatible con la formación y químicamente estable; no debe ser taponante ni corrosiva permitiendo con esto su inyección al yacimiento.

Los análisis requeridos para el diseño de una planta de tratamiento se describen en este capítulo. Cuando se

disponen de varias fuentes de abastecimiento, el agua de cada una de ellas es sometida a estos análisis. Los resultados de los mismos se utilizan para determinar el tratamiento que necesitarían las aguas de dichas fuentes con el fin de obtener la calidad deseada; escogiéndose aquella fuente que implique el más bajo costo de tratamiento, que la que tenga el volumen requerido para toda la vida del proyecto.

3.1 ANALISIS DE PROPIEDADES FISICAS.

Se entiende por propiedades físicas del agua, aquellas características que se pueden determinar sin que se efectue una reacción química. Entre las más comunes que se analizan son la densidad, el potencial de hidrógeno o pH, resistividad, turbidez, color y olor, las cuales se describen a continuación.

- Densidad.

La densidad de un fluido se la define como la relación entre su masa y el volumen de la misma.

De los análisis de laboratorio se ha determinado que la densidad del agua es proporcional al contenido de sales en solución. Se la puede determinar con un picnómetro.

- Potencial de Hidrógeno.

Es el parámetro que indica si el agua es alcalina o ácida, en una escala numérica de 1 a 14. Si el agua es ácida, el pH es menor que 7; si es alcalina, el pH es mayor que 7. Si el pH es igual a 7 entonces el agua es neutra. El rango de pH de las aguas naturales (no tratadas) se encuentra entre 4 y 9. La mayoría son altamente básicas debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos en ellas, influyendo para el control de precipitados de hierro, bióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

Se ha observado que un agua con CO_2 , O_2 y H_2S disueltos es más corrosiva cuando tiene pH bajo que cuando tiene pH alto, (12); de allí la importancia de controlar el pH del agua de inyección.

- Resistividad.

La resistividad es una medida de la facilidad con la que fluye la corriente eléctrica a través de ella. Se conoce que la resistividad es inversamente proporcional al contenido de sales en solución del agua. La conductividad es el recíproco de la resistividad; en la práctica, es este el parámetro que se determina con la finalidad de calcular la canti-

dad de sólidos disueltos en el agua de inyección.

- turbidez. (1, 2, 12, 24)

Toda impureza soluble finamente dividida, cualquiera que sea su naturaleza, que pueda ser suspendida en el agua para inyección y disminuir su claridad, se le conoce como turbidez.

Estas impurezas pueden ser de origen inorgánico, tales como las arcillas, limos, carbonato de calcio, sílice, hidróxido férrico, azufre, etc. o pueden ser de naturaleza orgánica, tales como materia vegetal finamente dividida, aceites, grasas, microorganismos, etc.

La turbidez se debe a una sustancia simple o más comúnmente a una mezcla de sustancias. Dependiendo de la fuente de abastecimiento, la turbidez del agua puede variar de acuerdo a las diferentes épocas del año.

La turbidez no es una determinación exacta de la masa de partículas suspendidas, mas bien es la medida de la opacidad del agua comparada con ciertos patrones arbitrarios. El método utilizado para

la determinación se basa en el uso de un turbidímetro, el cual compara la intensidad de la luz dispersa de la muestra con la intensidad de la luz dispersa de una referencia, suspensión normal a las mismas condiciones.

- Color. (1.12)

El color es un constituyente común del agua de inyección. Por lo general es el resultado de la presencia de iones metálicos como hierro, manganeso, residuos de carbón, plancton, maleza y otros productos de vegetación que se considera existen en suspensiones coloidales.

El agua incluye un color debido a las sustancias en solución y a la materia suspendida, a este color se lo denomina **color aparente** del agua de inyección y se lo determina en la muestra original sin filtración o centrifugación.

El color verdadero del agua de inyección deberá considerarse como aquel que es debido únicamente a las sustancias en solución, esto es, el color del agua después de que la materia suspendida ha sido removida (la remoción de color se lleva a efecto por coagulación, sedimentación y filtración). El

color verdadero se lo determina por comparación visual con muestras coloreadas "standar". Se utiliza en ciertos lugares una escala empírica de 5 a 70, o lo más común que es un espectrofotómetro, determinando el porcentaje de transmisión de luz a través de la muestra.

- Olor y sabor. (1,2,24)

Se deben a la presencia de material inorgánico como el caso de los iones metálicos, así como a la presencia de materia viva (bacterias, hongos, algas, etc.). La eliminación del olor de las aguas se efectúa con los procesos de aereación, coagulación o floculación, sedimentación y filtración, que serán descritos en el capítulo IV. Cada uno de estos procesos tiene grados de eficacia variables, en función de las condiciones físicas y químicas del agua y del tiempo de tratamiento.

Es importante mencionar que la determinación de las propiedades físicas del agua se deben hacer al momento mismo de tomar las muestras. Si esto no es posible, hay que transportar rápidamente la muestra al laboratorio más cercano, evitando que pierda sus cualidades.

3.2 ANALISIS QUIMICO.

Tanto el agua congénita como el agua de inyección, son sometidas a la práctica de un análisis químico completo con el propósito de estudiar la posible incompatibilidad entre ellas.

Los análisis químicos se hacen con la finalidad de determinar la cantidad de iones y gases disueltos en cada una de ellas.

3.2.1 Gases en solución.

El ácido sulfhídrico, bióxido de carbono y oxígeno, son los gases disueltos más importantes en el agua, desde el punto de vista de su ocurrencia, predicción de la corrosión, incrustación y precipitación de sólidos. Los gases mencionados, disueltos en el agua son perjudiciales, por su gran acción corrosiva al equipo metálico del sistema de inyección; por lo cual es necesario eliminarlos.

Para determinar con precisión la cantidad de estos gases, se requiere de técnicas especiales de análisis y muestreo.

La cantidad de oxígeno disuelto depende de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del agua. Este gas es probablemente la sustancia productora de corrosión más importante. El oxígeno disuelto en el agua depolariza el cátodo de una celda electrolítica y convierte los hidróxidos ferrosos solubles, en hidróxidos férricos insolubles. En un sistema de tratamiento cerrado, este efecto continúa hasta que el oxígeno se agote, en un sistema abierto en cambio habrá una regeneración continua del oxígeno.

Cuando hay oxígeno disuelto, una causa física de la corrosión del equipo metálico es la llamada **celda de aereación diferencial** (12), la cual se origina cuando hay diferencia de concentración de oxígeno entre dos partes de un sistema. Esta diferencia de concentración de oxígeno origina una diferencia de potencial, actuando como ánodo el área de menor concentración y como cátodo el área de mayor concentración; lo cual origina un flujo de corriente eléctrica efectuándose la acción corrosiva.

Cuando existen concentraciones altas de sales disueltas en el agua, la corrosión es directa-

mente proporcional a la cantidad de oxígeno disuelto.

El ácido sulfhídrico es un gas tóxico que tiene un olor y sabor desagradable. Cuando está disuelto en el agua adquiere la propiedad de ser corrosivo. Se encuentra en las fuentes principales como resultado de la contaminación y descomposición anaeróbica de compuestos orgánicos. Es muy común encontrarlo en las aguas de pozos cercanos a los campos petroleros de "gas sulfuroso" (1); y como resultado de la acción reductora de las bacterias de tipo anaeróbica sobre compuestos inorgánicos sulfurados tales como los sulfatos.

La presencia de sales en el agua con ácido sulfhídrico disuelto, así como la composición del acero expuesto a esa agua influyen en el ritmo de corrosión.

El bióxido de carbono se disuelve en el agua en cantidades variables, dependiendo de la temperatura, la presión y el contenido mineral de la fuente de abastecimiento.

En el agua el CO₂ aumenta su corrosividad, ya

que el ácido carbónico ataca a los metales con los que entra en contacto, pero hay que destacar que la acción corrosiva del CO₂ disuelto en el agua no es de tanta importancia comparada con la del oxígeno.

3.2.2 Sólidos disueltos.

Es necesario un análisis de los iones solubles presentes en la aguas involucradas en el proyecto para determinar la compatibilidad entre ellas, así como la tendencia a la incrustación del agua de inyección, etc.

El análisis debe incluir una determinación cuantitativa de sólidos totales disueltos como sodio, calcio, magnesio, bario, hierro, cloruros, bicarbonatos, carbonatos y sulfatos.

3.2.3 Sólidos en suspensión.

Además de los microorganismos, el obturante de la formación puede ser ocasionado por los sólidos en suspensión que puede traer el agua. La mayoría de las aguas disponibles, especialmente las superficiales contienen gran cantidad de materia suspendida; esta puede incluir granos

de arena, lodo, aceite y productos de la corrosión del acero.

El control de los sólidos suspendidos es un factor importante en el éxito de las operaciones de un sistema.

3.3 ANALISIS BIOLÓGICO.

En el agua de inyección es necesario detectar cualquier tipo de desarrollo biológico, debido a que un alto contenido de bacterias contribuye a la alta corrosión de los metales y al taponamiento de la cara de la arena en los pozos de inyección.

Las bacterias pueden formar colonias activas desarrollándose en sitios ocultos, formándose películas de limo o estancándose en secciones del sistema de tratamiento de agua.

De toda la variedad de especies de bacterias existentes en la naturaleza, sólo las sulfato-reductoras y las ferruginosas causan problemas de corrosión, muy importantes desde el punto de vista económico.

Para detectar el desarrollo bacterial existen métodos recomendados por el API, tales como los análisis

microbiológicos, por precipitación de reactivo químico o por fotolorimetría. Las técnicas diseñadas permiten la identificación de las bacterias ferruginosas, sulfato-reductoras y bacterias formadoras de cieno, que a continuación se describen.

3.3.1 Bacterias feruginosas. (1,12,17)

Forman un grupo general de microorganismos, que utilizan el hierro ferroso como fuente de energía para su crecimiento. Se caracterizan por su habilidad para convertir por oxidación, el ión ferroso en férrico, dando lugar a que las sales ferrosas solubles se conviertan en hidróxidos férricos insolubles, los cuales precipitan sobre la superficie metálica.

Si se tiene medios de baja concentración de oxígeno, la superficie metálica es aislada del gas por los precipitados de hidróxido férrico, originando áreas exentas de oxígeno libre. Esto origina la formación de celdas de aereación diferencial, actuando dichas áreas como cátodo, efectuándose la acción corrosiva. Estas bacterias pueden obstruir tuberías, producir manchas y cuando mueren producen olores desagradables.

3.3.2 Bacterias sulfato-reductoras. (1,2,17)

Estos microorganismos están distribuidos abundantemente en la naturaleza y son los únicos que tienen la habilidad de reducir los sulfatos y otras formas de azufre oxidado a sulfuros, produciéndose ácido sulfhídrico cuya presencia en cualquier agua causa corrosión del equipo metálico y originan problemas por la formación de incrustaciones. Las bacterias son esencialmente anaeróbicas por lo que se pueden encontrar en cantidades importantes en pozos profundos, lagos, etc. Aunque son anaeróbicas, también son capaces de sobrevivir en medios que sean provistos de oxígeno.

Durante su metabolismo estas bacterias toman el hidrógeno que hace pasivo el cátodo de una celda electrolítica, generada en la tubería que transporta el agua, lo que ocasiona que la corrosión del ánodo continúe. El hidrógeno reacciona con el ión sulfuro del agua, para producir el ácido sulfhídrico.

3.3.3 Bacterias formadoras de cieno. (12,17)

Algunos tipos de microorganismos pueden crear

un problema de cieno o agregarse a él cuando existe. Estos microorganismos se reproducen en cantidades apreciables sobre la superficie metálica, generando masas densas capaces de evitar la penetración del oxígeno. Estas aglomeraciones suministran un medio propicio para el crecimiento de las bacterias sulfato-reductoras o causar la formación de celdas de aereación diferencial.

Los microorganismos prevalecen en casi todas las aguas disponibles para inyección y son particularmente problemáticas en climas calientes y tropicales, donde la temperatura del medio es favorable para su multiplicación, no así en climas fríos, donde su crecimiento es retardado.

3.4 ANALISIS DE COMPATIBILIDAD. (12)

La precipitación de compuestos insolubles dentro de los poros de la roca y el hinchamiento de las arcillas, debido a la incompatibilidad del agua de inyección con la formación, ha originado problemas en ciertos proyectos de inyección de agua, como lo son la disminución del gasto y el incremento de la presión de inyección.

La precipitación de compuestos insolubles es ocasionada al variar las condiciones de presión de la formación y temperatura de la misma, o por la reacción de los compuestos disueltos en el agua de inyección con los presentes en el agua intersticial o con los constituyentes de la roca, por lo que se hace necesario estudiar la compatibilidad del agua de inyección con el agua y la roca de la formación, ya que de eso depende en gran parte, el éxito del proyecto de inyección de agua.

3.4.1 Compatibilidad entre el agua intersticial y el agua de inyección.

Generalmente el agua de inyección con el agua intersticial tienen un contenido numeroso de sales inorgánicas en solución como cloruros, sulfatos y carbonatos de potasio, magnesio, calcio, sodio y bario, así como también otros iones pero en menor concentración.

Se dice que dos aguas son compatibles si al mezclarlas no ocurre ninguna reacción entre sus constituyentes que causan la precipitación de compuestos insolubles como sulfatos de calcio, bario, estroncio; sulfuros de hierro y magnesio, carbonato de calcio, óxido férrico, entre

otros.

Entonces el análisis de compatibilidad entre el agua intersticial y el agua de inyección cuando se va a realizar un proyecto de recuperación secundaria consiste en mezclar las dos aguas en recipientes de vidrio para ver si ocurre precipitación de los componentes mencionados. Si se notan los precipitados, ello indicará que las aguas son incompatibles ya que los compuestos insolubles precipitados provocarán una disminución en el flujo de agua a través de las tuberías, el taponamiento de los pozos de inyección o reducción de la permeabilidad de la formación. Por lo tanto, cuando se va a inyectar agua al yacimiento, es necesario investigar en el laboratorio su compatibilidad con el agua congénita ya que de este análisis se determinará el tratamiento propio para el agua de inyección de tal manera que las dos resulten compatibles; esto es, que la calidad del agua de inyección será función del agua intersticial.

El análisis de compatibilidad puede hacerse por medio de la siguiente prueba:

Consideremos 2 aguas A y B, las cuales se

mezclarán en 7 tubos diferentes en la relación mostrada a continuación.

TUBO	Nº.	1	2	3	4	5	6	7
AGUA A(ml).		50	45	35	25	15	5	0
AGUA B(ml)		0	5	15	25	35	45	50

En seguida se tapan los tubos, se los agita y se dejan reposar durante un día.

Durante este tiempo se observará si existen los precipitados. Si los tubos 1 y 7 no presentan precipitado alguno, y en cualquiera o en todos los tubos restantes los hay, significará que las aguas son incompatibles.

Las muestras de aguas utilizadas en la prueba de compatibilidad, deben de estar libres de cualquier tipo de materia suspendida.

3.4.2 Compatibilidad del agua de inyección con la roca de la formación.

Se conoce que cuando se inyecta agua incompatible con la roca del yacimiento, por ejemplo agua dulce, se provoca daño a la permeabilidad. Este daño se debe al hinchamiento de las arcí-

illas o al taponamiento de la roca debido a los sólidos suspendidos en el agua de inyección.

Las causas y la magnitud de la sensibilidad de la roca al agua de inyección, se determina con la aplicación de las siguientes técnicas:

- 1.- Medición de la permeabilidad efectiva, haciendo fluir salmuera a diferentes concentraciones a través de núcleos de la formación con la finalidad de conocer las variaciones de la permeabilidad con la salinidad.
- 2.- Análisis por difracción de rayos X para determinar el contenido de arcillas de la formación (montmorillonita, caolinita, illita y arcillas de capas mezcladas entre otras).
- 3.- Pruebas de inmersión en soluciones acuosas para determinar la capacidad de hinchamiento y dispersión de los minerales arcillosos.
- 4.- Examen microscópico de secciones delgadas de roca para determinar la distribución

relativa de los minerales arcillosos en el sistema poroso.

Analizando núcleos en el laboratorio se ha podido determinar rocas sensitivas al agua por la presencia de arcillas; rocas sensitivas al agua por la presencia de particulas taponantes y rocas no sensitivas al agua.

En operaciones de recuperaci3n secundaria, el daño a la formaci3n puede marcar la diferencia entre el 3xito o el fracaso del proyecto de inyecci3n de agua, de ah3 la importancia de considerar la susceptibilidad del daño a la permeabilidad de la roca del reservorio. Este daño puede ocurrir debido a la litolog3a particular y propiedad textural de la roca del yacimiento o a una operaci3n particular de producci3n.

Entre las causas del daño a la permeabilidad de la roca con relaci3n a sus propiedades tenemos el hinchamiento de las arcillas lo cual provoca una disminuci3n de la porosidad y la dispersi3n de particulas naturales y no hinchadas durante el flujo de fluidos, lo que provoca el taponamiento de los poros del sistema. Las causas al

daño de la permeabilidad originadas por una operación específica de producción son la invasión de partículas sólidas debido al lodo de perforación o a fluidos inyectados, invasión de partículas sólidas durante las operaciones de cementación, efectos directos e indirectos de las bacterias, entre otras.

Del análisis hecho a núcleos, se concluye que el daño a la permeabilidad de la roca se debe principalmente a su sensibilidad al agua, como resultado de su litología y textura particular.

CAPITULO IV

"TRATAMIENTOS BASICOS DEL AGUA DE INYECCION"

Los tratamientos básicos del agua de inyección consisten en una serie de procesos mecánicos y químicos, aplicados al agua proveniente de cualquier fuente de abastecimiento, con la finalidad de proporcionarle las características necesarias que permitan su inyección al yacimiento; ya que el agua en la fuente puede estar sumamente turbia debido al material suspendido; puede contener gases en solución como el ácido sulfhídrico, bióxido de carbono y oxígeno, en diferentes concentraciones, los cuales hay que eliminar por ser agentes de corrosión e incrustaciones. De igual manera el agua de inyección puede contener gran cantidad de microorganismos, los cuales son muy problemáticos en climas calientes y tropicales donde la temperatura del medio favorece para su multiplicación. En caso de que esto se produzca van a taponar los elementos del sistema de inyección.

El acondicionamiento de las aguas se lo efectúa en las plantas de tratamiento mediante los procesos de sedimentación, floculación, y filtración, cuando el agua con-

tiene sólidos en suspensión. La aplicación de ellos depende del tamaño de los sólidos suspendidos y de la facilidad de remoción de los mismos.

Los sólidos que se encuentran como partículas finamente divididas formando una suspensión coloidal y que no se sedimentan fácilmente por ser su densidad menor que la del agua, son eliminadas mediante el proceso de coagulación química en el cual se adicionan al agua agentes coagulantes que rompen la estabilidad del coloide formando microfloculos que van creciendo de tamaño por aglomeración de los mismos para formar floculos; estos son eliminados de la corriente mediante sedimentación. Una filtración posterior de la corriente evitará el arrastre de los floculos restantes que no han podido ser eliminados, hacia las unidades posteriores.

Cuando hay presencia de gases indeseables como el H_2S y el CO_2 , se pueden aplicar los procesos de aereación y agotamiento a contracorriente con gases inertes, el oxígeno por lo general es eliminado mediante la deaereación mecánica o por secuestro con agentes químicos, obteniéndose buenos resultados aplicando la combinación de estos.

Otros procesos empleados son el tratamiento biológico, para eliminar los microorganismos (bacterias, hongos,

protozoarios, etc.) o retardar el crecimiento de estos; y el ablandamiento del agua, ya que algunas aguas en su estado natural son aguas duras debido a su acción disolvente por lo que contienen excesiva cantidad de sales de composición muy variable y hay que eliminarlas.

La descripción de estos procesos de tratamiento se presenta a lo largo de este capítulo.

4.1 SEDIMENTACION. (1,2,7,9)

La sedimentación es un proceso comúnmente empleado para las aguas superficiales a ser utilizadas en la inyección a yacimientos. Es el método más económico para eliminar sólidos en suspensión del agua ya que consiste en la separación de dichos sólidos por acción de la fuerza de la gravedad.

Dependiendo de la naturaleza de los sedimentos y de la materia suspendida, la sedimentación puede eliminar hasta más del 70 % del material, por lo que se podría decir que cuando se efectúa este proceso, antes de la filtración se obtiene un agua de baja turbidez apropiada para una buena y rápida filtración.

Los recipientes donde se lleva a cabo la sedimenta-

ción se denominan estanques de sedimentación, Fig. (4.1). Estos recipientes pueden construirse de tierra, cemento o acero y su forma puede ser rectangular, cuadrada o circular.

Los sedimentadores, sean estos rectangulares, cuadrados o circulares en general se diseñan con profundidades de 7 a 15 pies, con una profundidad promedio de 10 pies. Los tanques circulares tienen por lo general 100 pies de diámetro como máximo; los tanques cuadrados tienen generalmente una longitud común de 70 pies. Para tanques rectangulares la longitud por lo general es de 100 pies y el ancho es de 16 pies; el fondo de las unidades se diseña con pendiente, generalmente 8% para tanques circulares y cuadrados y 1% para tanques rectangulares. (7)

Cuando el agua contiene grandes cantidades de sólidos, los depósitos cuentan casi siempre con rastras mecánicas que mueven los lodos sedimentados hacia un foso colector. En otros casos se cuenta con válvulas manuales para la descarga de lodos que permiten eliminar parte del material sedimentado, siendo necesario desmantelarlas periódicamente para efectuar una limpieza minuciosa.

Si se desea una operación eficiente, la entrada y

salida del fluido debe distribuirse de manera que proporcione un flujo uniforme dentro del depósito.

Se puede concluir que la clarificación natural del agua por sedimentación de la materia sólida, es un componente muy importante dentro del tratamiento del agua de inyección.

4.2 FLOCULACION. (1,2,7,9,16,17,19,21,23)

Este proceso es muy empleado en la eliminación de los sólidos muy pequeños en el agua de inyección los cuales no pueden ser removidos por sedimentación simple por ser partículas muy pequeñas cuya densidad es menor que la del líquido que las contiene.

La floculación consiste en añadir al agua productos químicos conocidos como coagulantes, por medio de los cuales las partículas muy pequeñas son inducidas a unirse para formar partículas de mayor tamaño de tal manera que puedan sedimentarse. La cantidad de coagulante requerida para efectuar una buena floculación varía con la naturaleza y cantidades de sólidos suspendidos.

El coagulante forma un precipitado gelatinoso que se dispersa por todo el seno del líquido mediante agita-

dores. Este material disperso atrae al material finamente dividido para formar los flóculos que cada vez son mayores.

La adición de coagulantes al agua cumple con dos funciones que son: la de acelerar el asentamiento de la materia en suspensión y, permitir velocidades de filtración más altas no obtenidas con éxito por otros métodos. Es un hecho bien conocido que la efectividad de la coagulación y la velocidad de formación del flóculo están influenciados grandemente por la temperatura del agua. Conforme disminuye esta, debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular con el objeto de asegurar la formación de flóculos adecuados.

Las sustancias que se usan en la coagulación son compuestos de Hierro y Aluminio, usualmente los sulfatos. Debido a su naturaleza ácida, estas sustancias reaccionan con la alcalinidad natural o añadida del agua para formar hidróxidos y sulfatos respectivos.

Las dosis de coagulante y el pH óptimo varían para cada agua en particular. De una manera general, se puede decir que la dosis de coagulante varía desde fracciones de ppm, hasta mucho más de 80 ppm; el pH

favorable para los coagulantes de aluminio es de 5.5 a 8.0; con los coagulantes de hierro el rango es usualmente de 3.5 a 5.5 y arriba de 9. Hay algunas excepciones para los coagulantes de aluminio, por ejemplo, para aguas muy altas en color se ha empleado un pH menor de 5.5, con aguas altas en sólidos disueltos se emplea un pH de 7.5.

Los compuestos más usados en la floculación son :el Sulfato de Aluminio, el sulfato ferroso, el sulfato férrico, el cloruro férrico, el aluminato de sodio y los polielectrolitos. A continuación se describen brevemente dichos compuestos:

- Sulfato de Aluminio.

El sulfato de aluminio es ampliamente usado como coagulante. Es aplicable este producto en un rango de pH comprendido entre 5.5 y 8.0; y reacciona con la alcalinidad natural o añadida del agua para formar flóculos de hidróxido de aluminio.

El sulfato de aluminio en la forma que generalmente se lo utiliza tiene una fórmula química de $AL_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ y puede obtenerse en forma ácida o básica. Se aplica al agua mediante una variedad de equipos, ya sea en forma seca o después de ser

disuelto. Cuando se incorpora en forma seca, debe encontrarse en forma de polvo o gránulos y debe ponerse en solución antes de ser mezclado con agua a tratarse.

Cuando se incorpora en solución, se prepara una solución base (concentrado) y se dosifica mediante un dispositivo medidor en proporción al volumen de agua que requiere tratamiento.

Aunque el sulfato de aluminio, conocido también como alumbre es bastante soluble, es preferible calentar el agua para disolver este producto y agitarle con objeto de acelerar su disolución.

- Sulfato ferroso.

El sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, se fabrica o bien en forma de cristales o bien en forma de gránulos, ambas formas son solubles en el agua. El sulfato ferroso reacciona o bien con la alcalinidad natural del agua o bien con la añadida, para formar hidróxido ferroso.

El sulfato ferroso producirá flóculos al reaccionar con la alcalinidad del agua y el oxígeno normalmente presente en ella con resultados pocos satisfac-

torios, debido a la presencia del CO_2 . Para contrarrestar este inconveniente el coagulante se aplica usualmente en combinación con cal hidratada.

El sulfato ferroso y la cal encuentran mayor campo de aplicación en la coagulación que debe realizarse con altos valores de pH.

- Sulfato férrico.

El sulfato férrico $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$, se expende como coagulante comercial en la forma de un material granular anhidro, fácilmente soluble en el agua. Reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar hidróxido férrico insoluble y por tanto no requiere de la adición de cal hidratada para completar su reacción.

El pH óptimo para la coagulación debe determinarse por experimentos de laboratorio. El sulfato férrico es especialmente útil cuando se emplea en la eliminación del color con valores bajos de pH y cuando estos valores son elevados pueden emplearse para la eliminación del hierro y manganeso, así como en el proceso de ablandamiento.

- Cloruro férrico.

El cloruro fèrrico, $FeCl_3$ se fabrica en forma líquida, cristalina y anhidra. Es muy ventajoso para obtener la coagulación a valores de pH bajos; es muy corrosivo en la forma líquida y cristalina, requiriendo equipo especialmente resistente al ácido para el almacenamiento y alimentación a la solución. Es a causa de esta propiedad altamente corrosiva que no se emplea tan extensamente como el sulfato fèrrico. La forma anhidra puede estar en contacto con el acero siempre que se evite todo tipo de humedad.

- Aluminato de sodio.

El aluminato de sodio $NaAlO_2$, se emplea con regularidad como coagulante. Este material se vende en forma líquida o como polvo. Sus soluciones contienen varias cantidades de sólidos y agua. Los sólidos presentes en este tipo de producto son el aluminato de sodio, carbonato de sodio, sosa cáustica y materia orgánica. A causa de los compuestos sódicos presentes, se produce un ablandamiento cuando se emplea con aguas duras.

El aluminato de sodio es útil coadyuvante para coagular ciertos sólidos suspendidos cuando se

aplica junto al sulfato de aluminio. El floculo producido es similar al producido por el sulfato de aluminio cuando se prepara solo, pero el material tiene una reacción alcalina mientras que el sulfato de aluminio es un coagulante ácido. Es a causa de esta diferencia que el aluminato de sodio tiene una aplicación especial para el tratamiento de aguas turbias o coloreadas.

- Polielectrolitos.

Los polielectrolitos son coadyuvantes de floculación eficaces y parece ser que su empleo inaugura una nueva etapa en el campo de tratamiento de agua de inyección. Existen polielectrolitos naturales como sintéticos siendo estos, más ventajosos que los anteriores.

Pueden clasificarse en base al tipo de carga de la cadena del polímero. Los polímeros de carga negativa se llaman **aniónicos**, mientras que los de carga positiva se denominan **catiónicos**. Algunos compuestos carecen de carga eléctrica y se los denomina **no iónicos**.

La ventaja principal que brindan los polielectrolitos es un aumento muy grande en la consistencia

de los flóculos. Debido a esto, su velocidad de sedimentación aumenta.

Otros coagulantes usados aparte de las sales de aluminio e hierro, pero de menor importancia son el alumbre de amonio y potasio, sulfato férrico clorado, sílice activada, bentonitas, almidones procesados, etc.

Uno de los requisitos más importantes para una buena floculación y asentamiento de los sólidos suspendidos, es la mezcla rápida y completa de los productos químicos y el agua, seguida de floculación lenta, para asegurar una incorporación completa de los productos químicos, eliminando porciones del agua que no reciban su proporción de coagulante aplicado.

Después de efectuada la mezcla los coágulos finamente divididos deberán dejarse desarrollar para formar partículas grandes que aseguren máximas velocidades de asentamiento. Este tratamiento se obtiene en forma óptima impartiendo movimiento giratorio o rotatorio al agua que pasa por una cámara de floculación.

El equipo empleado para la floculación se denomina **floculador**, el cual consta de un juego de paletas operadas mediante un motor que gira alrededor de un

eje central. La rotación puede ser en un plano vertical u horizontal, dependiendo del diseño específico utilizado.

Se puede utilizar varios diseños de flocladores, pero todos ellos están basados en el principio de hacer girar el agua conteniendo los flóculos con el objeto de aumentar el tamaño de las partículas, en forma similar a lo que ocurre cuando rueda una bola de nieve.

El período requerido para la floclación depende del equipo empleado, las características químicas del agua, así como de la cantidad y finura de la materia en suspensión arrastrada por el suministro. Generalmente se conoce que el tiempo de floclación no deberá ser inferior a 20 minutos ni superior a una hora.

La Fig.(4.2), muestra el principio de operación de una instalación para floclado. Las mamparas colocadas en el tanque tienen el objetivo de prevenir circuitos falsos, así como aumentar el tiempo de recorrido por los compartimientos del equipo.

En ciertos sistemas de inyección, para ahorrar espacio físico y costos elevados en la instalación de un

floculador se acostumbra, inyectar los químicos coagulantes en la línea de suministro de agua en el sitio de captación de la fuente. Los químicos se mezclarán con toda el agua de la corriente debido a la turbulencia de la misma y a medida que esta viaja por la línea los flóculos van formándose y al llegar a la planta estos son removidos en una piscina de sedimentación y, en algunos casos, son eliminados directamente en el sistema de filtración.

4.4 FILTRACION. (1,2,6,7,9,12,16,17,19,21,22,23)

Por filtración se entiende el paso de un fluido a través de un medio poroso y permeable para desprenderse de la materia que se encuentra en suspensión en dicho fluido. Entre la materia que debe eliminarse del agua para inyección figuran el limo, la arcilla, los coloides y diversos microorganismos que incluyen algas, bacterias y virus que se encuentran en suspensión, ya que ellos contribuyen al taponamiento del sistema de inyección y la formación.

El aparato utilizado para el tratamiento es el filtro. Un filtro está constituido por una capa porosa de agente filtrante o por un lecho de material granular no poroso.

El medio filtrante suele estar apoyado en un lecho de grava sobrepuesto a un sistema de drenaje inferior que recoge el agua en una tubería, la cual a su vez la lleva al recipiente de agua filtrada.

Por regla general, la grava tamizada cuidadosamente se dispone en una serie de capas de varios centímetros de espesor, las que oscilan entre las constituidas por piedras más gruesas en el fondo, y por partículas de 0.25 cms. en la parte superior. Esta disminución en orden ascendente de arriba hacia abajo tiene como objeto esparcir el flujo uniformemente por debajo de la superficie del lecho de arena durante la operación de lavado ascendente, así como servir de soporte a la arena de modo que esta no abandone el lecho durante el ciclo de filtración.

TIPOS DE FILTROS.

Existen diferentes tipos de filtros. Los filtros de acuerdo al tipo de alimentación se clasifican en filtros a presión y por gravedad. Por el medio filtrante empleado para su construcción se clasifican en filtros de tierras de diatomáceas, de cartucho y de lechos granulares. A continuación se da una descripción de cada uno de ellos.

- Filtros de gravedad.

Estos filtros pueden ser contruidos de madera, concreto o acero, y de forma redonda, cuadrada o rectangular. Las secciones principales de este filtro son:

- Sección de entrada.
- Lecho del medio poroso filtrante.
- Lecho de soporte que sustenta el medio filtrante (grava) e impide su descenso.
- Fondo perforado que tiene como función sostener el lecho de soporte, y
- Sección de salida.

En el fondo se encuentra el sistema de drenaje inferior que recoge el agua filtrada y distribuye el agua para la operación de retrolavado. Encima va la capa de grava y sobre ella el medio filtrante. El conjunto se completa con válvulas dotadas de controladores para influente y efluente, las que mantienen un flujo uniforme de agua a través del aparato, con manómetros para medir la pérdida de carga, con dispositivos para retrolavado y canales para el agua de lavado.

La Fig.(4.3) muestra un corte esquemático de una unidad filtrante rectangular. El agua a filtrar entra por la parte superior del filtro mediante el sistema de distribución, que permite el esparcimiento a través del medio filtrante. El agua filtrada fluye por el sistema de drenaje inferior y se descarga posteriormente en el tanque de agua filtrada.

El agua entra aproximadamente 3 ó 4 pies arriba de la superficie del medio filtrante, proporcionando con esto la presión al filtro, por lo que se hace necesario colocar los tanques de agua a una cierta elevación, manteniendo una presión positiva en los filtros. En caso de que no se disponga de tal elevación, se hace necesaria la presencia de una bomba de transferencia activada por flotador en la línea de entrada de agua para evitar la inundación del filtro.

El medio filtrante es usualmente de arena clasificada, colocando la más fina en la parte superior y aumentando su tamaño hacia la parte inferior del filtro, hasta llegar a la capa de grava. Como medio filtrante se puede emplear también carbón, antracita, cuarzo molido o cal. Las camas de antracita no se empaican en la parte inferior del filtro, lo que

implica una menor caída de presión de la que ocurre en un filtro de arena.

Para limpiar la unidad, se detiene el proceso de filtración y se descarga agua filtrada hacia arriba por el sistema de drenado inferior a través del lecho. El material sólido colectado en la superficie del lecho se descarga a las canaletas de agua de lavado y de ahí al drenaje. Se emplea agua de lavado a alta velocidad. Debe suministrarse con frecuencia un lavado superficial a los lechos en adición al flujo ascendente de agua de lavado.

- Filtros a presión.

Estos filtros son esencialmente iguales a los filtros de gravedad, con la excepción de que el material filtrante está contenido en un tanque cerrado y de que el agua es forzada a través del medio poroso filtrante bajo una presión relativamente alta. Este filtro es el más común para manejar grandes volúmenes de agua a clarificar.

Estas unidades se construyen en dos formas, verticales y horizontales. Según la dirección de flujo, estos tipos de filtros pueden ser de tipo **ascendente**, Fig.(4.4), **descendente**, Fig.(4.5) o **mixtos**,

Fig.(4.6).

En los filtros de flujo ascendente (up flow filters), el agua entra por el fondo del tanque, mientras que en los descendentes (down flow filters), el agua entra por la parte superior de la unidad y se distribuye por medio de un canal o tubo perforado para evitar la descarga directa en la parte superior del medio filtrante; el agua se filtra al descender a través de él y es recogida por el sistema de drenaje inferior y se descarga a través de un tubo perforado múltiple principal; los drenajes inferiores son prácticamente iguales a los usados en las unidades de gravedad. El espesor y graduación de los lechos de grava y arena u otros medios filtrantes, varían de acuerdo con los diferentes fabricantes.

El modelo de filtro descendente más utilizado por su alta eficiencia en la obtención de un efluente de excelente calidad es el "multimedia filter" (17) mostrado en la Fig.(4.7), constituido así:

CAPA.	MATERIAL.	G.S.	ESPESOR
superior	CARBON (antracita)	1.5	18 pulg.
media	arena(granate) .3 mm.	4.2	18 "
inferior	" " 1.4 mm.	4.2	8 "

El medio filtrante más comunmente empleado en filtros tipo ascendente es la arena de sílice como lo podemos apreciar en la Fig.(4.5). El medio filtrante tanto para filtros ascendentes como para filtros descendentes, está compuesto de granos escogidos de tal forma que van de mayor a menor diámetro en orden ascendente.

En los filtros descendentes el agua pasa primero por el medio poroso de granos finos, mientras que en los de flujo ascendente, el agua pasa de manera contraria; así la grava del fondo de los filtros ascendentes retiene la mayoría de las partículas sólidas, y la arena fina en la parte superior da el **toque final** a la clarificación del agua. Con esto se puede obtener el máximo de sedimentación en los poros para los filtros ascendentes, con mayor vida útil, antes de que necesiten limpieza.

Los filtros de flujo mixto (dual flow filters), son básicamente una combinación de un filtro tipo ascendente y uno descendente (multimedia filter), dentro de un mismo recipiente (17) como lo apreciamos en la Fig.(4.6). Este tipo de filtro contiene tres capas de medio filtrante dispuestas de la siguiente manera:

CAPA	MATERIAL	G.S.	ESPESOR
superior	CARBON de antracita.	1.5	30 cm.
media	arena fina.	2.6	150 cm.
inferior	arena (granate) gruesa.	4.2	30 cm.

La mitad del flujo de agua entra por el fondo del tanque y la otra mitad por la parte superior; el efluente egresa por una salida común ubicada en la mitad, entre los dos medios. Tanto el flujo descendente como el ascendente pasan primero por el medio de granos gruesos y posteriormente, por el medio de granos finos (17).

Estos filtros operan a gastos de 10 a 20 G.P.M./pie cuadrado de área filtrante; como son filtros de doble flujo y cada flujo pasa por un medio filtrante independiente, operarán de 20 a 40 G.P.M./pie². Estos filtros son empleados cuando se va a manejar grandes volúmenes de agua a inyectar.

Es importante mencionar que en los filtros ascendentes, los flujos varían entre 6 y 10 GPM/Pie² de área filtrante contra 15 a 20 G.P.M./Pie² en los de flujo descendente.

La mayoría de los filtros a presión se limpian por retrolavado, la cantidad de agua para cada retrola-

vado será del 1 al 5% del volumen de agua filtrada, con flujos de 12 a 15 GPM/pie² y tiempos de retro-lavado de 7 a 10 minutos.

Los filtros verticales a presión varían en tamaño de acuerdo al volumen de agua a clarificar. Pueden tener de 12 a 120 pulgadas de diámetro y los filtros horizontales Fig.(4.8), varían de 6 a 8 pies de diámetro y de 8 a 25 p. de longitud.

Los tanques se diseñan para soportar presiones de acuerdo con la presión correspondiente al suministro de agua. Los filtros horizontales no son satisfactorios como los verticales debido a la tendencia del lecho inferior de grava sobre la que descansa el lecho filtrante, a tomar ondulaciones en forma de valles y colinas, cuando ocurren estas fallas se obtiene una deficiente filtración.

Por la instalación de mamparas verticales dentro del tanque, han sido evitados en algunos casos, defectos de operación de esta clase, convirtiendo de esta manera el interior de un tanque cilíndrico en una unidad rectangular, Fig.(4.9).

VENTAJAS DE LOS FILTROS A PRESION.

Las ventajas que ofrecen estas unidades cuando

operan normalmente en el campo son:

- 1.- Pueden ser usados en sistemas cerrados.
- 2.- Pueden trabajar a altos gastos de operación en condiciones normales de campo
- 3.- Requieren menos espacio que los filtros de gravedad de la misma capacidad.
- 4.- Pueden construirse rápidamente.
- 5.- Pueden ser operados a altas pérdidas de carga.
- 6.- Pueden agregarse unidades adicionales sin afectar materialmente el diseño general de la instalación.
- 7.- Cuando se emplean en tratamiento de agua de pozos profundos existe menos probabilidad de contaminación externa por bacterias.
- 8.- Cuando se equipan con válvulas múltiples su operación es más simple que las requeridas por las unidades de gravedad.

DESVENTAJAS.

- 1.- No puede inspeccionarse fácilmente la arena y la eficacia de retrolavado no puede ser observada.
- 2.- La aplicación de coagulantes usualmente no se controla tan bien como en las unidades de gravedad.
- 3.- A causa del corto período de reacción entre el punto de aplicación de productos químicos y el paso del agua a través del lecho filtrante, es posible el paso de los productos químicos empleados que no han reaccionado, a través de los filtros.
- 4.- Cuando falla el sistema de drenaje inferior, existe la posibilidad de que la arena escape al sistema de agua filtrada.
- 5.- Es más difícil mantener gastos de filtración constantes con unidades a presión que con filtros de gravedad.

En los filtros a presión, acontece una considerable penetración de la materia en suspensión al lecho filtrante. Asimismo la fuga de sólidos puede presentarse cuando se prolonga el período de filtrado

entre lavados. Esto también sucede especialmente en filtros a gravedad que emplean medios filtrantes gruesos.

- Filtros de tierras de diatomáceas.

Consisten en una serie de tabiques los cuales están encerrados en un recipiente de acero, Fig.(4.10). Estos tabiques constituyen la base en la cual se construye y sostiene la masa filtrante de tierras de diatomáceas.

La tierra de diatomáceas está constituida de esqueletos semejantes a fósiles de plantas microscópicas acuáticas denominadas **diátonos**, su tamaño varía entre 2 y 150 micras, Fig.(4.11).

Antes de que el proceso de filtración se inicie, es necesario precubrir los tabiques circulando una lechada que denominamos **medio filtrante de ayuda**. El agua se filtra a través de los tabiques cubiertos con la pasta de tierra de diatomáceas y fibras de asbesto que se aplican al agua al entrar a la unidad. El agua con su dosis de ayuda filtrante pasa por el compartimiento de agua cruda y sirve de vehículo para depositarla en la superficie de placas o tabiques. Este material actúa por lo tanto

como medio filtrante, efectuando la clarificación deseada.

La pasta de tierra de diatomeas debe ser removida de tiempo en tiempo mediante retrolavado. El lavado se efectúa mediante una combinación de agua y aire; siendo el agua forzada a través de los tubos individuales hacia la superficie externa por medio del aire, desplazando en esta forma los depósitos acumulados sobre la superficie de los tabiques.

La frecuencia de retrolavado varía con las condiciones de operación, el ciclo de retrolavado completo se efectúa en forma automática. Este tipo de filtro proporciona agua de inyección de alto grado de pureza.

VENTAJAS.

- 1.- Facilidad de manejo a las condiciones de operación.
- 2.- Produce una alta calidad de efluente por la remoción de partículas de tamaño menor a una micra, remueve del 90 al 95% del contenido de bacterias.

- 3.- Puede remover sólidos imposibles de eliminar por otros métodos, ya sea porque son muy finos o muy viscosos.
- 4.- Requieren menos espacio para su instalación.
- 5.- Frecuentemente requieren mucho menos costo de inversión que para equipo convencional de tratamiento.
- 6.- Frecuentemente tienen costos de operación más bajos.
- 7.- Pueden ser totalmente automáticos, lo que permite un mínimo de atención.

DESVENTAJAS.

- 1.- Estos filtros requieren de un sostén o de una bomba de recirculación donde haya una operación intermitente, ya que el medio filtrante está sostenido en el lugar por el flujo continuo de agua a través de los tabiques.
- 2.- El agua de entrada deberá contener menos de 20 ppm. de sólidos suspendidos.

3.- Las pérdidas de presión a través del filtro son relativamente altas (25 a 40 PSI).

4.- El agua de entrada no deberá tener cantidades significativas de aceite, limo bacterial y otros materiales gelatinosos, ya que estos reducirán la velocidad de filtración.

- Filtros tipo cartucho.

Este filtro es un elemento que contiene fibras tratadas especiales, colocadas dentro de un cartucho, Fig.(4.12). También pueden consistir de un número de cerámicas permeables reemplazables o cartuchos de arena consolidada. Los elementos fibrosos están provistos en varios grados y pueden remover partículas de 5 a 75 micras de diámetro. En proyectos de inyección de agua, los cartuchos más comunes son los que sirven para eliminar partículas que oscilan entre 50 a 75 micras.

El cartucho limpio ejerce una caída de presión de aproximadamente 2 PSI, y deberá reemplazarse antes de que la diferencia de presión de filtración alcance 40 PSI. La vida del filtro depende del tipo y concentración de sólidos suspendidos y de las diferencias de presión de filtración; aproximadamente

es de uno a dos años.

- Filtros de lechos granulares.

En la construcción de estos filtros se utiliza arena, carbón granular o bauxita como medio filtrante. La capa filtrante puede tener un grosor hasta de un metro, siempre que permita el flujo de agua.

ACCESORIOS DE LOS FILTROS.

Los accesorios de los filtros en general, incluyen compuertas operadas manual, hidráulica, neumática o eléctricamente sobre las líneas del influente, efluente, drenado y agua de lavado; dispositivos de medición; controladores de velocidad actuados por un dispositivo medidor; indicadores de pérdida de carga y de velocidad de flujo; indicadores de expansión del medio filtrante; controladores e indicadores del agua de lavado; dispositivos para muestreo del agua; bombas y tanques para el agua de lavado.

Mientras mayores sean las plantas y la velocidad de filtración, se justifica más la inclusión de dispositivos auxiliares mecánicos y automáticos a la operación.

4.5 AEREACION. (1,2,9,22,23)

Es un proceso mecánico mediante el cual se introduce aire en forma de pequeñas burbujas dentro del seno del agua.

Se deberá aplicar siempre que el agua contenga gases como el caso de ácido sulfhídrico y bióxido de carbono disueltos. La efectividad de este proceso para eliminar el ácido sulfhídrico disuelto en el agua, depende de manera considerable de las características del agua y de la cantidad de bióxido de carbono presente en el agua.

En aguas ácidas, el sulfuro está en forma de ácido sulfhídrico disuelto y puede ser eliminado por aereación. En cambio en aguas alcalinas, el ión sulfuro persiste y no es eliminado por aereación, de manera efectiva. Además, puesto que el ácido sulfhídrico es 7 veces más soluble en el agua que el bióxido de carbono, este último se liberará primero durante la aereación de un agua que contenga ambos gases. Cuando en el agua no existan ácidos minerales, la pérdida de CO₂ provoca un aumento en el pH, ocasionando un incremento en la alcalinidad, por lo que se deberá suministrar una alimentación ácida y añadir cloro para efectuar una eliminación eficiente del

ácido sulfhídrico.

La aereación tiene como ventaja adicional que se logra la estabilización de sales minerales que están ávidas de oxígeno, como es el caso de las sales de hierro y magnesio. Además cuando se elimina el CO₂ se rompe el equilibrio que existe con los carbonatos y bicarbonatos, provocando su precipitación y en esta forma evitando incrustaciones.

Los equipos utilizados para el tratamiento son los **aereadores**. Por lo general se utilizan dos tipos de aereadores que son: aereadores por gravedad y los difusores de aire.

Los aereadores más utilizados son los constituidos por un conjunto de charolas colocadas, en forma separada, una encima de otra para que el agua fluya o escurra entre ellas. Corresponde este diseño a la clasificación de aereadores por gravedad, Fig. (4.13).

4.6 AGOTAMIENTO A CONTRACORRIENTE CON GASES INERTES. (7)

Consiste en inyectar a contracorriente del flujo de agua un gas inerte (gas dulce), para que así se separen los gases indeseables como el ácido sulfhídrico, bióxido de carbono y oxígeno, al ser arrastra-

dos por dicho gas.

El proceso es conveniente hacerlo a altas temperaturas para poder lograr una mayor eficiencia de tratamiento.

El equipo utilizado para este proceso es la **torre de agotamiento empacada**. Este tratamiento es recomendable utilizarlo cuando no se dispone de espacio suficiente para instalar aereadores.

4.7 DEAEREACION. (12,16,17,19)

La deaeración es un proceso mediante el cual se eliminan los gases indeseables que van disueltos en el agua. Esto puede lograrse mecánicamente o mediante la adición de un producto químico al agua con el propósito de que se combine con algún gas específico que se desee eliminar. Comúnmente la deaeración se utiliza para eliminar el oxígeno, debido a que cuando se encuentra disuelto en el agua es sumamente corrosivo; por lo que el máximo nivel aceptable para controlar la corrosión debe ser de 0.1 ppm. de oxígeno residual.

La remoción de un gas se logra por la deaeración mecánica o por el secuestro con agentes quími-

cos. Los procesos mecánico y químico se emplean cuando la fuente de abastecimiento es superficial o si el sistema de inyección es abierto. La deaeración química se emplea como medio de seguridad en aguas sub-superficiales tratadas en sistemas cerrados.

4.7.1 Deaeración mecánica.

La deaeración mecánica (12), es la más comúnmente utilizada para una remoción primaria de oxígeno; se basa en la Ley de Henry que establece que la cantidad de un gas específico disuelto en un volumen determinado de agua, a temperatura constante, es directamente proporcional a la presión parcial de dicho gas en equilibrio con la solución, y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$C = H * P \quad \text{Ec. (4.1)}$$

donde c es la concentración del gas; H es una constante de proporcionalidad y P la presión sobre el agua.

La presión parcial de un gas es una función de su fracción molar y de la presión total; por lo que, reduciendo la presión parcial o total de

la solución o la fracción molar del gas, se puede reducir la solubilidad del gas. La solubilidad del gas es inversamente proporcional a la temperatura, con lo que al aumentar la temperatura del agua se produce una disminución en la concentración de ese gas: de ahí que, la solubilidad de los gases sea un factor importante en el proceso de deaeración mecánica.

En general existen cuatro tipos de equipos de deaeración:

- 1.- Deaeradores a vacío sin gas secuestrante.
- 2.- Deaeradores a vacío con gas secuestrante.
- 3.- Deaeradores con gas natural a contracorriente.
- 4.- Sistema de extracción artificial con gas natural.

El deaerador a vacío sin gas secuestrante, reduce la presión total en la solución permitiendo el escape del oxígeno disuelto. El deaerador con gas natural a contracorriente reduce la presión parcial del oxígeno en la solución reemplazando el oxígeno con gas, con

lo cual se reduce la concentración de oxígeno disuelto.

Los otros dos tipos de aereadores combinan los dos principios de reducción de la presión total y parcial del oxígeno a fin de removerlo de la solución.

La eficiencia de un deaerador de oxígeno puede incrementarse calentando el agua, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura del agua. Por eso es que en algunos sistemas, se emplea un calentador, antes de realizar la deaeración.

El deaerador con gas natural a contracorriente es una columna compuesta en su interior por platos o por empaques (17). Las columnas más utilizadas son las de platos, en las que el agua ingresa por la parte superior de la torre, desciende por los platos y sale por el fondo; el gas secuestrante tiene curso contrario, ingresa por el fondo y es eliminado por la parte superior de la columna, Fig.(4.14). El objetivo de los platos y empaques es aumentar el área de contacto entre el agua y el gas. La rata a la cual el oxígeno escapa de la solución

incrementa con el área de contacto.

La cantidad de oxígeno disuelto removida de un agua particular en una torre depende de varias variables:

- Concentración de oxígeno en el agua de entrada.
- Número de platos.
- Relación gas-aqua.
- Presión de operación de la torre.
- Temperatura de la torre.

El gas utilizado para este proceso debe estar libre de gases ácidos como el ácido sulfhídrico y el bióxido de carbono, para evitar problemas de corrosión.

El deaerador a vacío consiste asimismo de una columna dentro de la cual se hace caer el agua procurando que exponga la máxima área al vacío, ver Fig.(4.15). El agua ingresa por la parte superior de la columna a través de un rociador y fluye por gravedad atravesando los empaques o por los platos. Esta columna generalmente contiene de 1 a 3 etapas de presión. En una columna empacada cada etapa consiste de una

altura determinada de empaques, la etapa superior opera a mayor presión, la cual disminuye a medida que se va descendiendo hacia las etapas inferiores.

La experiencia indica que al trabajar en forma apropiada el deaerador, la concentración de oxígeno puede ser reducida hasta valores de 0.05 ppm. en agua libre de ácido sulfhídrico y hasta 0.01 p.p.m. en aguas que contengan dicho gas; sin embargo, en algunos casos, el costo de la obtención de esta concentración puede ser prohibitiva, por lo que se recomienda utilizar barredores químicos del oxígeno (secuestramiento con agentes químicos) tales como el sulfito de sodio, bisulfito de sodio, bisulfito de amonio, bióxido de azufre o hidrazina, los cuales en combinación con un deaerador mecánico pueden reducir la concentración de oxígeno a niveles de 0.005 ppm. a costos razonables.

4.7.2 Remoción química. (12,17,21)

La eliminación de un gas específico, también puede lograrse mediante la adición al agua de un compuesto químico que sea susceptible de reaccionar con el gas de interés. La más impor-

tante aplicación de la deaeración química del agua, es la eliminación del oxígeno disuelto.

Los compuestos químicos que se utilizan en la eliminación del oxígeno son sustancias ávidas de ese gas, siendo el más comúnmente usado, el sulfito de sodio. El método químico es particularmente útil, para eliminar pequeñas cantidades de oxígeno disueltas en grandes volúmenes de agua y generalmente se utiliza después del tratamiento con procesos mecánicos.

El sulfito de sodio es el más utilizado para eliminar el oxígeno disuelto en el agua; este compuesto químico se combina con el oxígeno según la siguiente reacción:



Esta reacción requiere 8 p.p.m. de sulfito de sodio por 1 p.p.m. de oxígeno removido más un exceso de 5 a 10 p.p.m. de sulfito para que la reacción sea completa.

El sulfito de sodio puede ser adquirido en forma de polvo o en forma líquida. Cuando se usa en forma de polvo debe ser mezclado con

agua fresca previa su alimentación a la corriente. Este compuesto ordinariamente reacciona muy lentamente con el oxígeno a temperaturas normales de operación, por lo que se requiere del uso de catalizadores para acelerar la reacción, los catalizadores más usados son a base de cobalto.

El **bisulfito de sodio** reacciona con el oxígeno disuelto del agua mediante la siguiente reacción:



Teóricamente se requieren 6.5 p.p.m. de bisulfito de sodio para reaccionar con 1 p.p.m. de oxígeno. El bisulfito de sodio es generalmente suministrado en forma líquida. También requiere del uso de catalizador para acelerar la reacción.

El **bisulfito de amonio** se combina con el oxígeno del agua en base a la siguiente reacción:



Esta reacción requiere de 6 p.p.m. de bisulfito

de amonio para reaccionar con 1 p.p.m. de oxígeno. No requiere de catalizador para acelerar la reacción.

El bióxido de azufre reacciona con el oxígeno disuelto del agua de la siguiente manera:



Esta reacción requiere 4 p.p.m. de bióxido de azufre por cada p.p.m. de oxígeno removida, al igual que el sulfito de sodio, este compuesto requiere de catalizadores de cobalto para acelerar la reacción. Sin embargo en algunas aguas el bióxido de azufre reacciona con el oxígeno muy rápidamente sin el uso de catalizador.

El SO_2 es gaseoso, es más barato que el sulfito de sodio, pero no puede ser usado tan frecuentemente como el sulfito porque el catalizador debe ser agregado separadamente. Sin embargo se lo usa cuando se necesita grandes cantidades de secuestrador de oxígeno. La desventaja de esto es que una excesiva cantidad de SO_2 puede bajar el pH del agua y causar severos problemas de corrosión.

La hidrazina reacciona con el oxígeno del agua de acuerdo con esta reacción:



Esta reacción es muy lenta a temperaturas normales de operación y no es muy utilizada en el tratamiento de agua. La reacción hidrazina-oxígeno no puede ser efectivamente catalizada a bajas temperaturas y es extremadamente peligroso su manejo.

4.8 ABLANDAMIENTO DEL AGUA. (2,4,12,17,19)

Las aguas naturales, debido a su acción disolvente, contienen diversas cantidades de sales de composición muy variable. A esta característica del agua se le conoce con el nombre de **dureza**; la dureza del agua se debe principalmente a las sales solubles de calcio y magnesio.

La dureza puede ser **temporal** o **permanente**. la dureza temporal es producida por los bicarbonatos, y se puede eliminar por simple ebullición. La dureza permanente la producen las sales como los sulfatos, y esta no puede ser eliminada por el simple proceso de ebullición. La suma de la dureza temporal con la

permanente la denominamos **dureza total** de las aguas.

El proceso de ablandamiento consiste en la eliminación de las sales disueltas, que puedan ocasionar problemas considerables en el sistema de inyección. El proceso más utilizado desde tiempos antiguos para el ablandamiento es aquel que utiliza reactivos, como el hidróxido de calcio u óxido de calcio y el carbonato de sodio para eliminar los iones calcio, magnesio, bicarbonato y el ión ferroso. Este proceso se puede efectuar a temperaturas bajas o altas, logrando reducir la dureza a 30 ó 5 ppm. respectivamente.

El ablandamiento de un agua puede hacerse también por intercambio de iones. Este proceso consiste en hacer pasar el agua dura por una columna de cristales de **zeolita**, Fig.(4.16), para reemplazar los iones del agua con los iones de la zeolita como se muestra en las siguientes reacciones:



En el proceso de ablandamiento por medio de zeolita sódica (su uso es común ya que su costo es reducido) llega un momento en que esta se agota por haberse transformado en zeolita cálcica o magnésica.

Para su regeneración la sustancia que más se usa es la sal común o cloruro de sodio en forma de solución. Esta solución se circula a través de la unidad de tal manera que se reemplazarán los iones de calcio y magnesio por los de sodio. Además se hace un lavado a contraflujo con agua, para eliminar cualquier tipo de lodo o turbidez acumulada durante el proceso de ablandamiento.

En las figuras siguientes, Fig.(4.17) se presenta gráficamente cómo actúa una zeolita y cómo se regenera.

En (I), los cloruros o sulfatos de calcio y magnesio pasan a través de la zeolita de sodio, transformándose esta en zeolita de calcio o magnesio, creciendo el espesor de esta capa de arriba hacia abajo (II), a medida que va pasando el agua a través de la resina, esta se va agotando, llegando un momento en que la capa de zeolita sódica está delgada (III), que parte de las sales de calcio y magnesio pasan a través de la resina. Su capacidad de ablandamiento ya no es aprovechable, por lo que hay que regenerarla, por lo que se hace pasar agua en la que se ha disuelto el cloruro de sodio en cantidad previamente calculada, para lograr regenerar el medio, (IV).

4.9 TRATAMIENTO BIOLÓGICO. (12, 17)

Existe una amplia variedad de aditivos que se utilizan para el control del crecimiento de microorganismos en un sistema de inyección. Estos se pueden clasificar en **bactericidas** y **bacteriostatos**.

Bactericidas son aquellos para eliminar las bacterias, los bacteriostatos en cambio, son aquellos que inhiben o retardan el crecimiento de las bacterias. Si estos productos químicos producen el mismo efecto sobre otras formas de vida (protozoarios, algas y hongos), se los denomina **biocidas** y **biostatos** respectivamente.

Una vez seleccionado un aditivo químico por su efectividad y costo, deberá determinarse su compatibilidad con el agua a tratar y con otros aditivos que se utilicen para acondicionarla. La dosificación de un biocida o biostato, se puede hacer en forma continua o intermitente, dependiendo del aspecto económico y de la efectividad del tratamiento. Estos aditivos pueden ser de carácter inorgánico (cloro, cromatos y compuestos de mercurio y plata) u orgánico (aminas, peróxidos orgánicos, policloro-fenoles y compuestos cuaternarios de amonio).

Los microorganismos prevalecen en casi todas las aguas disponibles para inyección, y son particularmente problemáticos cuando se encuentran en zonas de clima caliente o tropical, donde la temperatura del medio favorece su multiplicación, por lo que se recomienda el uso de bactericidas. Si el pH y la temperatura del agua fluctúan entre 5 y 9; y 0 a 180 grados Fahrenheit respectivamente, se puede asegurar que esa agua contiene bacterias.

Como los microorganismos crecen bajo incrustaciones, detritos o cieno; y estos últimos no son removidos antes de agregar el bactericida, los microorganismos no podrán ser destruidos. Por lo tanto la primera operación importante antes de aplicar el bactericida es limpiar el sistema de manejo del agua: esto incluye la limpieza de las líneas de flujo, el contraflujo de los pozos, la purga de los filtros y la remoción del lodo depositado en el fondo de los tanques. El bactericida puede ser suministrado en alguna parte del sistema donde el movimiento del agua sea suficiente para conseguir su mezcla adecuada.

CAPITULO V.

"SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA."

Un sistema de tratamiento de agua, es un conjunto de instalaciones para proporcionar al agua las características necesarias para su inyección al vacimiento.

La primera consideración en la construcción de un sistema de tratamiento de agua, es contar con una fuente abastecedora lo suficientemente grande y lo más próxima posible a los puntos de inyección. Es conveniente que la planta se instale en un lugar alto en relación con los puntos de inyección, de tal forma de que el agua fluya por gravedad, teniendo así grandes ahorros en el costo de la planta y en la operación y mantenimiento de la misma. Es conveniente también, que la planta se localice en un punto central del sistema de inyección. Un cuidadoso estudio de todos los factores que intervienen en las instalaciones de un sistema de tratamiento de agua, permitirá que este resulte atractivo económicamente.

Los principales factores que se deben considerar y evaluar al diseñar una planta de tratamiento de agua de

inyección son las siguientes:

- Las características del agua o aguas involucradas en el tratamiento.
- Los rangos adecuados de calidad del agua, previendo cambios en el control en el tratamiento.
- Los rangos de capacidad de tratamiento (volúmenes, presiones, flexibilidad.). La planta se diseña con el fin de tratar un volumen de agua máximo y un mínimo, proporcionándole siempre la calidad requerida.
- Localización óptima de la planta que será función de la posición geográfica de la fuente de abastecimiento y del punto o puntos de inyección. Una planta de tratamiento puede ser fija o móvil.
- Tipo de planta que puede construirse considerando el aspecto económico y la calidad del agua deseada.

Las plantas de tratamiento se han clasificado por sus características en sistema cerrado, sistema abierto y sistema semi-cerrado. El uso de cualquiera de estos tipos estará en función de la calidad del agua deseada y de la formación receptora. Cada formación posee características particulares bien definidas que influyen en la calidad

del agua que se debe inyectar: tratarla en forma excesiva para obtener un agua de calidad óptima y mantener un alto margen de seguridad, significa gastos innecesarios, de aquí que sea preciso determinar en cada caso, el tratamiento adecuado para minimizar los costos.

El tratamiento del agua tiene como finalidad, evitar la corrosión así como las incrustaciones superficiales y sub-superficiales, eliminando así el daño a la permeabilidad de la formación. El acondicionamiento del agua se lo efectúa básicamente, por medio de filtrado y tratamiento químico. El solo hecho de filtrar el agua para eliminar todas las partículas sólidas que puedan taponar la formación, no garantiza que se haya eliminado el problema de pérdida de permeabilidad, pues este puede ser ocasionado por la presencia de bacterias, agentes de la corrosión o por la reacción de contaminantes del agua con los materiales de la formación, es por eso que es necesario hacerle al agua un tratamiento más adecuado, contando para ello con los tipos de planta de tratamiento mencionadas las cuales se describen a continuación.

5.1 SISTEMA CERRADO (6,12,17,22).

El sistema de tratamiento cerrado puede ser definido como aquella planta en la que se trata el agua en ausencia total del aire. Este sistema evita la diso-

lución del oxígeno atmosférico en el agua.

El sistema cerrado es ampliamente usado en proyectos de recuperación secundaria donde el agua de inyección requiere de un tratamiento mínimo. Si el agua requiere de un tratamiento exhaustivo, generalmente se utiliza un sistema abierto o en su caso un sistema semi-cerrado.

En la Fig.(5.1) se presentan los elementos de un sistema de tratamiento de agua cerrado. Al sistema se lo puede abastecer con agua proveniente de una fuente y/o con agua producida. El agua de las fuentes de abastecimiento no deberá tener cantidades considerables de oxígeno, así como otros gases disueltos como H_2S , CO_2 , etc. los cuales no podrán ser eliminados fácilmente del sistema de inyección y como son fuentes vivas de corrosión, acabarán con las instalaciones mecánicas de la planta.

Si el agua contiene sólidos en suspensión de gran tamaño, estos pueden ser eliminados antes de dosificar los químicos para el tratamiento. Para este proceso se puede emplear desarenadores o separadores centrifugos, los cuales operan por diferencia de densidad, separando la arena, la arcilla, etc, junto a materiales orgánicos.

Cuando es necesario agregar al sistema bactericidas, inhibidores de corrosión y secuestradores de oxígeno, se recomienda hacerlo antes del filtro como se lo aprecia en la figura mencionada.

El agua una vez dosificada con estos agentes químicos, es filtrada y luego almacenada en el tanque de agua limpia. El agua almacenada es protegida colocando en su parte superior, una capa de gas natural o una cubierta de aceite, evitando así el contacto del agua con el oxígeno del aire.

El tanque sirve como fuente de suministro para las bombas que desplazarán el agua tratada hasta los pozos inyectoros.

5.2 SISTEMA ABIERTO (6,12,17,22).

El sistema abierto puede ser definido como aquella planta en la cual el agua está en contacto con el aire sin restricción alguna.

En algunas plantas de tratamiento el agua es aereada intencionalmente con el fin de eliminar los gases ácidos (H_2S , CO_2 , etc.) o introducir oxígeno para oxidar los compuestos de hierro y manganeso con el

fin de precipitarlos. En algunos casos el agua está sobresaturada por carbonatos, y para reducir su contenido será necesario aumentar el pH del agua de inyección.

La Fig.(5.2), presenta un arreglo típico para una planta de tratamiento de agua del tipo abierto, cuyos componentes pueden variar dependiendo de la fuente de abastecimiento. En esta planta particular, el agua producida proveniente de un sistema de deshidratación de petróleo, es aireada y descargada en el estanque abastecedor.

Los agentes químicos son agregados antes de que el agua llegue a la presa de sedimentación. En el estanque de sedimentación se encuentran las mamparas con la finalidad de aumentar el recorrido del agua logrando con esto, un flujo uniforme y que las partículas se sedimenten antes de llegar al filtro.

El agua pasará posteriormente a los filtros y de allí al tanque de almacenamiento, donde el agua también estará en contacto con el aire. Asimismo el tanque sirve como fuente de suministro para las bombas que transportarán el agua hacia los pozos inyectoros.

Hay que destacar que el uso de un sistema abierto

depende también de la vida del proyecto, ya que los efectos de corrosión en este sistema son muy considerables.

5.3 SISTEMA SEMI-CERRADO (12,22).

Este sistema aplica la combinación de los dos anteriores. El agua puede ser tratada como en un sistema abierto hasta el punto de deaeración, a partir de este punto hasta los pozos inyectores el sistema es cerrado.

En la Fig.(5.3), se muestra un sistema semi-cerrado. El agua proveniente de la fuente de abastecimiento es aereada para eliminar los gases ácidos y los olores característicos. Del tanque abastecedor el agua pasa al tanque mezclador de productos químicos, donde se le suministrará los productos coagulantes, químicos para el control de bacterias, inhibidores de corrosión, etc.

El agua tratada conteniendo los flóculos o coágulos, pasará a la presa de sedimentación y clarificación, donde parte de los sólidos suspendidos serán removidos para aliviar la carga de los filtros.

El agua es bombeada posteriormente a los filtros en

donde se eliminarà totalmente los sòlidos remanentes. La deaereaci3n del agua es efectuada aplicando vacio en la parte superior de una columna empacada o de platos, antes de enviarla al tanque de agua limpia.

Para evitar que el aire sea reabsorvido por el agua tratada, se recomienda tener gas en el espacio libre del tanque de agua limpia, o una capa de petr3leo. Cuando se usa gas la presi3n del tanque debe ser ligeramente mayor a la atmosf3rica.

Se ha observado en el campo que las capas de petr3leo no son muy efectivas para prevenir la entrada de oxigeno al agua en los tanques de agua limpia, ya que el aire se disuelve r3pidamente en el petr3leo, logrando así una protecci3n parcial del agua de inyecci3n. El gas natural tiene una capacidad absorvedora de oxigeno, por lo que es un excelente sello en los tanques de almacenamiento de agua.

En la operaci3n de una planta de tratamiento de agua de inyecci3n, se debe considerar los siguientes factores:

- 1.- Capacitaci3n y entrenamiento de personal disponible para la operaci3n de la planta.
- 2.- Regularidad en el muestreo del agua para su an3lisis.

3.- Reactivos disponibles para su uso en el campo.

4.- Control del tratamiento químico.

5.- Control del equipo mecánico de la planta.

El diseño más eficiente de una planta de tratamiento de agua de inyección, así como la mejor selección de los agentes químicos de tratamiento, resolverán el problema para un acondicionamiento adecuado del agua, mientras se disponga de operadores calificados.

Los métodos de análisis para el control de agua, son los suficientemente simples para que una persona capaz y hábil sea fácilmente entrenada en las técnicas analíticas. Esta selección del grupo de operadores, dará un mejor resultado en el control del tratamiento químico, en el mantenimiento del equipo de la planta de tratamiento y en la calidad del agua de inyección.

CAPITULO VI.

"ASPECTOS BASICOS REFERENTES AL CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA DE INYECCION"

La principal consideración relacionada con la calidad del agua para inyección a vacimientos petrolíferos, es que sea la adecuada para que el programa de inyección se lleve a cabo al costo mínimo y en forma eficiente (12). Esto quiere decir que se debe tener una calidad de agua, que permita la inyección a la formación al gasto deseado, sin recurrir a presiones prohibitivas, que ocasionen fracturamientos dañinos y que la corrosión causada por el agua no sea de importancia considerable desde el punto de vista económico. El tratamiento del agua se debe efectuar con la finalidad de evitar la corrosión, las incrustaciones superficiales y sub-superficiales y el daño a la permeabilidad de la formación. Como ya se sabe, para obtener esto el agua debe estar libre de sólidos en suspensión, libre de gases disueltos y de bacterias.

6.1 PUNTOS DE MUESTREO (6,12,17).

Con el fin de controlar la calidad del agua, se debe

establecer un programa para la ejecución de pruebas periódicas y sistemáticas a muestras tomadas en diferentes puntos del sistema. Las muestras de agua, deben tomarse para su análisis en los siguientes puntos:

- Fuente de abastecimiento.
- Entrada a los tanques de sedimentación o de floculación.
- Entrada a los filtros.
- Descarga de los filtros.
- Entrada y salida de la torre deaeradora.
- Descarga de los tanques de almacenamiento.
- Cabezales de distribución.
- Pozos de inyección.

6.2 TIPOS DE ANALISIS.

En general deberán realizarse 3 estudios básicos para determinar la calidad del agua de inyección.

- Análisis de sólidos suspendidos.

- Pruebas de filtros de membrana para describir el efecto de taponamiento de los sólidos suspendidos.

- Pruebas de corrosión.

Una combinación de los tres aspectos, define el estado operativo del sistema de tratamiento.

6.2.1 Análisis de los sólidos suspendidos (1,5,12).

Consiste en determinar qué cantidad de sólidos existen en el agua a inyectarse. Para conocer este parámetro debemos filtrar un volumen determinado de agua en una membrana MILLIPORE de 0.45 micras de tamaño de poro.

El primer paso consiste en pesar la membrana seca en una balanza analítica, posteriormente se instala la membrana en el aparato de filtración y se hace pasar por ella el agua. Se retira la membrana y se seca en un horno durante 30 minutos. Una vez seca la membrana se determina su peso final.

La cantidad de sólidos suspendidos en miligramos por litro (p.p.m.) será:

$$\text{S.S.T.} = \frac{[\text{Peso final} - \text{peso inicial}] \text{ mg.}}{\text{Volumen de agua en lit.}}$$

Ec. (6.1)

Este análisis se realiza principalmente a las muestras tomadas en la fuente de abastecimiento, en la entrada a los estanques clarificadores, a la entrada y descarga de filtros, a la descarga de los tanques de almacenamiento y en el cabezal de los pozos inyectoros.

6.2.2 Pruebas de filtros de membrana (3,5,15,17,22).

Esta prueba sirve para caracterizar el agua de inyección respecto al contenido de sólidos. El procedimiento más comúnmente utilizado en el campo es uno desarrollado por la AMOCO PRODUCTION CO. que consiste en determinar el Índice Relativo de Taponamiento (R.P.I.) a partir del contenido total de sólidos en suspensión (T.S.S.).

El fundamento del procedimiento se basa en el decaimiento de la permeabilidad de un medio

filtrante, que simula la roca del yacimiento por la formación de un CAKE de sólidos en su superficie externa y que se torna en un factor que controla la velocidad del flujo.

Para esta prueba se utiliza el equipo de la Fig. (6.1). El procedimiento consiste en filtrar el agua de inyección a una presión constante a través de una membrana filtrante compuesta de ésteres de celulosa puros y biológicamente inertes, de 47 mm. de diámetro, con un tamaño medio de poro de .45 μ , un espesor de 150 μ y un volumen total promedio de poros aproximadamente de 80 % del volumen de la membrana.

Se determina la velocidad de flujo en ml./seg. a diferentes valores de volumen acumulado en ml. Estos datos se grafican en papel semilogarítmico de idénticas características al de la Fig. (6.2). Se calcula la pendiente de la recta dividiendo el valor de la ordenada en pulgadas (o cms.) para el valor de la abscisa en pulg. de lo cual resulta un valor negativo, es decir:

$$M.S.T.N. = - 0.74 * \frac{Y \text{ (PULG.)}}{X \text{ (PULG.)}} \quad \text{Ec. (6.2)}$$

Para el cálculo de la pendiente se debe utilizar la porción de la recta descartando los primeros puntos, que generalmente son erráticos debido a que aún no se ha formado un cake uniforme de sólidos en la superficie del filtro.

Luego de terminada la prueba, como es ya conocido, se determina por diferencia de peso de la membrana antes y después de la prueba, el contenido total de sólidos en suspensión del agua (T.S.S.).

Se calcula el índice relativo de taponamiento haciendo la suma algebraica del valor del gradiente (M.S.T.N.) y de los sólidos totales en suspensión (T.S.S.), es decir:

$$R.P.I. = S.S.T. - M.S.T.N. \quad (6.3)$$

Con los valores antes mencionados se puede caracterizar la calidad relativa del agua en cuestión, localizando los parámetros determinados en el gráfico y en la tabla de la Fig.(6.3).

Examinando el material retenido en la membrana,

es posible establecer la fuente del problema. Mediante observación al microscopio se puede determinar si los sólidos consisten de arcillas, crecimientos de bacterias, material del medio filtrante, petróleo, productos de corrosión, aditivos químicos no disueltos e incrustaciones.

Por análisis químicos se detecta la presencia de sulfuro de hierro y otros compuestos. Cabe recalcar que estos análisis deben ser realizados por un técnico especializado en la identificación de los tipos de materia mencionados.

6.3.3 Pruebas de corrosión.

Uno de los principales problemas en las plantas de tratamiento de agua es la corrosión, que ataca a las partes metálicas del sistema. Existen varias técnicas para determinar la corrosividad del agua, como las que a continuación se describen: resistencia eléctrica, contenido de hierro disuelto y prueba de testigos de corrosión.

- Resistencia Eléctrica (17).

Para esta prueba se utiliza un espécimen metálico que puede ser en forma de alambre, el cual es expuesto al medio corrosivo por medio de un aparato denominado corrosímetro. La resistencia eléctrica del espécimen es inversamente proporcional al área transversal, es decir:

$$\Omega = RHO * (l/a). \quad \text{Ec. (6.4)}$$

A medida que el espécimen de metal es corroído, su sección transversal va disminuyendo, por lo que la resistencia eléctrica aumenta. El cambio se da comparando la resistencia de un espécimen de referencia, con la del expuesto a la corrosión.

Los especímenes utilizados se disponen en una gran variedad de metales y aleaciones, así como para probar a varias temperaturas y presiones. Entonces, el ritmo de corrosión se determina mediante el cambio de resistencia sufrido por los especímenes usados.

- Contenido de hierro disuelto (1,5,6,12,17).

Esta prueba consiste en analizar el agua

cuantificando el hierro disuelto en dos puntos del sistema. La diferencia en el contenido de hierro indica la intensidad de la corrosión. Es esencial determinar el contenido de hierro disuelto en el agua, antes de iniciar un programa de prevención de la corrosión.

- Prueba de testigos de corrosión (5,12,17).

Los testigos de corrosión consisten en pequeñas piezas de un material similar a aquel del sistema expuesto a un medio corrosivo, los cuales son colocados en puntos estratégicos dentro del sistema. Los testigos se exponen a la corrosión durante cierto intervalo de tiempo, antes y después del cual son cuidadosamente limpiados y pesados.

El ritmo de corrosión se determina en función de la pérdida de peso del testigo y del tiempo que fue expuesto al medio corrosivo. La corrosión sufrida se mide generalmente en milésimas de pulgadas por año (mpy) o también en micrómetros por año ($\mu\text{m}/\text{y}.$).

Si el testigo, después de ser expuesto al

medio corrosivo, tiene una capa negra de sulfuro, indica la presencia del ácido sulfhídrico en el sistema; el óxido de hierro, de color rojizo, indica la presencia de oxígeno. La corrosión del bióxido de carbono se puede detectar, algunas veces, por la presencia de depósitos de carbonato ferroso.

Existe una fórmula desarrollada por Speller, para convertir la pérdida de peso por unidad de área del testigo, a la penetración promedio en pulgadas por año:

$$F = \frac{DM}{PE * PD} \quad \text{Ec. (6.5)}$$

Si consideramos que la densidad del material (peso específico) es de 7.8 gr./cc y queremos expresar la penetración promedio en $\mu\text{m}/\text{año}$, la fórmula de Speller queda de la siguiente manera:

$$\mu\text{m}/\text{y} = \frac{\text{Pérdida de peso.}}{t * \text{área} * \text{densidad metal.}} \quad \text{Ec. (6.6)}$$

$$\mu\text{m}/\text{y} = \frac{(Wt_i - Wt_f) \text{ gr} \times 10000 \mu\text{m}/\text{cm.}}{t(d/365d/\text{y}) * 7.8 \text{ gr}/\text{cc} * A(\text{cm.}^2)}$$

$$\mu\text{m}/\text{y} = \frac{468000 * \text{Pérdida de peso (gr.)}}{\text{Tiempo (días)} * \text{Área (cm.}^2\text{)}}$$

Hay que destacar que esta rata de corrosión tiene buen significado en sistemas donde ocurre uniformemente la corrosión. Si tenemos el caso de corrosión localizada o de PITTINGS, esta medición no tiene sentido, porque la pérdida de peso ocurre solamente en ciertos puntos del sistema. Entonces cuando la información de la profundidad y frecuencia de las picaduras producidas por la corrosión es requerida, se hace necesario limpiar el testigo o denominado también cupón, expuesto para determinar la profundidad en mp/y o $\mu\text{m}/\text{y}$ y la frecuencia de las mismas, medida en picaduras por pulgada cuadrada.

CAPITULO VII

"DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO BASICO PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL CAMPO AUCA."

7.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE EL AGUA DE INYECCION.

7.1.1 Breve descripción del campo Auca.

El campo Auca, Fig.(7.1) está situado aproximadamente a 20 kilómetros al S.E. del campo Sacha (Sur de la Prov. Napo) y fue descubierto en el año 1970. La estructura del campo es un anticlinal alargado no fallado que se extiende más o menos unos 20 Km. a lo largo de su eje, cuya dirección es sensiblemente N-S; transversalmente la estructura es bastante irregular y se extiende sobre unos 4 kilómetros.

Los principales yacimientos hidrocarbúricos de la estructura son: Hollin, Napo y Basal Tena. En la actualidad la producción del campo es de 15.643 B.P.P.D., de los cuales 4.597 corresponden a Hollin, 10.416 a Napo (U + T)

y 630 a la arenisca Basal Tena.

Según datos proporcionados por técnicos del Consorcio Cepe-Texaco, en la década comprendida entre Diciembre/76 a Dcbre/86, la presión del yacimiento ha declinado desde 4.050 PSI hasta 2.380 PSI (167 PSI por año) y establecen que debido a esta declinación se tiene que para una presión de reservorio de 1.800 PSI (presión de abandono) se habrá recuperado el 11.3 % de las reservas *in situ*, por lo que para aumentar el volumen de reservas recuperables, se implementará la **Recuperación secundaria** en este campo.

El yacimiento de interés para este proyecto es la formación Napo, que es la zona de mayor potencial de reservas.

7.1.2 Requerimientos de volumen de inyección. Presión de inyección.

El volumen de agua a inyectarse fue determinado de acuerdo a estudios de un modelo matemático preliminar obtenido por computadora. La producción actual del campo es de aproximadamente 15.643 B.P.F.D. de los cuales 10.416 corresponden a la formación **Napo**, la cual va a ser

inundada por el agua a inyectarse. La producción de agua es muy baja; es de aproximadamente 4.000 B.W.P.D.

La arena "U" se encuentra ubicada en la parte superior de la formación a una profundidad aproximada de 9800 pies, y la zona "I" a una profundidad promedio de 10000 pies.

Los estudios realizados en base al modelo matemático computarizado indican que se puede esperar una recuperación óptima mediante la inundación de ambas zonas simultáneamente a través de 4 pozos inyectoros distribuidos de acuerdo al diagrama de la Fig.(7.2). Se inyectará un caudal máximo de 25.000 B.W.P.D. hasta el año 2.010, fin de la vida del proyecto.

Este caudal estará distribuido de la siguiente manera:

POZO INYECTOR.	CAUDAL (B.W.P.D.).
WI No.1	6.500.
WI No.2	7.500.
WI No.3	7.000.
WI No.4	4.000.

Los estudios matemáticos establecieron que se requerirá una presión de inyección de 2.500 P.S.I. en superficie.

7.1.3 Fuente de agua de inyección.

El agua de formación actualmente producida es insuficiente para cubrir las necesidades de inyección y su tratamiento resultará muy costoso ya que es demasiado riguroso, por lo que se seleccionó usar el agua del río "Tiputini", distante a más o menos 1.500 metros del sitio de ubicación de la planta de tratamiento.

El caudal mínimo determinado es de 5.0 metros cúbicos por segundo, más que suficiente para cubrir el gasto requerido de inyección.

7.1.4 Calidad del agua en la fuente de abastecimiento.

Previo al dimensionamiento de la planta de tratamiento, se hizo los análisis necesarios del agua del río Tiputini para detectar la cantidad de iones disueltos que puedan estar presentes en ella, así como la presencia de bacterias y la materia en suspensión. La com-

posición química del agua varía de acuerdo a los diferentes puntos de muestreo y de acuerdo con la época del año, por lo que se realizaron análisis periódicamente para ver como varía la calidad del agua en la fuente y tratar de considerar una calidad máxima y una mínima.

Los análisis físico-químicos del agua fueron realizados en los laboratorios de las plantas de tratamiento / inyección de los campos Sacha y Shushufindi, y son los siguientes:

- Análisis de propiedades físicas.
- Análisis químico.
- Análisis biológico.
- Análisis de compatibilidad con el agua de formación.
- Análisis de propiedades físicas.

Se determinaron pruebas de: conductividad, pH, densidad, turbidez y color.

- Análisis químico.



BIBLIOTECA

Se efectuaron análisis de sólidos suspendidos, sólidos y gases disueltos. En estas

pruebas se determinó la cantidad y tipo de materia en suspensión existentes en el agua del río; la dureza, la alcalinidad; los iones disueltos y la presencia de gases en solución tales como H_2S , CO_2 y O_2 .

- Análisis biológico.

Se procedió a determinar el tipo y la cantidad de bacterias presentes en el agua del río.

Se determinó además la tendencia del agua a ser corrosiva o incrustante de acuerdo al criterio del índice de saturación de Langelier.

De las tablas I a X se presentan resultados de los análisis realizados en diferentes muestras de agua del río Tiputini, realizados por el autor incluyendo pruebas realizadas por técnicos del Consorcio CEPE-TEXACO (marcadas con asterisco.) en diferentes épocas del año (tanto secas como lluviosas.).

En estos análisis podemos apreciar que el agua del río Tiputini posee alto grado de turbidez (11-110 NTU.) y alto contenido de sólidos en

suspensión (6.4-143 p.p.m.) consistentes en arena, mica, limo y sedimentos arcillosos en su mayor parte, los cuales tienen que ser removidos por medio de un proceso de filtración para no dañar la inyectividad al vaciamiento.

El material en suspensión que transporta el agua del río está constituido por partículas de todo tamaño, las cuales taponarán rápidamente el sistema de filtración como se lo pudo comprobar en una prueba de filtración efectuada en una membrana de tamaño de poro igual a 8 micrones (ver tabla XI). También se pudo observar que la turbidez del efluente de esta membrana poseía un valor elevado por lo que el efluente no sería de buena calidad al pasar por las unidades de filtración sin tratamiento previo.

La turbidez elevada del efluente de la membrana se debe a la presencia de gran cantidad de partículas de tamaño menor a 8 micrones, por lo que para eliminarlas se deberá emplear un proceso de floculación con la ayuda de químicos coagulantes, para que estas partículas pequeñas se aglomeren y formen partículas de mayor tamaño, de tal manera que puedan ser eliminadas en su mayor parte junto con las partículas na-

turales (de gran tamaño), en una piscina de sedimentación. De esta manera se aliviará la carga a los filtros, obteniéndose un efluente de bajísima turbidez y contenido de sólidos.

El agua del río es un fluido saturado con oxígeno; tiene una concentración que oscila entre 8 y 10 p.p.m. la cual es demasiado elevada y producirá severos problemas de corrosión que acabarían con las instalaciones metálicas del sistema en corto período de tiempo. Se necesitará por lo tanto remover el oxígeno disuelto del agua por medios mecánicos y químicos.

Para efectuar el proceso mecánico se empleará una torre de des-oxigenación, con la que se podrá reducir la concentración de oxígeno hasta un máximo de 0.05 ppm, pero esta cantidad podrá ser disminuida hasta 0.005 ppm, con la ayuda de barredores químicos de oxígeno, para reducir al mínimo la corrosión de las tuberías, bridas, conexiones y demás partes metálicas del sistema. No se detectó la presencia de otros gases corrosivos tales como ácido sulfhídrico y bióxido de carbono.

Los análisis biológicos realizados indican que existen bacterias tanto de tipo anaeróbico como aeróbico en el agua del río Tiputini. En el sistema a instalarse se deberá inyectar a la corriente químicos fabricados a base de cloro para el tratamiento de las bacterias. La selección de estos químicos se debe realizar en condiciones normales de operación de la planta.

7.1.5 Calidad del agua tratada.

Para poder inyectar el agua dentro del yacimiento al costo deseado, sin tener en algún momento que recurrir a incrementos excesivos en la presión de inyección el agua debe estar libre de sólidos en suspensión. Como establecimos en la sección anterior, estos sólidos serán removidos por medio de procesos de clarificación por sedimentación y filtración posteriores a una etapa de floculación.

La dosis requerida de coagulante para la floculación se determina mediante el desarrollo de la llamada "prueba de jarras" que se lleva a cabo en un agitador de laboratorio Fig.(7.3). Se deben probar químicos con diferentes dosis para ver cual es más compatible con el agua

problema y que la dosis responda de manera efectiva a la formación de flóculos grandes y resistentes que puedan ser eliminados en su mayor parte en el sedimentador.

Para tener una idea de qué tipo de químico coagulante se debería emplear en el sistema de tratamiento, se realizaron pruebas de jarras con dos productos coagulantes disponibles en los laboratorios de Sacha y Shushufindi, y el agua del río Tiputini. Estos productos son: Sulfato de Aluminio y un polielectrolito catiónico, los cuales fueron suministrados al agua de la siguiente manera:

- El sulfato de aluminio fue preparado en solución al 10% (*) en peso.
- El polielectrolito fue diluido al 1% (*).

Los porcentajes (*) a los cuales han sido preparadas las soluciones son los recomendados por técnicos de las compañías de servicio fabricantes de estos productos. Las pruebas de jarras realizadas están en las tablas XII y XIII.

En estos resultados podemos apreciar que el

sulfato de aluminio responde mejor que el polielectrolito a la floculación, lográndose una buena clarificación del agua. De estas pruebas se podría concluir que en el sistema de tratamiento se podrá emplear solución de sulfato de aluminio al 10 % con una dosis de 150 ppm cuando el agua tenga las características señaladas en la tabla VIII para remover los sólidos desde 20.8 ppm a 3 ppm y turbideces desde 25 Ntu a 4.9 Ntu en la piscina de sedimentación. El agua ingresaría a los filtros con esas características y saldrá de ellos con 0.47 ppm de sólidos suspendidos y 0.3 Ntu de turbidez, como máximo. Estos valores corresponden a un agua de buena calidad y apta para inyectarse al yacimiento. La dosificación de sulfato variará de acuerdo a los resultados de las pruebas de jarras que se realicen constantemente cuando cambien las características del agua debido al estado de tiempo.

Una vez determinada la dosis óptima de coagulante se procedió a efectuar la prueba de filtros de membrana para determinar, la calidad del agua de inyección mediante el "Índice relativo de Taponamiento", filtrando un volumen determinado de agua tratada (clarificada y

filtrada en membrana de 8 micrones) en una membrana de 0.45 micrones siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.2 del cap. 6.

Se filtró 8 galones de agua tratada en la membrana de 0.45 μ . para observar el decaimiento del flujo de agua debido al taponamiento de la membrana por la formación de un cake de sólidos en la superficie de la misma. El agua tiene las características de la tabla XII. Los datos de la prueba se detallan en la tabla XIV. Se graficó los valores de caudal contra los valores de volumen acumulado de filtración, Fig. (7.4).

Para la determinación de la pendiente del gráfico, se tomó en cuenta solamente los últimos puntos. Los primeros puntos son erróneos ya que se deben a que al inicio de la prueba todavía no se ha formado un cake de sólidos uniforme en la membrana de 0.45 micrones.

La pendiente de la curva representa el gradiente de filtración y es:

$$M.S.T.N. = - 0.74 \frac{Y}{X} \quad \text{Ec. (6.2)}$$

$$M.S.T.N. = - 0.74 (50.0) / (36.0)$$

$$M.S.T.N. = - 1.028.$$

El índice relativo de taponamiento será:

$$I.R.F. = S.S.T. - M.S.T.N. \quad \text{Ec. (6.3)}$$

$$I.R.F. = 0.470 - (-1.028)$$

$$I.R.F. = 1.498.$$

Ubicando este parámetro en la Fig.(6.3) del cap. 6, la calidad del agua tratada a inyectarse es excelente. Se podría afirmar que el sistema de inyección no tendrá problemas con respecto al manejo de los sólidos suspendidos en el agua tratada a inyectarse.

7.1.6 Compatibilidad con agua de formación.

Se realizaron pruebas de compatibilidad del agua del río (agua tratada) mezclándola con agua de la formación Napo tanto de la arena U como de la arena T, con resultados satisfactorios. No se procedió a determinar la compatibilidad del agua de inyección con la roca de la formación por cuanto no existen muestras de núcleos de formación, ni el equipo altamente sofisticado que se necesita emplear para reali-

zar estas pruebas.

La prueba se realizó tal como se lo indica en la sección 4.1 del capítulo 3. Se mezcló el agua de inyección con agua de la arena U y de la arena T en vasos graduados, se los agitó y dejó reposar durante 24 horas. Al cabo de este tiempo no se detectó en los vasos la presencia de precipitados en la mezcla por lo que el agua de inyección sí es compatible con el agua de la formación.

7.2 COMPONENTES BASICOS DEL SISTEMA.

Los criterios básicos para la determinación de los componentes que integrarán el sistema de inyección son:

- Tomar en cuenta el grado de eficiencia de operación de los equipos instalados en las plantas de tratamiento de los campos **Sacha** y **Shushufindi** para emplear similares en el sistema del campo **Auca**;
- Calidad del agua en la fuente de abastecimiento y calidad que se desearía obtener una vez tratada para proceder con su inyección al yacimiento.

Los componentes básicos del sistema serán:

- Bombas de transferencia ó de captación.
- Línea de suministro de agua.
- Piscina de sedimentación.
- Bombas de transferencia a filtros.
- Filtros.
- Deaerador.
- Tanque de almacenamiento.
- Bombas de inyección.
- Sistema de distribución hacia pozos inyectoros.

7.2.1 Línea de suministro de agua (8,23).

En todos los sistemas de inyección de agua se debe dimensionar la tubería de suministro de agua tomando en cuenta una velocidad máxima del fluido de 5 pies por segundo. El tamaño de la tubería será determinado por medio de la siguiente ecuación:

$$V = Q / A \quad \text{Ec. (7.1)}$$

En unidades de campo la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$V = 0.0119 Q / d^2 \quad \text{Ec. (7.2)}$$

El flujo máximo de alimentación a la planta será de 25.000 B.P.D. (729.25 G.P.M.), y considerando una velocidad del agua de 5 p/s, el diámetro de la tubería de suministro será:

$$D = [(0.0119 * 25000) / 5]^{0.5}$$

$$D = 7.7 \text{ pulg.}$$

De esto se puede concluir que se debe disponer de tubería de diámetro interno igual 7.7 pulg. Para efectos de cálculo consideraremos que la tubería será de acero de peso estándar, cuyo ID será de 7.981 " ($\phi = 8"$) (23).

La longitud de la línea será de 1.5 Km. (4920 pies) desde el sitio de la descarga de las bombas de captación en el río hasta la entrada a la planta (piscina de sedimentación.).

7.2.2 Bombas de captación del río.

El sistema de captación del agua de inyección en el río deberá ser capaz de bombear hacia la planta 25.000 barriles/día. El sistema puede estar compuesto de una sola bomba, como de varias unidades; podemos considerar las

siguientes alternativas:

- a) 1 bomba con capacidad de 750 - 800 GPM máx.
- b) 2 bombas con capacidad de 365 - 400 GPM máx.
- c) 3 bombas con capacidad de 243 - 250 GPM máx.
- d) 4 bombas con capacidad de 182 - 200 GPM máx.

Para este sistema de tratamiento se seleccionaron tres bombas centrífugas de 400 G.P.M. de capacidad máxima (c/u). de tal manera que dos de estas tres bombas puedan trabajar normalmente y una quede en reserva. La capacidad de la planta es de 729 G.P.M. (alternativa b).

(Como todos sabemos, para seleccionar las bombas de captación que llevarán el agua hacia la planta de tratamiento debemos considerar la cabeza hidrostática de descarga necesaria para bombear el fluido al gasto deseado, así como conocer la cabeza neta positiva de succión disponible (N.P.S.H.d.) cuyo valor debe ser mayor que el valor de la N.P.S.H. requerida, impuesta por el fabricante de las bombas (Procedimiento de selección en Apéndice F.).

DETERMINACION DE LA CABEZA DE DESCARGA.

Para la determinación de la cabeza de descarga debemos conocer aproximadamente el valor de las pérdidas de presión por fricción a lo largo de la línea de suministro, así como conocer un bosquejo aproximado de la disposición que tendrán las bombas y sus conexiones con las tuberías del sistema de captación. Este bosquejo está representado en la Fig.(7.5). El relieve topográfico de la zona no es muy accidentado, por lo que el terreno por el cual va a ir tendida la línea será considerado como totalmente plano.

Las pérdidas por fricción tanto en tuberías como en accesorios las podemos calcular utilizando la ecuación de Hazen y Williams (23), que es la siguiente:

$$H = L \left[\frac{3.55 Q}{C (d)^{2.63}} \right]^{1.852} \quad \text{Ec. (7.3)}$$

$$H = L \left[\frac{2.26 Q}{C (d)^{2.63}} \right]^{1.852} \quad \text{Ec. (7.4)}$$

C varía de acuerdo al material de la tubería. A continuación se presenta algunos valores de C para ciertos tipos de materiales.

MATERIAL DE TUBERIA.	COEFICIENTE
P.V.C.	150
CEMENTO-ASBESTO.	140
ACERO (TUB. LISA Y NUEVA)	120
ACERO (TUB. 15 AÑOS)	100

Dependiendo de las dimensiones del sistema de tuberías, la consideración de las pérdidas por fricción en codos, válvulas de diferentes tipos, cambios de dirección, conexiones, ensanchamientos, reducciones, medidores, etc., es más o menos justificada. Para grandes longitudes, el efecto que estos accesorios originan es pequeño realmente, a tal punto que pueden ser ignoradas. Se utilizan dos métodos para definir la resistencia al flujo en los demás componentes de la tubería, que son: el método del coeficiente de resistencia, el cual considera a las pérdidas originadas por la forma del accesorio v , el método de la longitud equivalente, que asume que la resistencia originada en el accesorio varía de una manera como lo hace en una tubería recta donde un líquido circula (13). Para calcular las pérdidas en accesorios vamos a emplear el segundo método. Los valores de longitud de tubería equivalente pueden ser obtenidos de diversas tablas, simi-

lares a la de la Fig.(7.6).

Analizando el diagrama de la Fig.(7.5) vemos que se tiene 3 tipos de diámetro de tubería y las pérdidas en estas deben ser calculadas para cada valor de diámetro. Los diámetros en la descarga de las bombas son de 4, 6 y 8 pulg.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en accesorios, Ec.(7.3), hemos considerado la tabla de la Fig.(7.6) :si el material de la tubería es acero y su peso es "standar" el coeficiente de Hazen considerado es 120.

Cálculo de H para determinar cabeza de descarga.

En la Fig.(7.5) se presenta un bosquejo aproximado de la configuración del sistema de descarga de las bombas de captación en el río, y en la tabla XV se detallan los elementos constituyentes de dicho sistema (tuberías y accesorios), con su respectivo diámetro nominal e interno, flujo de agua a través de ella, longitud real o equivalente y el valor de las pérdidas por fricción para cada tramo de diámetro diferente, calculado con la Ec. de Hazen

- Williams.

En la tabla XV notamos que las pérdidas por fricción representan 62.41 pies de agua, entonces la cabeza total de descarga será de 62.4 pie de agua (27 psi). Con este valor y el de la tasa de flujo se revisarán los catálogos de las bombas disponibles en el mercado. El catálogo de la compañía GOULDS (10), presenta bombas para todo tipo de servicio. De este manual se puede seleccionar bombas centrífugas MODELO 3196, cuyas características son las siguientes:

Modelo 3196. 3 x 4 - 10 H.

Flujo máximo: 400 G.P.M.

Velocidad: 1750 R.P.M.

Diámetro de succión: 3 "

Diámetro de la descarga: 4 "

Diámetro del Impulsor: 10 "

Eficiencia: 73 %

N.P.S.H.R.: 6 pies de agua.

Potencia :

La potencia de la bomba la calculamos con la siguiente ecuación:

$$HP = (GPM) * \delta P / 1714 * Ef. \quad \text{Ec. (7.5)}$$

$$HP = (400) * 27 \text{ psi} / 1714 * 0.73$$

$$HP = 8.63 \text{ hp.}$$

DETERMINACION DE LA N.P.S.H. DISPONIBLE.

Para conocer la N.P.S.H. debemos determinar los siguientes parámetros:

- Presión atmosférica, H_{atm} .

Nos referimos al valor de la presión barométrica, a la altitud de ubicación del sistema con respecto al nivel del mar. Este parámetro lo medimos en pies de agua, Fig.(7.7).

- Presión de vapor, H_v .

En todo líquido a cualquier temperatura superior a su punto de congelación se ejerce sobre su superficie libre, una presión debida al desprendimiento de vapor. Esta presión conocida como presión de vapor del líquido, es una función de la temperatura del líquido. En cualquier sistema de bombeo nunca debe reducirse la presión en ningún punto del sistema, abajo de la presión de vapor corres-

condiente a la temperatura del líquido, porque de otro modo, habrá desprendimiento de vapor el cual detendrá parcial o totalmente el flujo hacia dentro de la bomba (13). La variación de la presión de vapor con la temperatura se ilustra en la Fig.(7.8).

- Pérdidas por fricción, Hf.:

Las pérdidas por fricción deberán ser calculadas para todas las tuberías que conforman la succión de la bomba, válvulas y otros accesorios. Para calcular estos valores utilizaremos la ecuación de Hazen y Williams, Ec.(7.3).

- Pérdidas a la entrada de la bomba, Hent.:

Se presenta esta pérdida cuando el líquido que fluye en una tubería pasa súbitamente de una sección mayor a otra menor y viceversa (23). Esta pérdida puede ser determinada con la siguiente ecuación:

$$Hent = 0.000317 * (Q)^2 / D^2 \quad Ec.(7.6)$$

Las pérdidas por fricción, presión de vapor y

a la entrada de la bomba son factores negativos en el cómputo de la N.F.S.H.: La presión atmosférica y cualquier otra presión que contribuyan a la succión de la bomba son factores positivos (23).

Cálculo de la N.F.S.H.D.

- Pérdidas por fricción:

La capacidad de flujo de cada bomba de captación será de 400 GPM. y para que en la tubería de succión se manifieste una velocidad de flujo de 5 p/s. el diámetro de la tubería de succión de acuerdo con la Ec.(7.2) será de 6".

El diámetro de la brida de succión de la bomba seleccionada es de 3". La adaptación de la tubería a la brida de succión se la hará con un juego de accesorios como se lo indica en la Fig.(7.9).

Cálculos:

Como se puede observar en la Fig.(7.9) los diámetros de las tuberías y accesorios son: 6", 4" y 3". De la tabla XVI se obtiene $H_f =$

0.61 pies de agua.

- Presión atmosférica:

La altitud del sistema con respecto al nivel del mar es de aproximadamente 700 pies. De la Fig.(7.7), a dicha altitud la presión barométrica es 31.6 pies de agua.

- Presión de vapor:

En la Fig.(7.8), la presión de vapor correspondiente a 82.4 °F es de 1.4 pies de agua.

- Pérdida a la entrada:

El diámetro más pequeño de la configuración de la succión es de 3", correspondiente a la brida de succión de la bomba; las pérdidas a la entrada de la bomba, Ec.(7.6) será:

$$H_{ent} = 0.000317 * (400)^2 / (3)^2$$

$$H_{ent} = 5.64 \text{ pies de agua.}$$

- Presión hidrostática de tubo inclinado:

Longitud de tubo: 10 pies, Fig.(7.9).

Inclinación: 45°.

$$H_{hid} = 10 * \text{Sen}(45^\circ) = 7 \text{ pies de agua.}$$

La N.P.S.H.D. serà:

$$N.P.S.H.D. = H_{atm} - H_{hid} - H_f - H_v - H_{ent}$$

Ec. (7.7)

$$N.P.S.H.D. = 33.1 - 7.0 - 0.61 - 1.4 - 5.64$$

$$N.P.S.H.D. = 18.45 \text{ pies de agua.}$$

7.2.3 Piscina de Sedimentaciòn.

Se construirà una piscina de sedimentaciòn tipo rectangular, cuyas dimensiones podràn ser las indicadas en la secciòn 4.1 del capitulo 4 y son las siguientes:

LONGITUD: 100 PIES.

ANCHO : 16 PIES.

PROFUNDIDAD: 10 PIES.

Esta piscina tendrà una pendiente en la direcciòn del flujo igual al 1 % .

Estas dimensiones, pueden garantizar un flujo uniforme de los 25.000 B.W.P.D. y una ràpida sedimentaciòn de los flòculos formados por el coagulante inyectado en la línea de suministro,

aliviando de manera considerable la carga a los filtros.

En estas piscinas los lodos sedimentados serán removidos mecánicamente del fondo, por un sistema de descarga de lodos diseñado por los constructores de la unidad. El volumen de agua que retiene este tipo de piscinas es de aproximadamente 2.140 barriles. El agua será llevada a los filtros mediante bombeo.

7.2.4 Filtros.

El sistema de filtración estará compuesto de 3 filtros tipo "Multimedia filters", los cuales han sido dimensionados para tratar cada uno la mitad del flujo de alimentación de la planta, de tal manera que cuando uno de ellos entre en la etapa de retrolavado, los otros dos absorban la carga del filtro en limpieza y de esta manera trabajen a su capacidad máxima.

Las características de estos filtros están descritas en la Fig.(4.7), sección 4.3, Cap. 4. Los filtros son similares a los que operan, de manera eficiente, en la planta de tratamiento / inyección del campo Sacha.

INFORMACION BASICA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
LOS FILTROS (7).

- Flujo de la planta: 25.000 BWPD (729.25
GPM).
- Número de filtros (N): 3
- Tipo de flujo: flujo descendente.
- Tipo de Filtro: Multimedia filter, a presión.
- Carga hidráulica máxima (Qa): 20 gpm /pie².
- Tipo de medio filtrante (11,17):

MATERIAL	G.S.	ESPESOR CAPA.
carbon de antracita	1.5	18 "
arena (granate) .3 mm.	4.2	18 "
arena (granate) 1.4 mm	4.2	8 "

CAPACIDAD DE LOS FILTROS.

Flujo de entrada a la planta (Qt): 729.25 GPM.

Capacidad máxima de cada filtro (Qf):

$$Q_f = Q_t / 2 \quad \text{Ec. (7.8)}$$

$$Q_f = 729.25 / 2$$

$$Q_f = 365 \text{ GPM.}$$

Capacidad individual en condiciones normales de

operación (Q_i):

$$Q_i = Q_t / N \quad \text{Ec. (7.9)}$$

$$Q_i = 729.25 / 3$$

$$Q_i = 243 \text{ GPM.}$$

NOTA: Cada filtro tratará normalmente 243 GPM, en el momento de que uno entre en retro-lavado, los 2 restantes trabajarán a 365 GPM.

DIAMETRO DE LOS FILTROS.

Area de cada filtro (A_f):

$$A_f = Q_f / Q_a \quad \text{Ec. (7.10)}$$

$$A_f = 365 / 20$$

$$A_f = 18.23 \text{ Pie}^2.$$

Diámetro de cada filtro (D_f):

$$D_f = (4 A_f / \pi)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (7.11)}$$

$$D_f = (4 * 18.23 / \pi)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_f = 4.81 \text{ pies. } (\approx 5' 0")$$

Altura de cada filtro:

De la Fig.(4.7), tenemos que la altura de estos filtros es de 8' 0".

Requerimiento de medio filtrante:

Los filtros de 5 pies de diámetro tienen un área neta (Af) de 19.64 pie², y requieren de 1.64 pies cúbicos de medio filtrante por cada pulgada de espesor (23); de acuerdo a esto el volumen de medio filtrante será:

- Capa superior:

18 pulg. x 1.64 p. cub./pulg. = 29.52 pie cub.
29.52 pie cub. de carbón de antracita.

- Capa intermedia:

18 pulg. x 1.64 p. cub./pulg. = 29.52 pie cub.
29.52 pie cub. de arena de granate de 0.3 mm.

- Capa inferior:

8 pulg. x 1.64 p. cub./pulg. = 13.12 pie.cub.
13.12 pie cub. de arena de granate de 1.4 mm.

VOLUMEN TOTAL DE MEDIO FILTRANTE: 72.16 pie c.

- Medio de soporte:

10 pulg x 1.64 p. cub/pulg = 16.4 pie cub.

Peso del medio filtrante:

- Capa superior:

$$29.52 \text{ p.cub} \times 1.5 \times 62.4 \text{ Lb/p.cub} = 2763 \text{ Lb.}$$

- Capa intermedia:

$$29.52 \text{ p.cub} \times 4.2 \times 62.4 \text{ Lb/p.cub} = 7737 \text{ Lb.}$$

- Capa inferior:

$$13.12 \text{ p.cub} \times 4.2 \times 62.4 \text{ Lb/p.cub} = 3868 \text{ Lb.}$$

Cantidad de agua para retrolavado:

Los filtros **multimedia filters** trabajan con cargas hidráulicas de retrolavado (Q_r) de 12 a 15 gpm/pie² (11,17); el tiempo de retrolavado (t) oscila entre 7 y 10 minutos. Resulta conveniente emplear un tiempo de retrolavado de 10 minutos para asegurar una limpieza total del medio filtrante con un flujo de 15 GPM/pie².

- Flujo de retrolavado (Q_{bw}):

$$Q_{bw} = Q_r \times A_f \quad \text{Ec. (7.12)}$$

$$Q_{bw} = 15 \text{ gpm/pie}^2 \times 19.64 \text{ pie}^2$$

$$Q_{bw} = 294.6 \text{ gpm.}$$

Cada filtro empleará 294.6 gpm de agua para

cada retrolavado.

- Cantidad de agua para retrolavado, (V_{bw}):

$$V_{bw} = Q_{bw} \times t \quad \text{Ec. (7.13)}$$

$$V_{bw} = 294.6 \text{ gal/min} \times 10 \text{ min.}$$

$$V_{bw} = 2946 \text{ galones.}$$

Se requiere 2946 galones (\approx 70 Bls.) de agua limpia del tanque de almacenamiento, para cada filtro cuando necesite retrolavado.

- Tiempo de operación:

El tiempo de operación de cada filtro deberá ser fijado en el campo, en condiciones normales de operación de las unidades y es el tiempo entre cada retrolavado individual, el cual tiene que estar sincronizado de tal manera que 2 filtros operen normalmente durante la parada del tercero.

7.2.5 Bombas de transferencia a los filtros.

Para nuestro sistema, ver Fig.(7.10), la(s) bomba(s) de alimentación a los filtros deben ser seleccionadas de tal manera que el agua filtrada pueda llegar hasta la parte superior de la torre des-oxigenadora al gasto normal de

la planta. Para que esto suceda, debemos conocer aproximadamente las pérdidas de cabeza de presión por fricción en el tramo comprendido entre la descarga de la(s) bomba(s) y el conducto por donde ingresa el agua a la torre.

Para determinar estas pérdidas nos basaremos en los diagramas de las figuras (7.10) y (7.11); una descripción aproximada de la configuración de tuberías y accesorios del sistema se presenta en la tabla XVII la cual contiene así como en los casos anteriores, el cálculo aproximado de H_f para cada diámetro de tubería presente en la ruta de interés, utilizando la ecuación de Hazen y Williams.

Determinación de la cabeza de descarga.

De la tabla XVII, $H_f = 8.22$ pies de agua.

Presión hidrostática en conducto de ascenso a deaerador (long. 30 pies, G.S. = 1.0) :

$$H_{tw} = 30 \text{ pies de agua.}$$

Presión hidrostática en conducto inclinado 45° (ver Fig. (7.10)) (Longitud 37 '):

$$H_{in} = 37 \times \text{Sen}(45^\circ) = 26 \text{ pies de agua.}$$

Presión hidrostática en conducto vertical, de entrada a filtros, ver Fig.(7.11) (long \approx 5'):

$$H_{tf} = 5 \text{ pies de agua.}$$

Máxima caída de presión que se podría obtener entre la entrada y descarga de los filtros:

$$H_{dif} = 23 \text{ pies de agua. (10 p.s.i.)}$$

La cabeza de descarga será de:

$$H_d = H_f + H_{tw} + H_{in} + H_{tf} + H_{dif} \quad \text{Ec. (7.14)}$$

$$H_d = 8.22 + 30.0 + 26.0 + 5.0 + 23.0$$

$$H_d = 92.22 \text{ pies de agua. (40 p.s.i.)}$$

Para bombear 729 GPM a los filtros se puede seleccionar dos bombas de 750 GPM de capacidad máxima, y que provean una cabeza de descarga de 93 pies de agua. De las dos bombas, una trabajará normalmente mientras la otra será de reserva. Un tipo de bomba de transferencia de agua a filtros que puede trabajar normalmente es la bomba GOULDS modelo 3196, cuyas características son las siguientes:

MODELO 3196 Tipo 4 x 6 - 13 MT.

Capacidad máxima: 750 GPM.

Velocidad máxima: 1770 RPM.

Diámetro de succión: 4 ".

Diámetro de descarga: 6 ".

Diámetro del impulsor: 13 ".

Eficiencia : 80 % .

N.P.S.H.R. : 6 Pies de agua.

Potencia:

De la Ec. (7.5) la potencia de la bomba será de:

$$HP = 750 * 40 / 1714 * .805$$

$$HP = 21 \text{ hp.}$$

DETERMINACION DE LA N.P.S.H.D.

En la tabla XVIII se describe la configuración de la succión de la bomba para alimentar a los filtros, ilustrada en la Fig. (7.10 *). De esta tabla se obtiene que $H_f = 8.69$ pies de agua.

De la Fig. (7.7), la presión atmosférica a 700 pies de altitud sobre el nivel del mar es de 33.1 pies de agua.

De la Fig. (7.8), P_v a 82.4 °F es 1.4 pies de agua.

Las pérdidas por fricción a la entrada de la

bomba Ec. (7.6), representan:

$$H_{ent} = 0.000317 * (750)^4 / (4)^3$$

$$H_{ent} = 11.14 \text{ psi.}$$

Entonces la Cabeza de succión disponible será:

$$N.P.S.H.D. = 33.1 - 8.69 - 1.40 - 11.14$$

$$N.P.S.H.D. = 11.86 \text{ pies de agua.}$$

7.2.6 Bomba de retrolavado.

El flujo de retrolavado para cada filtro es de $Q = 1.5$ gal. por minuto, aproximadamente 300 gpm. Para que la velocidad del fluido en la línea que conduce el agua limpia para esta línea sea de 5 p/s. el diámetro de la línea, Ec. (7.2) será de $\frac{1}{2}$ pulgadas.

La línea se encuentra ilustrada en la fig. (7.10). De la tabla XIX, donde se detalla la posible configuración de la tubería y accesorios, se obtiene que $H_f = 5.17$ pies de agua.

La caída de presión máxima a través de cada filtro es de 23 pies de agua. Existe un pequeño tubo vertical el cual se acopla a la línea de descarga de los filtros, el cual ejerce una

presión hidrostática H_{lv} , equivalente a 1 pie de agua. Por lo tanto H_d será:

$$H_d = H_f + H_{dif} + H_{lv} \quad \text{Ec. (7.15)}$$

$$H_d = 5.17 + 23.0 + 1.0$$

$$H_d = 29.17 \text{ pies de agua.}$$

DETERMINACION DE LA N.P.S.H.D.

En la tabla XX se obtiene que $H_f = 2.90$ pies de agua asumiendo de que se ha escogido, de acuerdo a la cabeza de descarga y la tasa de flujo, una bomba cuya succión tiene un $\phi = 3"$.

Se conoce que $H_{atm} = 33.1$ pies Fig. (7.7).

$$H_v = 1.4 \text{ pies de agua. Fig. (7.8)}$$

$$H_{ant} = 3.17 \text{ pies de agua.}$$

La altura del nivel del tanque de almacenamiento, que es la fuente de suministro de agua de lavado será de 30 pies (Sección 7.2.3) valor que es favorable a la succión de la bomba de retrolavado.

Adicionando todos estos valores, la NPSHD será:

$$N.P.S.H.D. = 33.1 + 30 - 2.90 - 1.4 - 3.17$$

$$N.P.S.H.D. = 55.63 \text{ pies de agua.}$$

Si comparamos este valor con la cabeza de descarga, notaremos que $NPSHD$ es mayor que H_d . De este análisis podemos concluir que el sistema no requiere de bomba de retrolavado. La altura del nivel del tanque de agua es suficiente para suministrar el agua de lavado al gasto deseado.

7.2.7 Torre de deaeración (14,17).

La torre de deaeración a utilizarse en este sistema es similar a la de la planta de tratamiento del campo Shushufindi, ilustrada en la Fig.(4.14) y es una columna deaeradora de platos que utiliza gas secuestrante a contracorriente la cual, es apropiada para manejar tanto volúmenes pequeños como volúmenes grandes de agua.

El dimensionamiento de la columna deaeradora consiste en la determinación del número de platos necesarios para reducir la concentración de oxígeno disuelto en el agua a una cantidad residual, con la cual se va a disminuir los problemas de corrosión en el sistema de inyección.

El número de platos requeridos para una aplicación específica es una función del contenido de oxígeno disuelto en el agua de entrada, del contenido de oxígeno residual en el efluente, propiedades físicas del agua, presión de operación de la columna, Temperatura de la columna y la relación gas/agua deseada, dependiendo de la disponibilidad de gas secuestrante.

El número de platos puede ser determinado mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

$$K = H \text{ MW } GWR \text{ Ps } / \text{ Mv } \delta \text{ Po} \quad \text{Ec. (7.16)}$$

El valor de K tiene que ser calculado para ser reemplazado en la siguiente ecuación:

$$T/R = [1 + e K] \times [1 + e (k - 1)]^{n-1} \quad \text{Ec. (7.17)}$$

En deaeradores que utilizan gas natural como gas secuestrante se acostumbra utilizar 2 pie cub. de gas por cada barril de agua, para reducir la concentración desde 10 ppm hasta .05 ò .1 ppm. trabajando normalmente a una presión de operación de 4 psig (12). Partiendo de esto, los datos que se necesita para calcular el

número de platos del deaerador son:

Flujo de agua, Q_t : 25.000 B.W.F.D.

Relación gas/agua, GWR: 2 P.C.N./bL.

Presión de operación, P_o : 4 psig (18.7 psia)

Presión standar, P_s : 14.7 psia.

Concentración oxígeno influente, T : 10 ppm.

Concentración oxígeno efluente, R : 0.05 ppm.

Temperatura del agua en la torre, t° : $\approx 30^\circ\text{C}$.

Se debe considerar en los cálculos los siguientes valores constantes:

MW : 18.02 Lbs./Lb. Mol.

MV : 379 pie cub./Lb. Mol.

d : 350 Lbs./Bl.

e : 0.075, (7.5%)

En la tabla XXI a 30°C el valor de H es 47500.

La cantidad de gas necesaria de gas secuestrante es:

$$Q_g = GWR \times Q_t \quad \text{Ec. (7.18)}$$

$$Q_g = 2 \text{ PCN/Bl} * 25000 \text{ Bl/día.}$$

$$Q_g = 50000 \text{ PCN/día.}$$

El valor de K, Ec. (7.16) será:

$$K = 47500 * 18.02 * 2 * 14.7 / 379 * 350 * 18.7$$

$$K = 10.1449$$

Reemplazando este valor en la Ec.(7.17) el número de platos en la torre es:

$$\frac{10}{.05} = [1 + .0727(10.15)] \times [1 + .0727(10.15)^{n-1}]$$

Efectuando operaciones $n = 10$ platos.

Por lo general los platos están separados uno de otro, 2 pies (14). La altura ocupada por los platos será:

$$H_p = 2n - 2 \quad \text{Ec. (7.19)}$$

$$H_p = (2 * 10) - 2$$

$$H_p = 18 \text{ pies.}$$

De la Fig.(7.14), la distancia entre el plato superior y el tope de la columna es $H_s = 4.4$ pies. La distancia entre el plato más inferior y el fondo de la torre es $H_i = 7.4$ pies. Estas alturas varían de acuerdo al criterio de los fabricantes de las unidades.

La altura total de la torre H_t sería:

$$H_t = H_p + H_s + H_i \quad \text{Ec. (7.20)}$$

$$H_t = 18 + 4.4 + 7.4$$

$$H_t = 29.8 \text{ pies.}$$

En el Apéndice A se presenta gráficamente el desarrollo de las ecuaciones (7.16) y (7.17), para diferentes condiciones de operación.

En este deaerador con gas secuestrante se deberá instalar medidores tanto en la corriente de agua como en la del gas. Esto es necesario para el buen funcionamiento de la torre, seleccionar la relación óptima gas/agua y controlar la alimentación del gas con el cambio de las condiciones de flujo de entrada.

El gas secuestrante tiene que ser gas dulce, ya que el gas amargo (con ácido sulfhídrico) no es recomendable por los posibles problemas de corrosión.

Será conveniente que la torre tenga cierta elevación, Fig.(7.10) para eliminar la necesidad de instalar bombas de transferencia del agua desde la torre hasta el tanque de almacenamiento. Esta altura deberá ser igual o mayor

al nivel del agua en el tanque.

7.2.8 Tanque de almacenamiento.

La capacidad del tanque de almacenamiento es determinada de acuerdo, a la cantidad de agua que se desearía obtener para que esta unidad sirva como reservorio de líquido al sistema de inyección en caso de tener fallas en el bombeo. Por lo general se acostumbra escoger capacidades comprendidas entre $1/3$ y $1/2$ de la capacidad diaria de la planta.

El tiempo que duraría el vaciado del tanque debido a la transferencia de agua desde el tanque hacia los pozos inyectoros, sin bombeo de líquido desde el sitio de captación en el río (8-10 horas), puede ser más que suficiente para reparar posibles fallas del sistema de bombeo a la planta.

Si la capacidad de la planta es 25.000 barriles, la capacidad del tanque de almacenamiento podrá estar comprendida entre 8333 y 12500 barriles. Será conveniente considerar una capacidad promedio entre estos dos valores, es decir, 10416 bls.

Asumiendo que la altura ht del tanque sea de 30 pies (altura que por lo general tiene el nivel de agua en los tanques de almacenamiento de las plantas de Sacha y Shushufindi); y el volumen del tanque sea de 10416 bls. (58489.58 pie cub.). Su área será:

$$At = Vol / ht \quad \text{Ec. (7.21)}$$

$$At = \frac{10416 \text{ bls} / 30}{3369 \text{ pie}^2}$$

$$At = 1949.65 \text{ pie}^2$$

El diámetro del tanque será:

$$Dt = \sqrt{4 At / \pi} \quad \text{Ec. (7.11)}$$

$$Dt = \sqrt{4 * 1949.65 / \pi}$$

$$Dt = 49.82 \text{ Pies. } (\approx 50')$$

$$55.49' \approx (66')$$

Para $Dt = 50'$, A (tanque) = 1963.5 pie².

Si consideramos que $Dt = 50$ pies, el volumen del tanque será:

$$Vt = \pi * (50)^2 * 30 / 4$$

$$Vt = 58904.86 \text{ pie cub. (10491 Bls.)}$$

$$= 102635.8 \text{ pie cub. (13,232.5 Bls.)}$$

Asumiendo de que el volumen del tanque se man-

tiene constante en 10416 Bls. en condiciones normales de operación, la altura del nivel del líquido en el tanque de almacenamiento será:

$$ht = 58489.58 / 1963.5$$

$$ht = 29.79 \text{ pies } (\approx 30 \text{ '}).$$

Las dimensiones del tanque serán $D = 50'$ y $h = 30'$. El espacio vacío será ocupado por una capa de gas de 3 onz./pulq² sobre el agua, para evitar el contacto de esta con el oxígeno.

7.2.9 Bombas de alta presión (23).

En el Apéndice E, se presenta cartas para la selección de las bombas de alta presión en un sistema de inyección (23). Las bombas fueron seleccionadas para proporcionar un caudal de 25000 BWPD a una presión de descarga de 2675 PSI. Un bosquejo aproximado de la ubicación de las bombas se presenta en la Fig.(7.13)

Una alternativa de selección serían las bombas cuyas características se presentan en la figura E-4 del apéndice; las especificaciones técnicas de las bombas se encuentran en la figura E-7. Estas bombas son marca NATIONAL, modelo J - 375

TRIPLEX. reciprocantes. Cada bomba tiene una capacidad máxima de bombeo de 5170 BPD a 200 RPM, las cuales proporcionan una presión de descarga de 2675 PSI, a una potencia máxima de 262 hp.

Se instalará 6 bombas TRIPLEX de alta presión, de las cuales 5 operarán normalmente y la restante será de reserva en caso de fallas en alguna unidad.

DETERMINACION DE LA N.P.S.H.D.

Para la determinación de la N.P.S.H.D. debemos considerar los siguientes parámetros: altura del nivel del tanque, presión barométrica, presión que ejerce la capa de gas que cubre el agua tratada, presión de vapor a la temperatura del líquido, pérdidas por fricción en la tubería de succión, pérdidas a la entrada de la bomba y el cabezal de aceleración. De todos estos parámetros ya estudiados, el que nos falta cubrir es el cabezal de aceleración Hac.

El cabezal de aceleración (23), se debe calcular cuando las bombas seleccionadas son reciprocantes, y este parámetro representa la fuer-

za o cabeza requerida para acelerar el peso del fluido en la tubería de succión y se lo define de la siguiente manera:

$$H_{ac} = K_b w L_s Q / D_s^2 \quad \text{Ec. (7.22)}$$

K_b es una constante que depende del tipo de bomba y tiene los siguientes valores:

$K_b = 12.7 \times 10^{-4}$, para bombas DUPLEX de doble acción.

$K_b = 7.7 \times 10^{-4}$, para bombas TRIPLEX de una sola acción.

$K_b = 4.5 \times 10^{-4}$, para bombas QUINTUPLEX de una sola acción (23).

Cálculo de la N.P.S.H.D.

Elevación del nivel del tanque: 30 pies.

Presión atmosférica: 33.1 pies. Fig. (7.7).

Presión ejercida por capa de gas:

$$3 \text{ onz/pulg}^2 \times 1 \text{ pie agua} / 7 \text{ onz/pulg}^2 = 0.43'$$

Presión de vapor: 1.4 pies. Fig. (7.8).

Pérdidas por fricción: De tabla XXII:

$$H_f = 3.15 \text{ pies.}$$

Cabezal de aceleración:

De la Ec. (7.22) se tiene:

$$H_{ac} = 0.00073 * 200 * 30 * 150 / (4)^2$$

$$H_{ac} = 41 \text{ pies.}$$

Pérdida a la entrada de la bomba:

De la Ec. (7.6) se tiene :

$$H_{ent} = 0.000317 * (150)^2 / (4)^2$$

$$H_{ent} = 0.45 \text{ pies.}$$

$$\begin{aligned} \text{NPSHD} &= H_{atm} + H_{nt} + H_{cg} - H_{vap} - H_f - H_{ac} - \\ &H_{ent}. \end{aligned} \quad \text{Ec. (7.23)}$$

$$\begin{aligned} \text{NPSHD} &= 33.1 + 29 + 0.43 - 1.4 - 3.15 - 41 - \\ &0.45 \end{aligned}$$

$$\text{NPSHD} = 16.53 \text{ Pies.}$$

7.2.10 Dimensionamiento de línea de distribución hacia los pozos inyectoros (23).

Un esquema del sistema de distribución del agua hacia los pozos de inyección se presenta en la Fig. (7.12) y (7.14). Analizando estas figuras se puede establecer que el diámetro de la línea será función del caudal que se transporte a través de ella, a una velocidad de 5 p/s. La ecuación (7.2) será utilizada para determinar el diámetro de las líneas. Los cálculos se encuentran tabulados en la tabla XXIII. En la tabla XXIV se estima el valor de la presión de inyección en el cabezal partiendo de una presión inicial de 2675 psi.

CONCLUSIONES.

- 1.- Se ha realizado un diseño básico del sistema de tratamiento/inyección para el proyecto de Recuperación Secundaria del campo Auca, en el cual se describe los principales componentes para el tratamiento de acuerdo a las características físico-químicas que presenta el agua del río Tiputini, fuente de agua de inyección seleccionada por poseer el volumen adecuado para la inyección y, de acuerdo a los análisis realizados el tratamiento químico del agua no sería muy complicado.
- 2.- Los análisis físico-químicos constituyen el criterio básico tanto para la selección de los componentes del sistema como para la selección del tratamiento más adecuado del agua de inyección. El agua del río Tiputini es sucia y saturada de oxígeno por lo que el tratamiento consistirá básicamente de filtración y deaeración.
- 3.- Haciendo un análisis de los componentes del sistema se concluye que el sistema es **semi-cerrado**, ya que el agua de inyección es tratada en un sistema abierto en

la piscina de sedimentación y, a partir de este punto, el sistema es cerrado.

- 4.- Para la determinación de las pérdidas por fricción en base a la ecuación de Hazen y Williams, es arbitrario considerar el valor exacto del diámetro interno calculado con la ecuación de continuidad o el diámetro interno inmediato superior, especificado en las tablas, dependiendo de la tubería a emplearse.
- 5.- La construcción de una piscina de sedimentación resultará más conveniente ya que esto genera un ahorro considerable de dinero en la construcción e instalación de algún otro tipo de sistema de clarificación.
- 6.- El valor de la carga hidráulica Q_a , utilizada para el dimensionamiento de las unidades de filtración queda a elección de los técnicos de acuerdo a su experiencia en el diseño de estos equipos. Resulta más conveniente utilizar el máximo valor del rango establecido por el fabricante, ya que a máxima carga hidráulica el diámetro de las unidades disminuye, lo que implica menos espacio ocupado por los filtros en las instalaciones de la planta.

RECOMENDACIONES.

- 1.- Se recomienda en todos los casos, realizar una prueba piloto para el sistema de inyección, con todas las pruebas de laboratorio necesarias para el éxito de las operaciones en el campo.
- 2.- Aunque el agua de inyección sea compatible con el agua de la formación, se recomienda que un grupo especializado realice un estudio completo acerca de la magnitud de la sensibilidad de la roca de la formación al agua de inyección, empleando cualquiera o todas las técnicas enunciadas en la sección 4.2 del capítulo 3, para conocer con exactitud si existe la presencia de minerales arcillosos o de cualquier naturaleza, los cuales al estar en contacto con el agua de inyección reaccionan negativamente provocando daño a la permeabilidad del yacimiento, ya que el agua a inyectarse es agua fresca.
- 3.- Las pruebas de laboratorio para seleccionar el químico coagulante que sea compatible con el agua de inyección y que responda de manera eficaz a la floculación, deben realizarse continuamente ya que la

dosis óptima depende de las características del agua, las cuales varían de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona y, en ciertos casos este químico seleccionado no siempre responde eficientemente en el campo, debido a las posibles variaciones del pH por lo que, será necesario probar otros tipos de coagulantes que se ajusten al pH del agua de inyección.

- 4.- El resultado obtenido del IRP practicado en el laboratorio corresponde a un agua de excelente calidad. En el campo se deberá tratar de mantener este valor observando periódicamente, el funcionamiento de las unidades de sedimentación y filtración, ya que este parámetro es dependiente del contenido de sólidos en suspensión y, constituye un criterio básico para determinar el grado de eficiencia del funcionamiento del sistema.

- 5.- En base al diagrama de flujo de la planta será necesario que técnicos especializados efectúen estudios de detalle de las configuraciones de los sistemas de tuberías, válvulas y demás accesorios a instalarse en la planta. Los diagramas presentados constituyen una aproximación, lo que en la práctica es común hacer para tener una idea acerca de las pérdidas por fricción calculadas, que constituyen un criterio básico para la selección de las bombas de

transferencia del sistema.

6.- De igual manera, se recomienda efectuar el diseño detallado de todas las instalaciones del sistema, en base al diseño básico presentado.

7.- Para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento se deberá capacitar y entrenar al personal que va a estar a cargo de la operación del sistema. Los métodos de análisis para el control de calidad del agua de inyección son suficientemente simples, para que una persona capaz y hábil sea fácilmente entrenada en las técnicas analíticas.

F I G U R A S

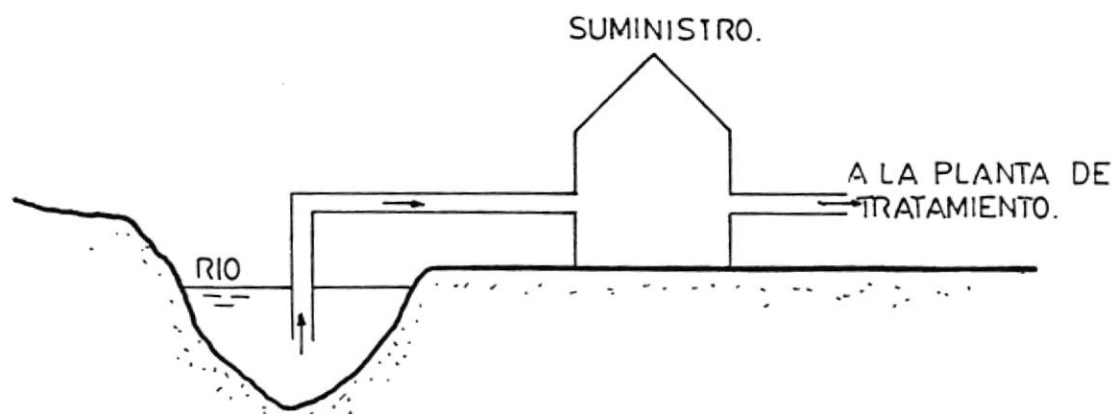


FIG.(2.1) AGUA DULCE DE ORIGEN SUPERFICIAL.

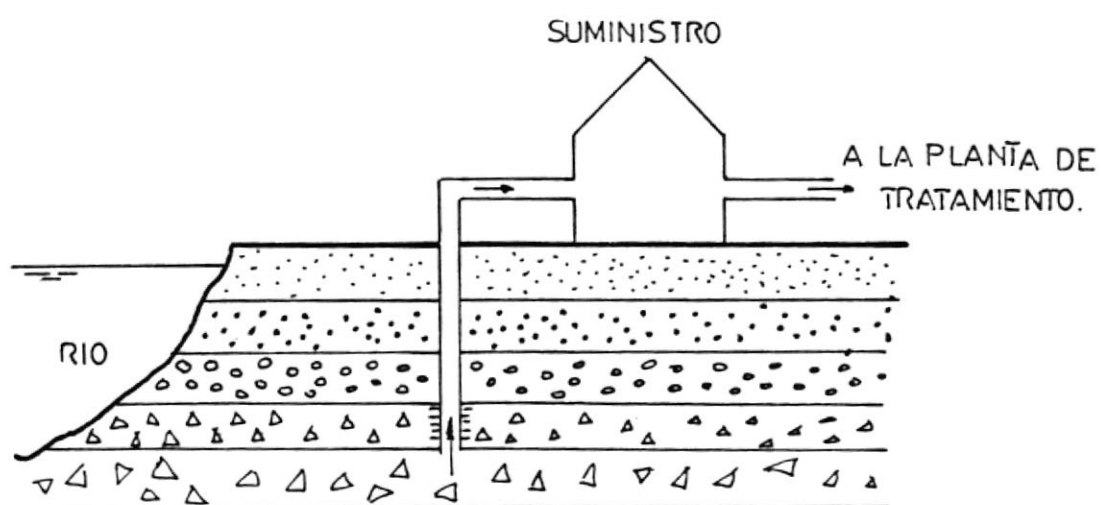


FIG.(2.2) AGUA DULCE DE CAPAS DE ALUVION.

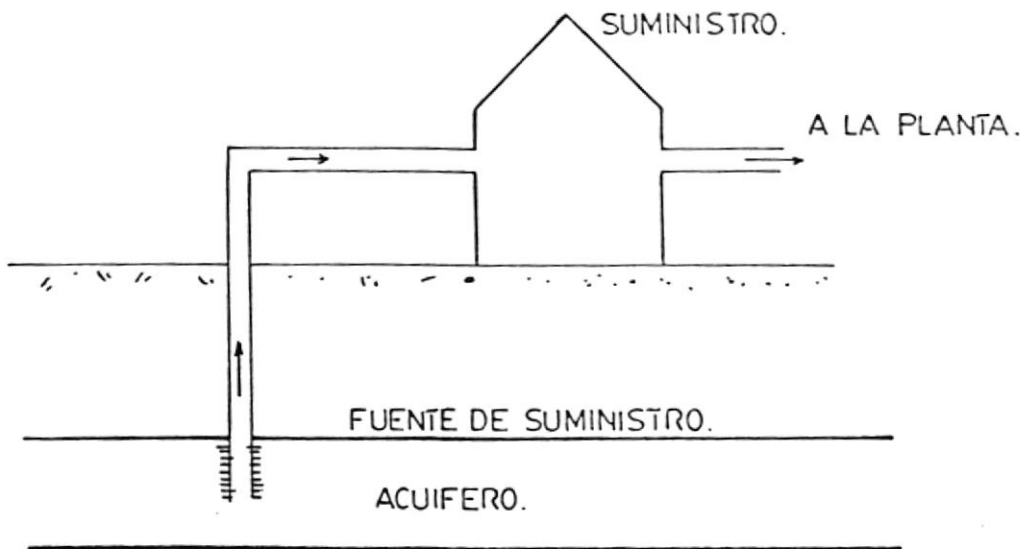


FIG.(2.3) AGUA DULCE DE FORMACIONES SUB SUPERFICIALES.

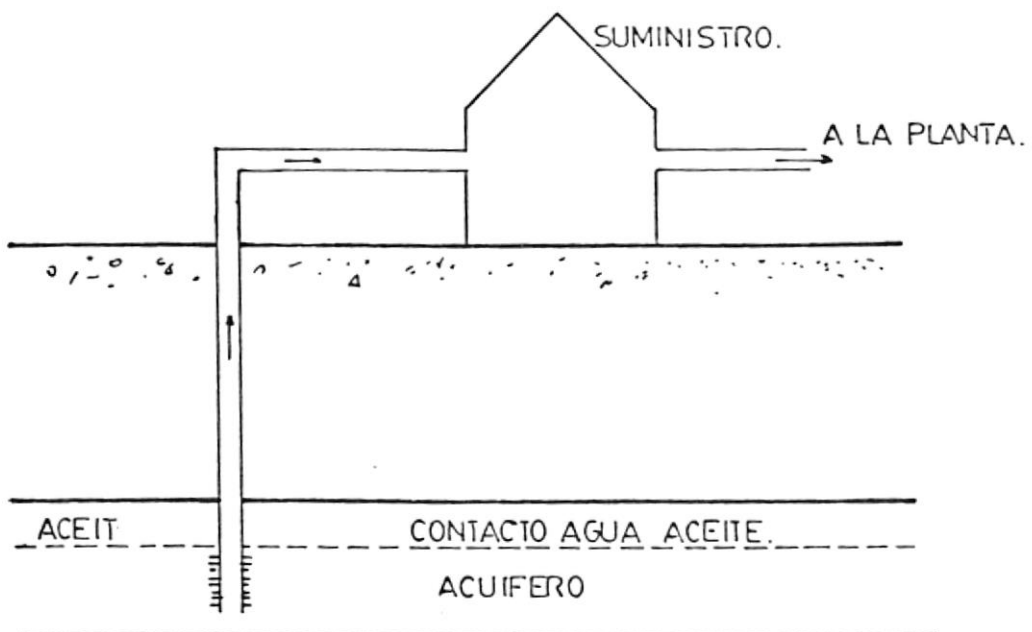


FIG.(2.4) AGUA SALADA DE FORMACIONES SUB-SUPERFICIALES.

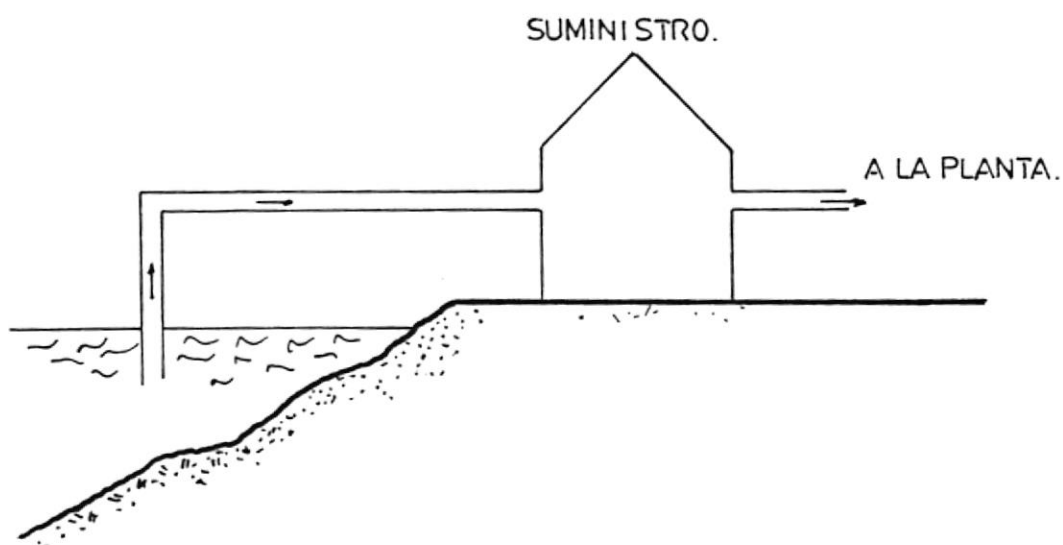


FIG.(2.5) AGUA SALADA DE ORIGEN OCEANICO.

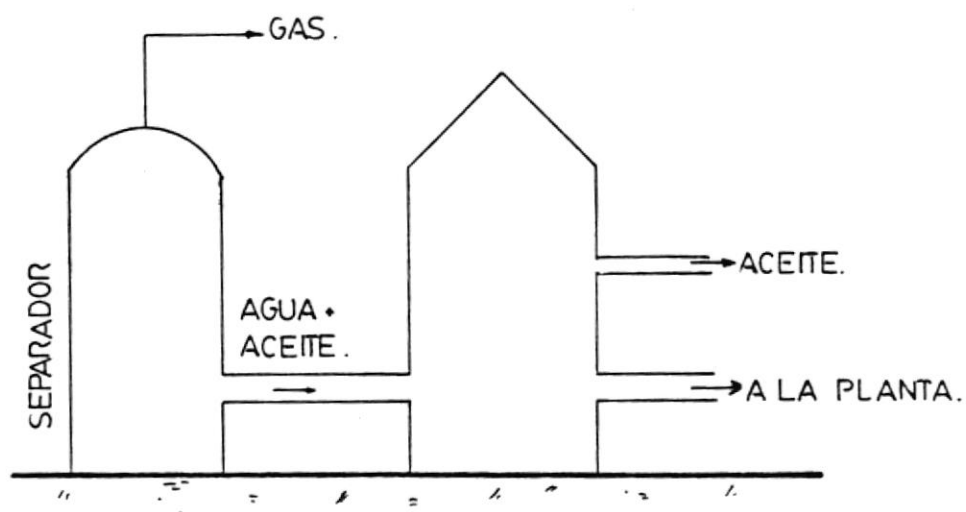


FIG.(2.6) AGUA SALADA PRODUCIDA.

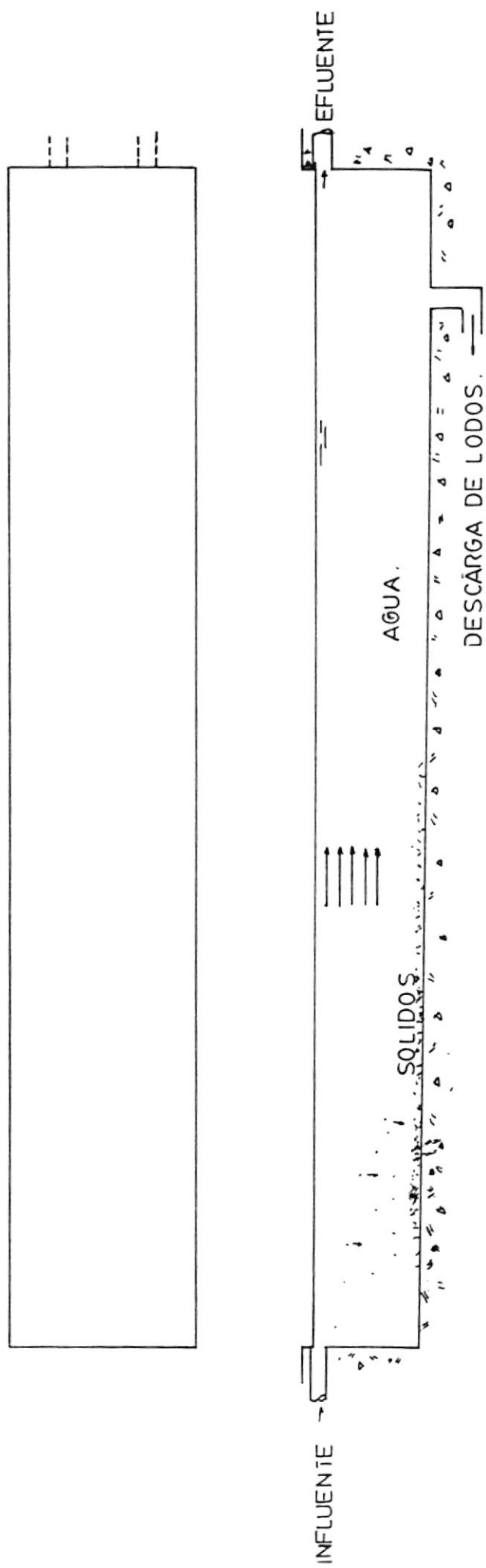


FIG. (4.1) ESTANQUE DE SEDIMENTACION.

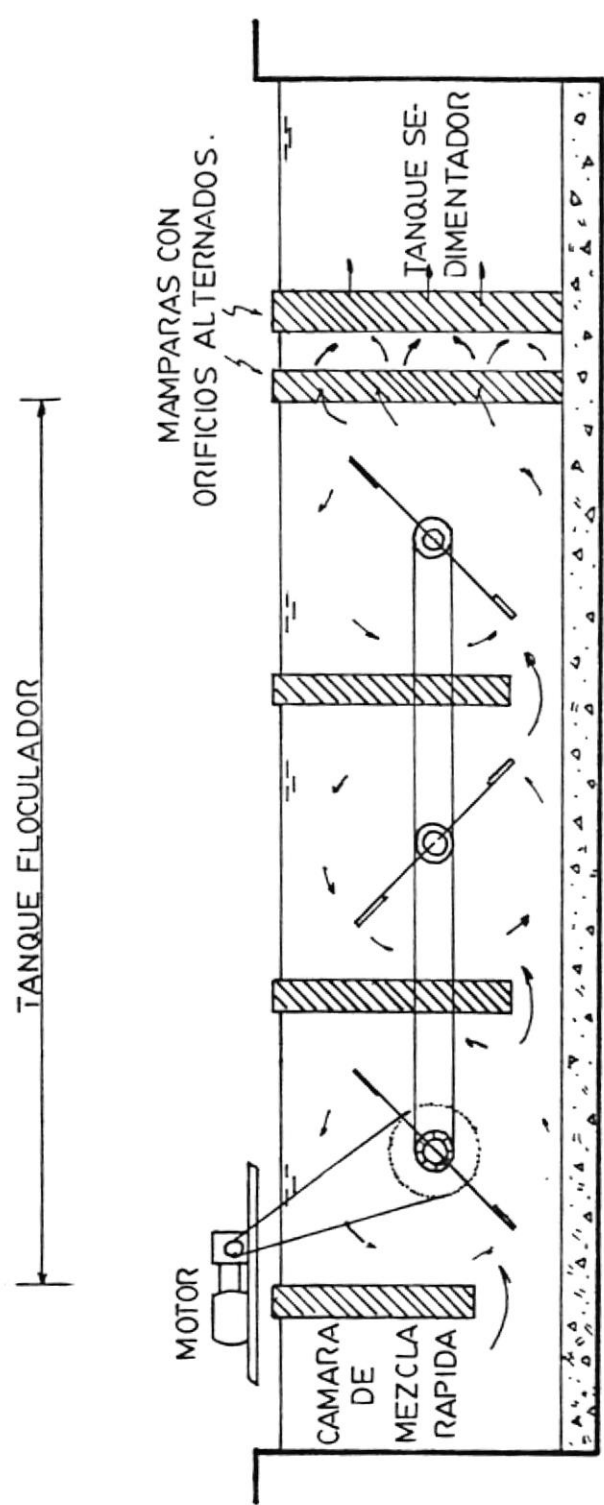


FIG.(4.2) MECANISMO FLOCULADOR ROTATIVO.

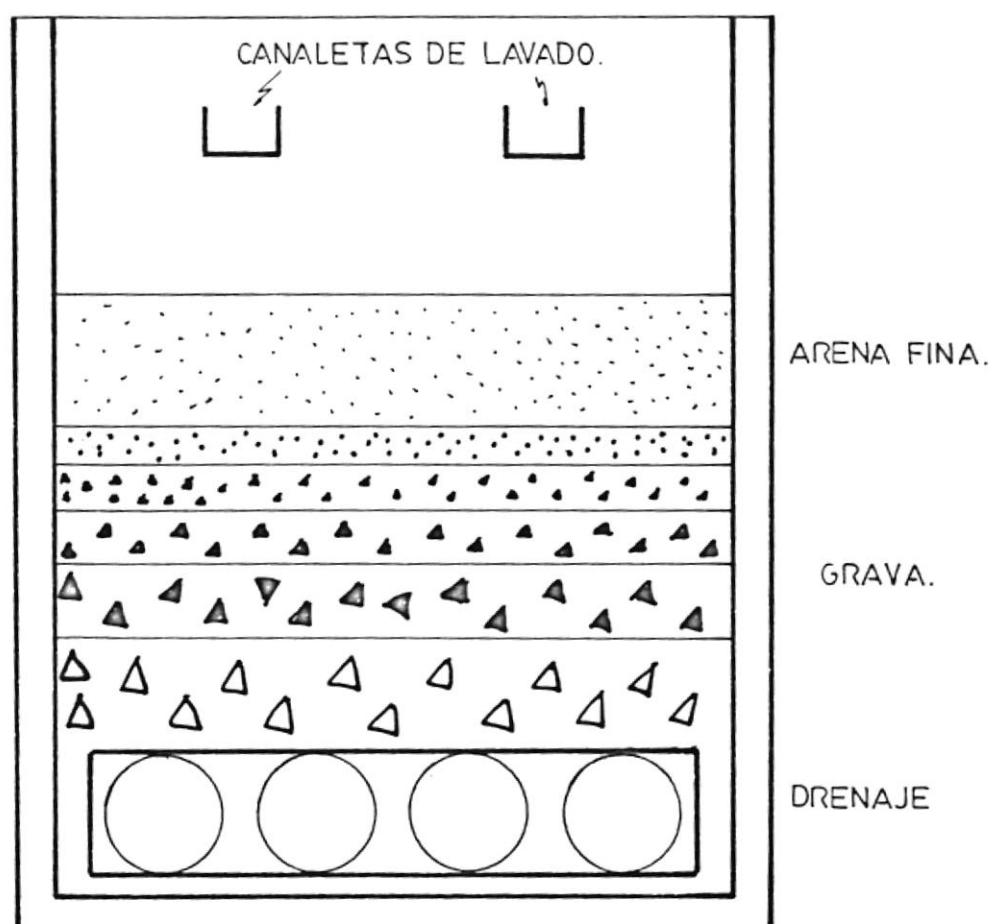


FIG. (4.3) CORTE TRANSVERSAL DE UN FILTRO DE GRAVEDAD.

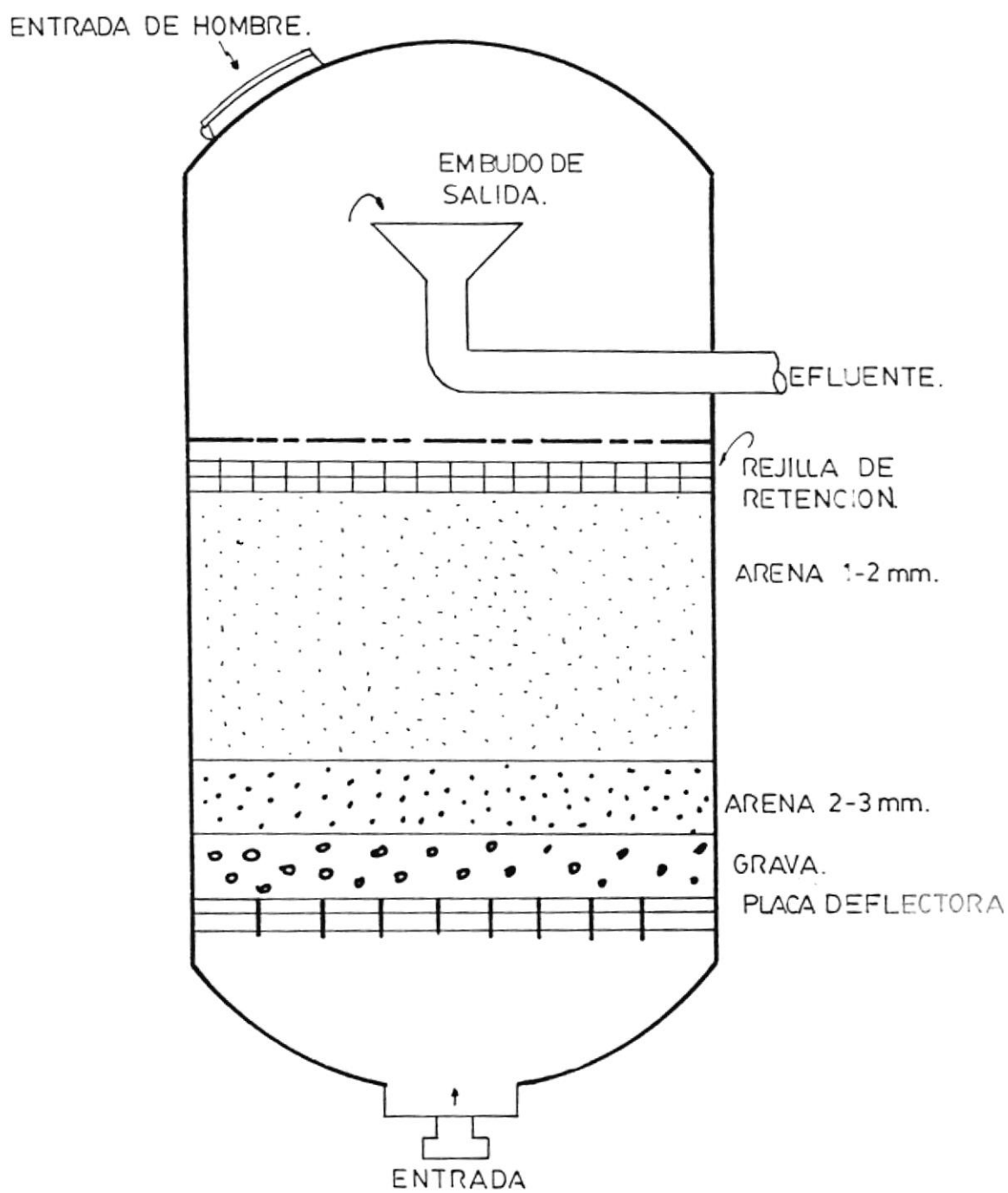


FIG. (4.4) FILTRO A PRESION ASCENDENTE.

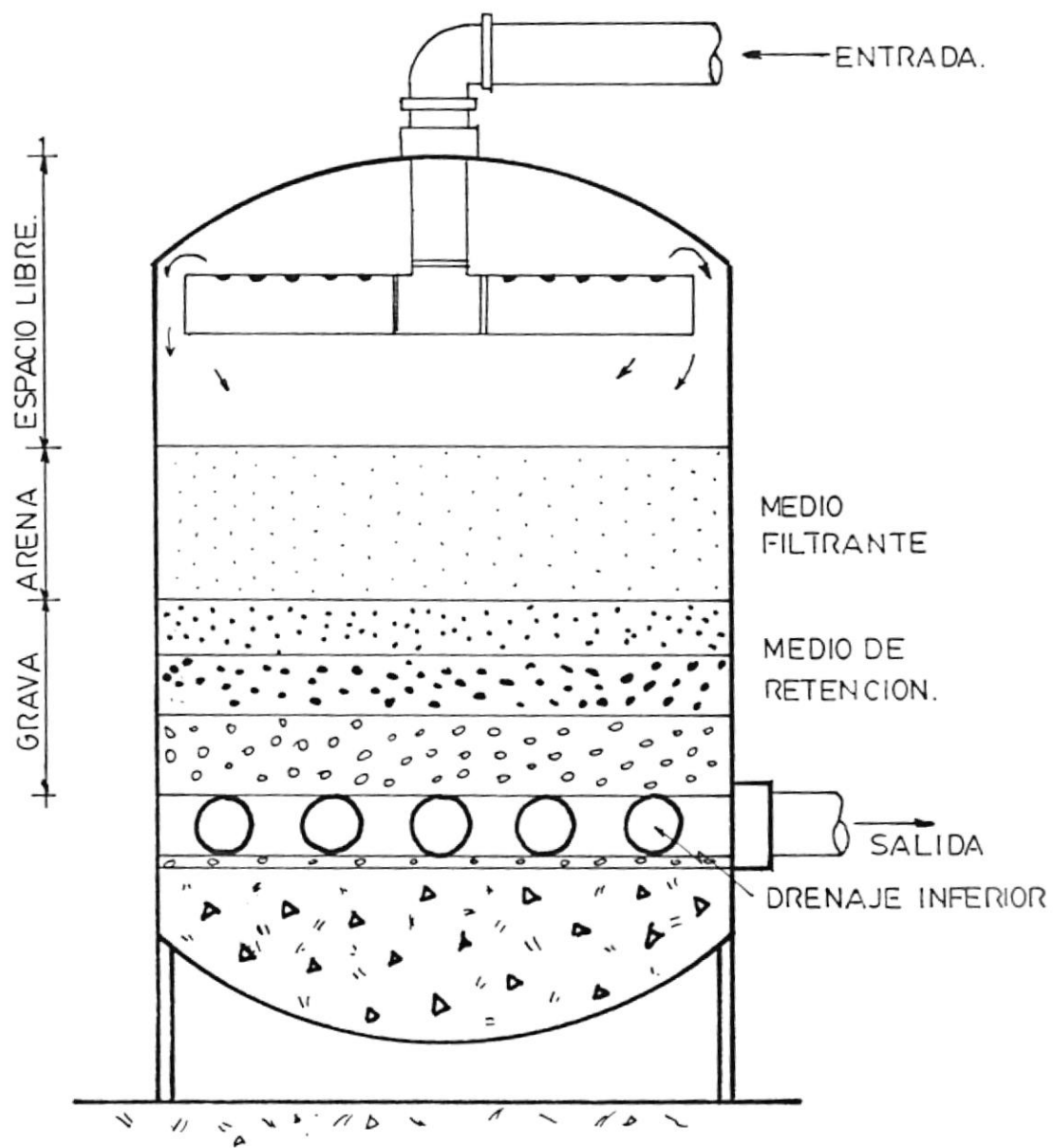


FIG.(4.5) FILTRO A PRESION TIPO DESCENDENTE.

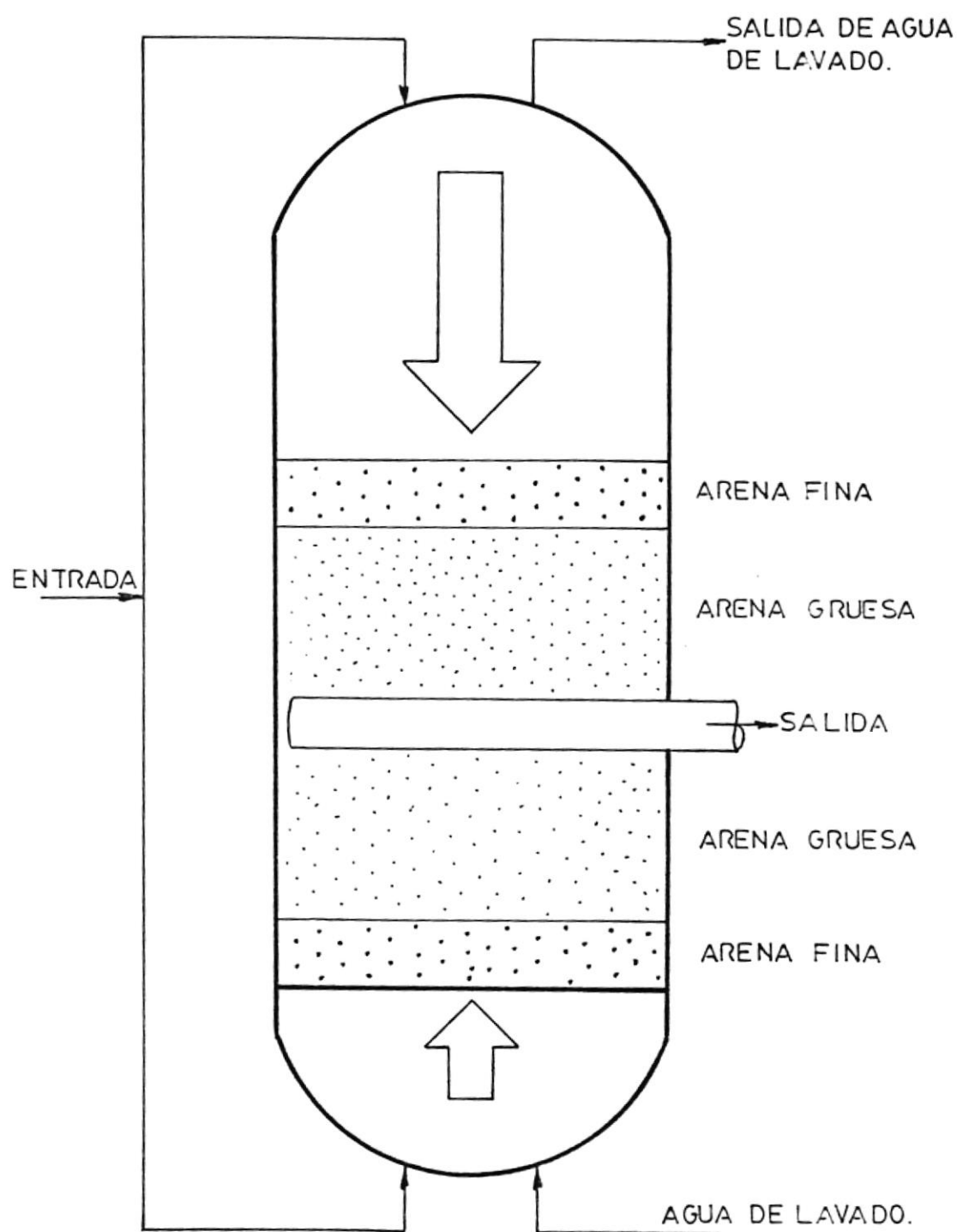
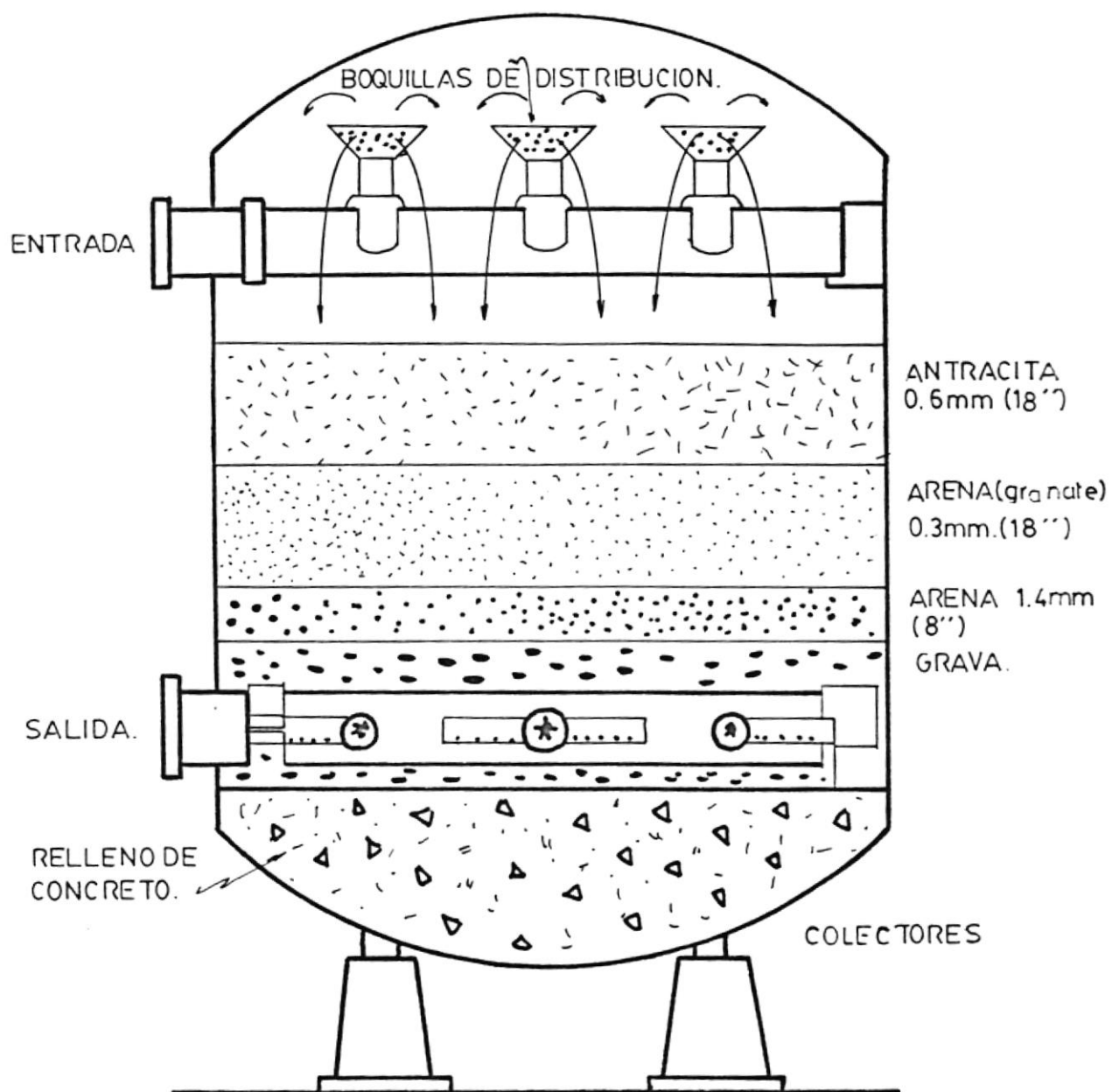


FIG.(4.6) FILTRO DE FLUJO MIXTO (DUAL FLOW.)



FIG(4.7) FILTRO DESCENDENTE (MULTIMEDIA FILTER)

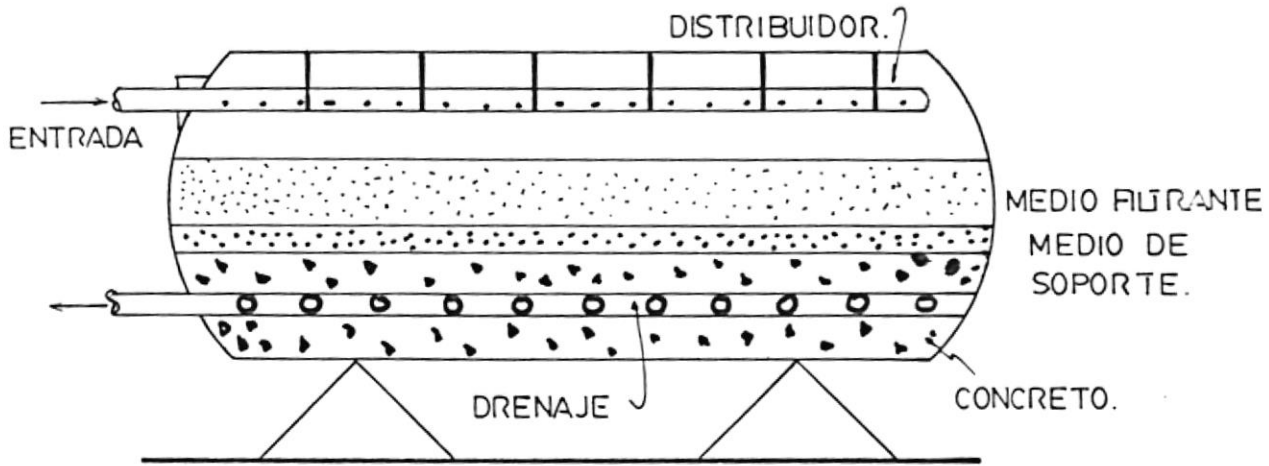


FIG.(4.8) ESQUEMA DE UN FILTRO A PRESION DESCENDENTE TIPO HORIZONTAL.

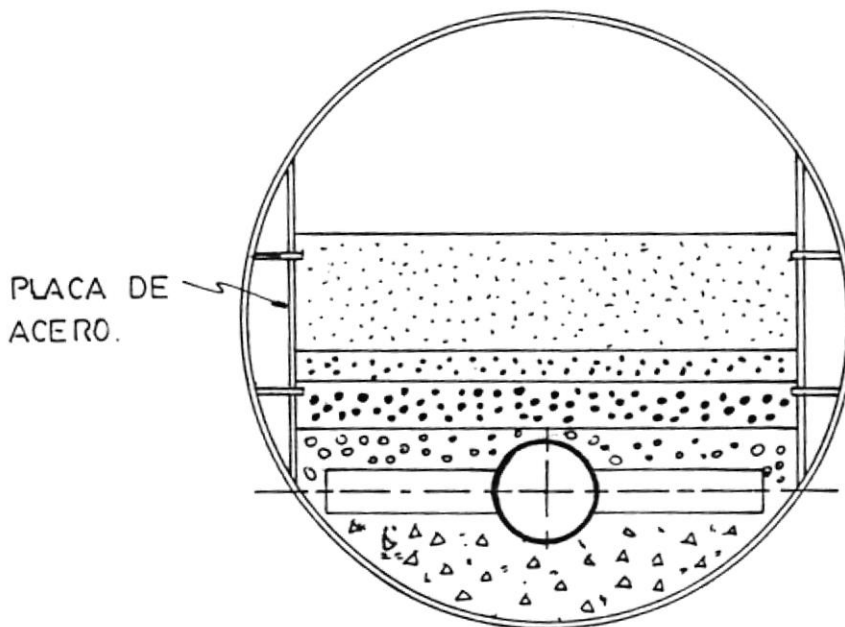


FIG.(4.9) DISEÑO PARA CONVERSION DE FILTROS HORIZONTALES EN UNIDADES TIPO VERTICAL MEDIANTE PLACAS VERTICALES DE ACERO.

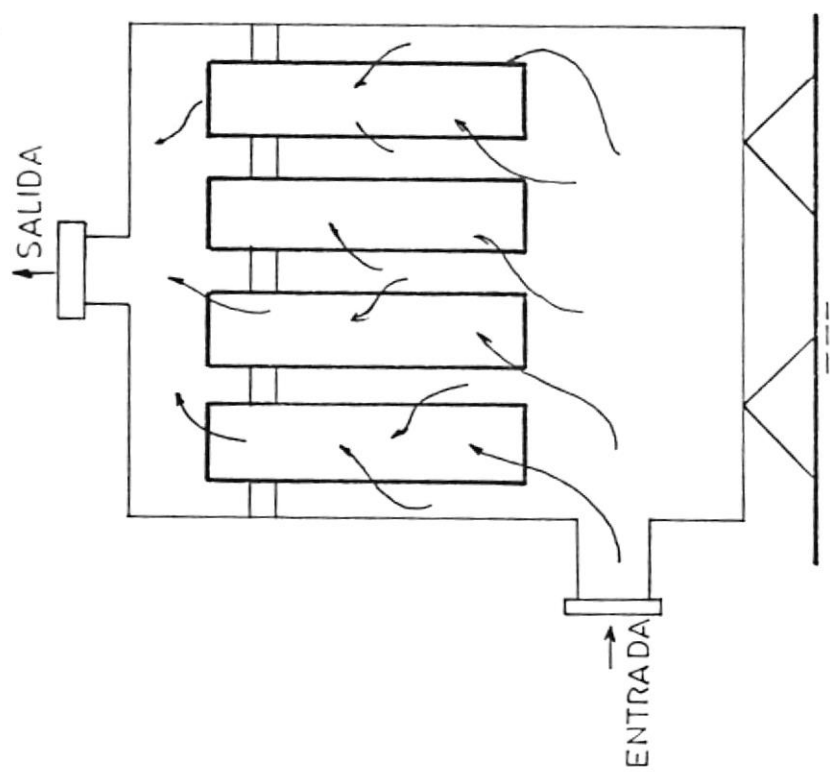


FIG.(4.10) FILTRO DE TIERRAS DE DIATOMACEAS .

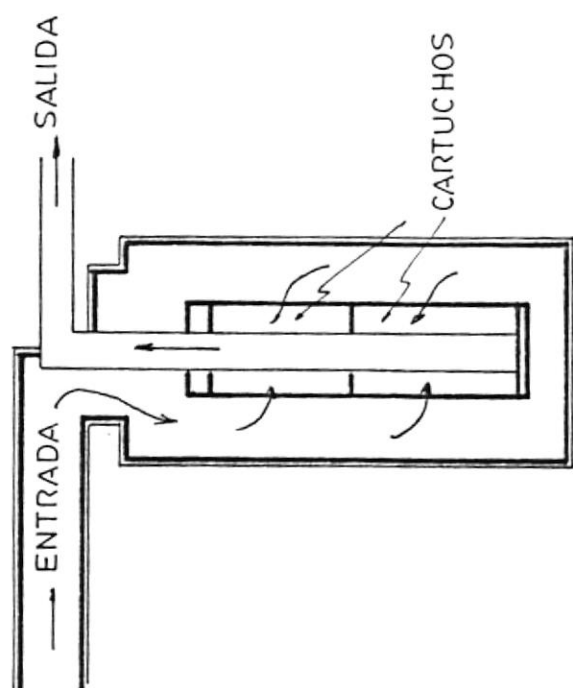


FIG.(4.12) FILTRO TIPO CARTUCHO .

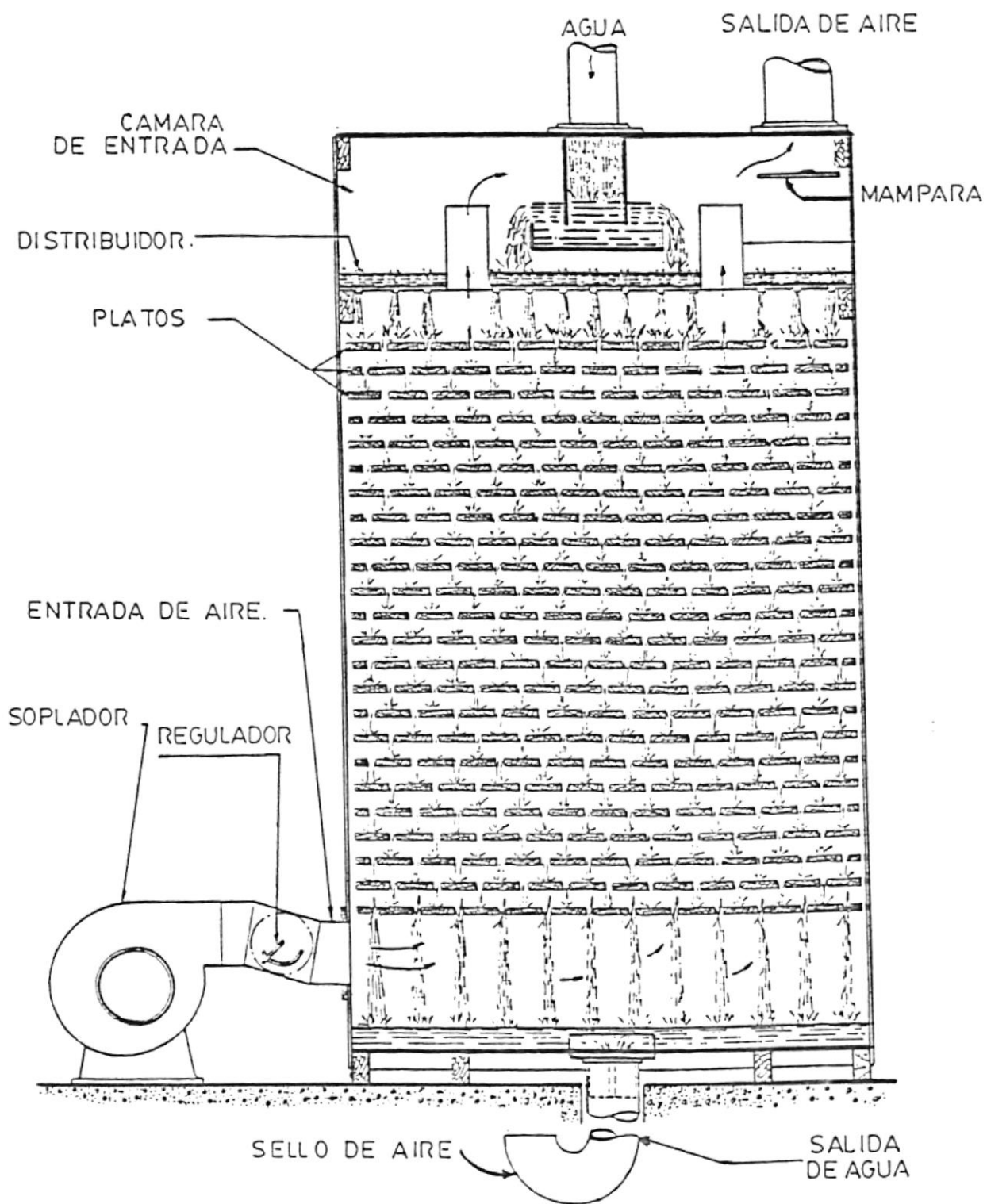


FIG.(4.13) AERADOR DE GRAVEDAD.

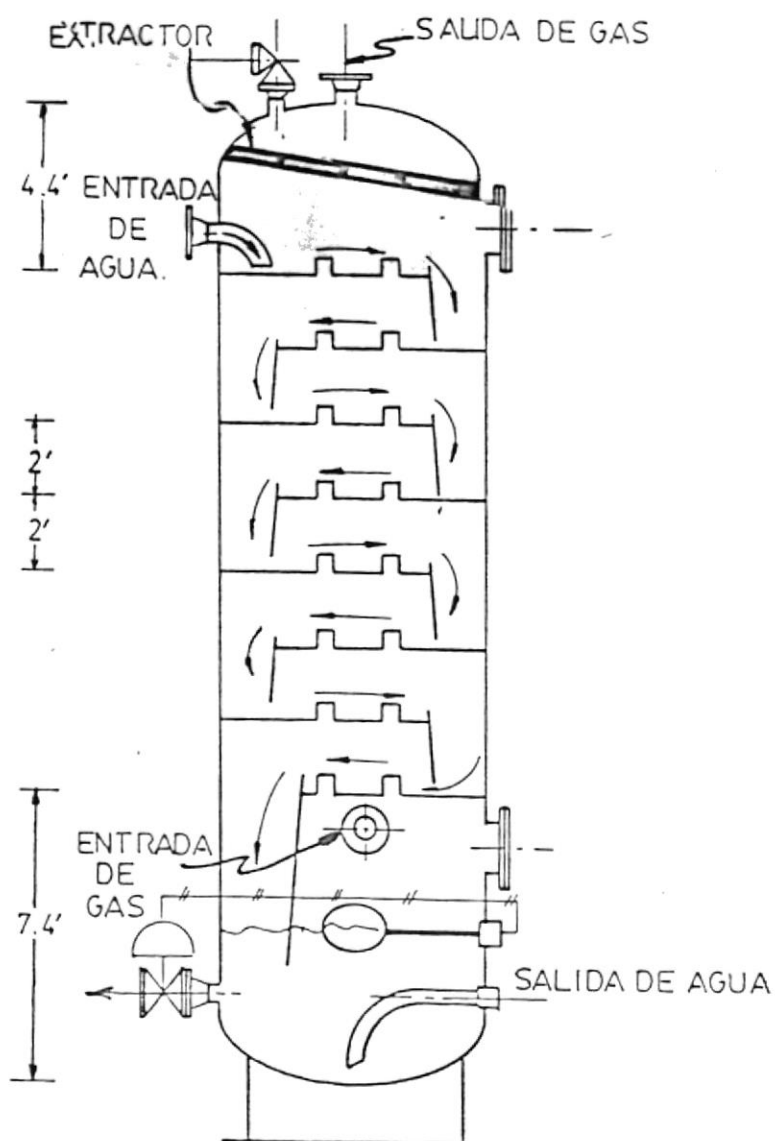


FIG.(4.14) DEAERADOR DE GAS A CONTRACORRIENTE .

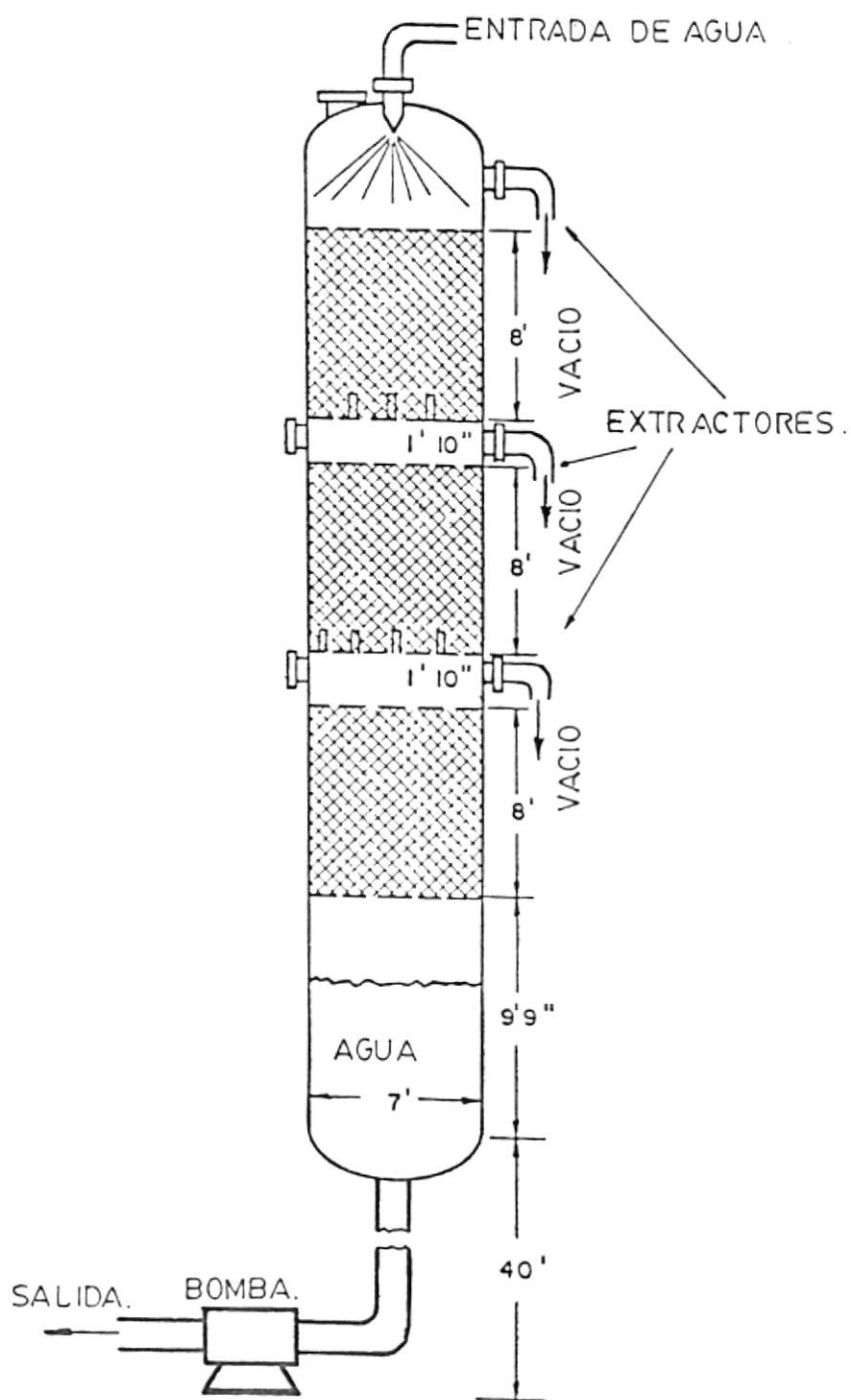


FIG.(415) DEAERADOR A VACIO SIN GAS SECUESTRANTE.

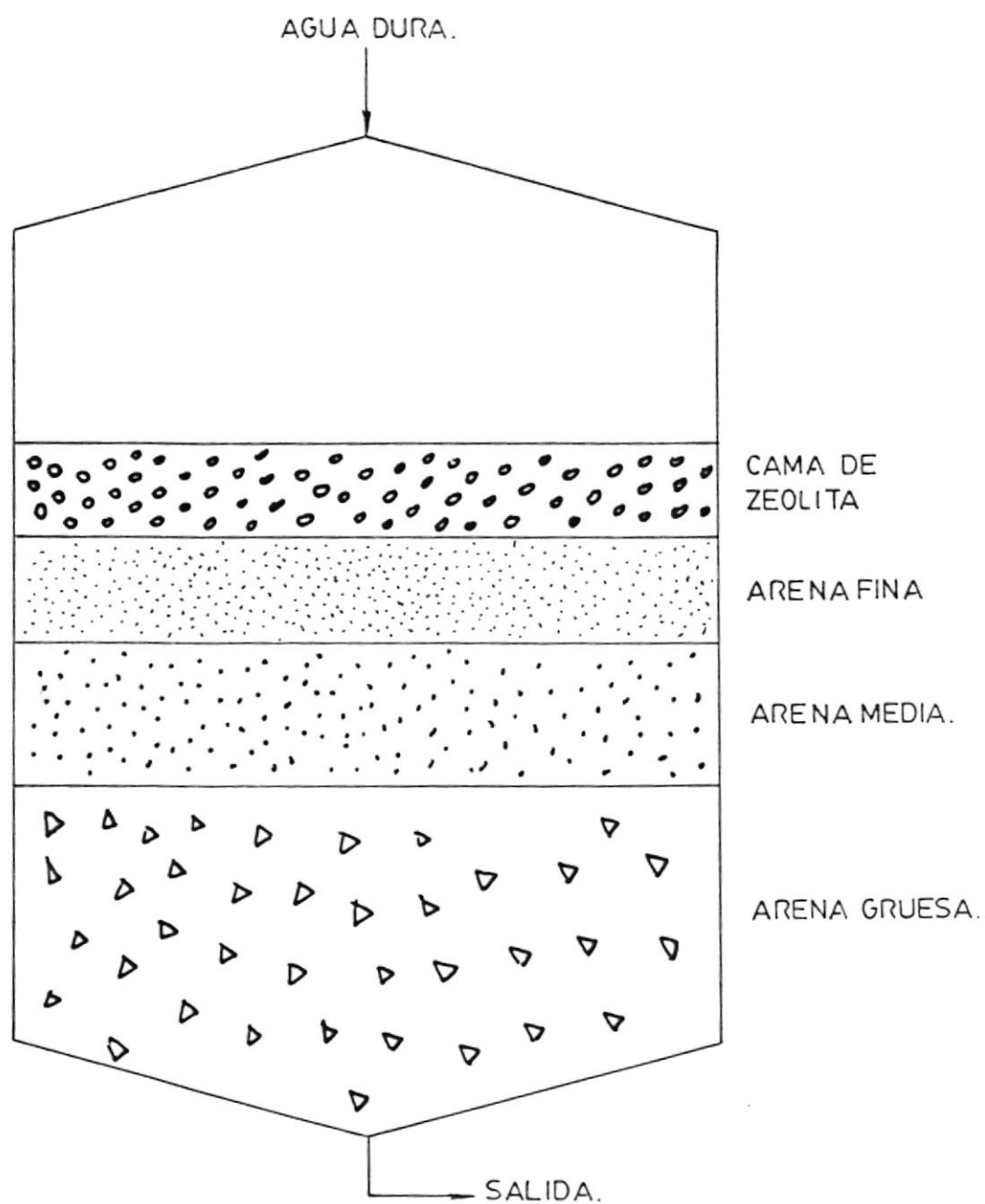


FIG.(4.16) ESQUEMA DE UN ABLANDADOR DE AGUA .

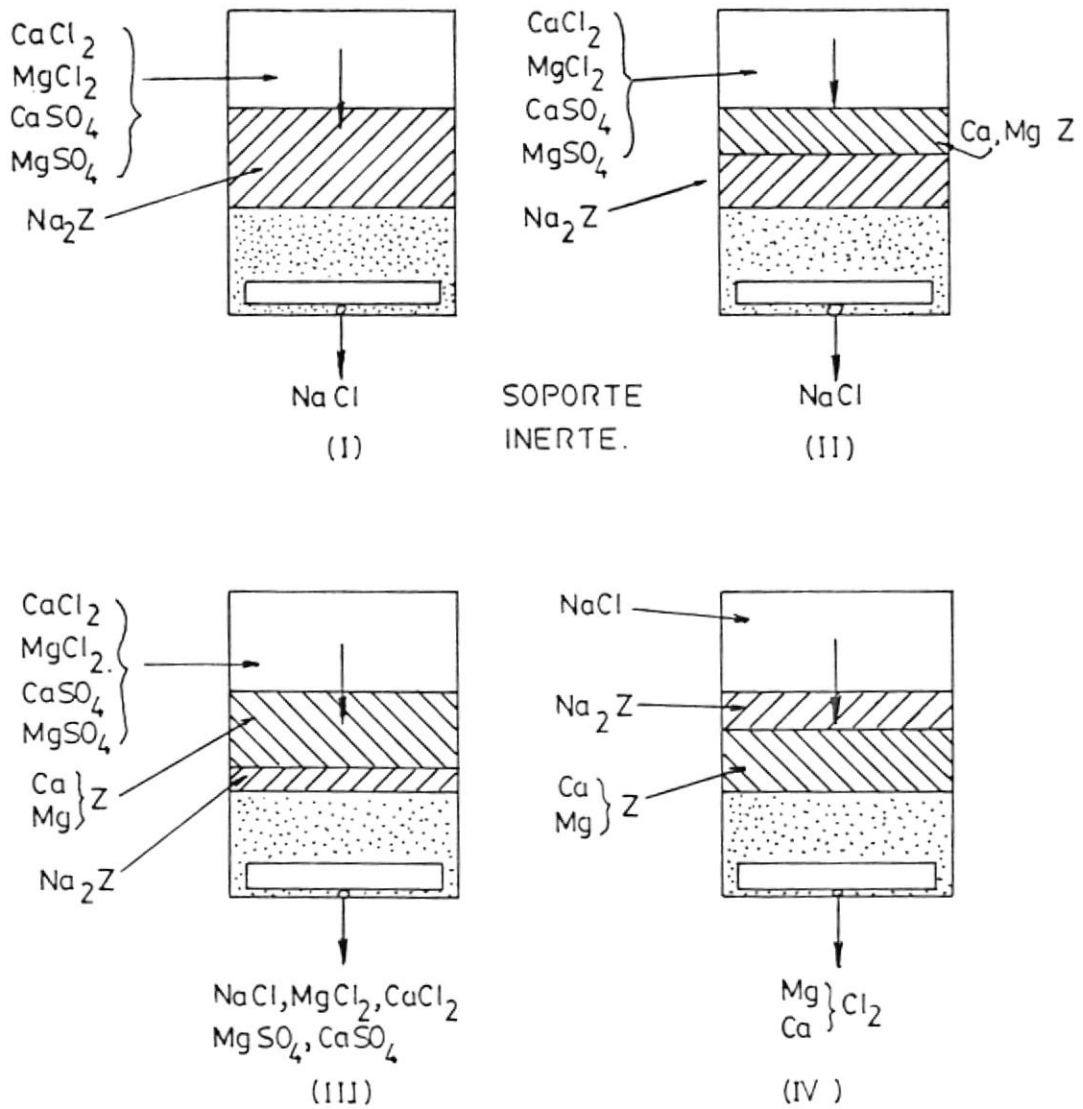


FIG.(4.17) REPRESENTACION GRAFICA DEL PROCESO DE ACTUACION Y REGENERACION DE LA ZEOLITA.

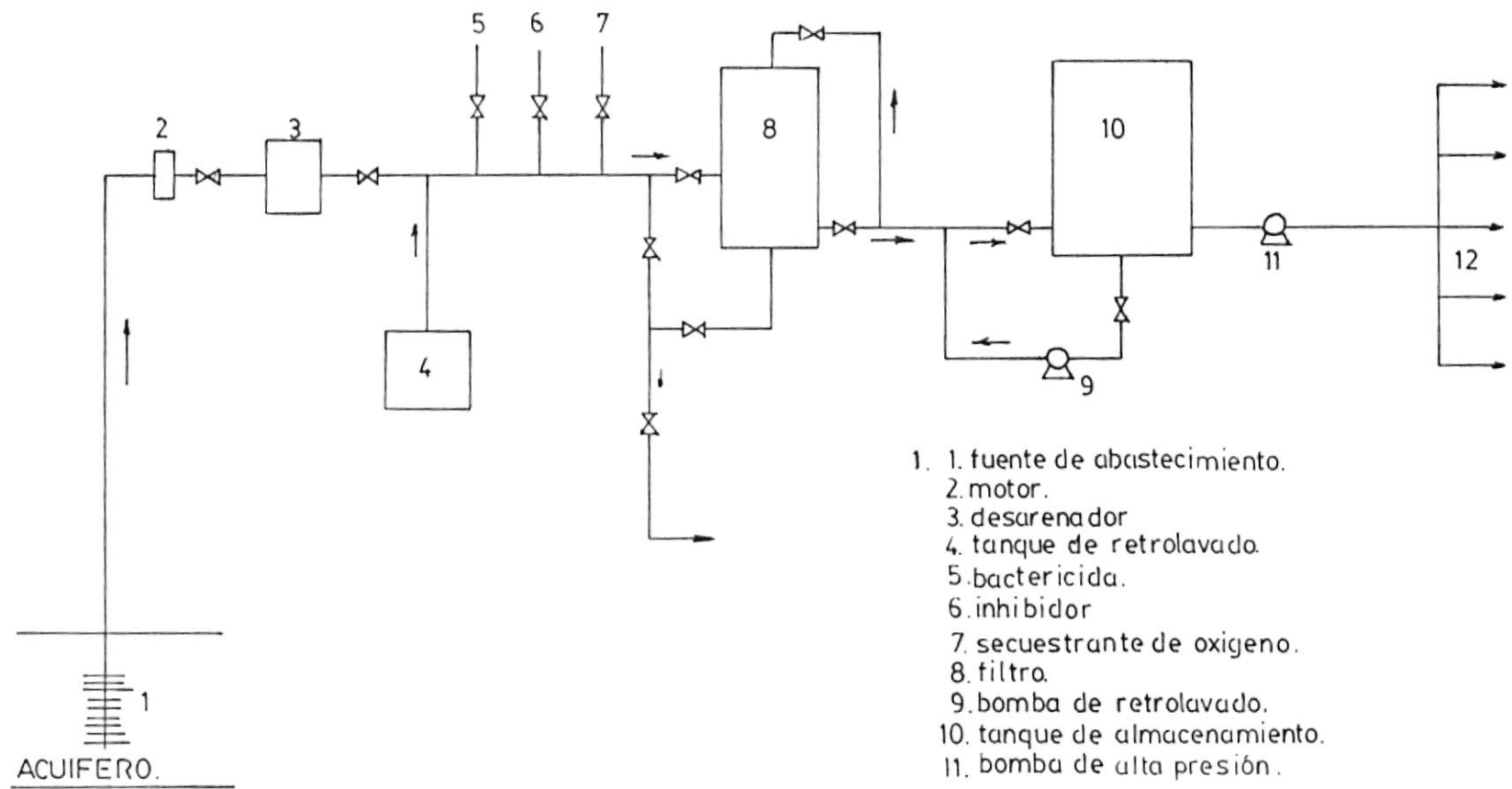
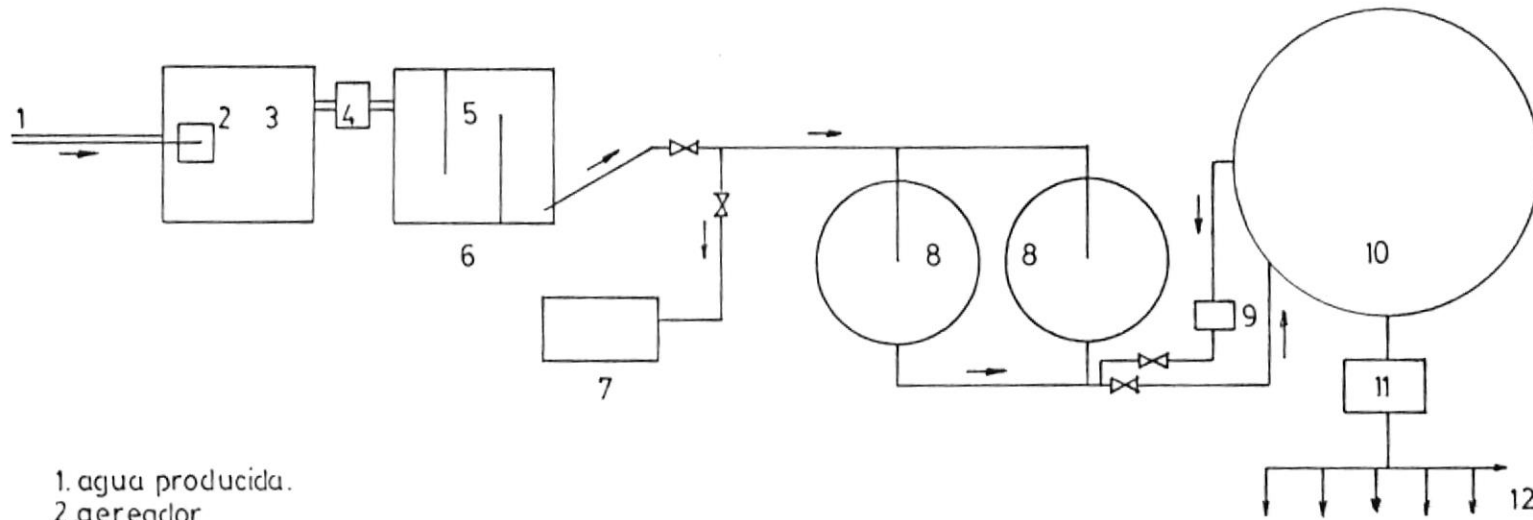
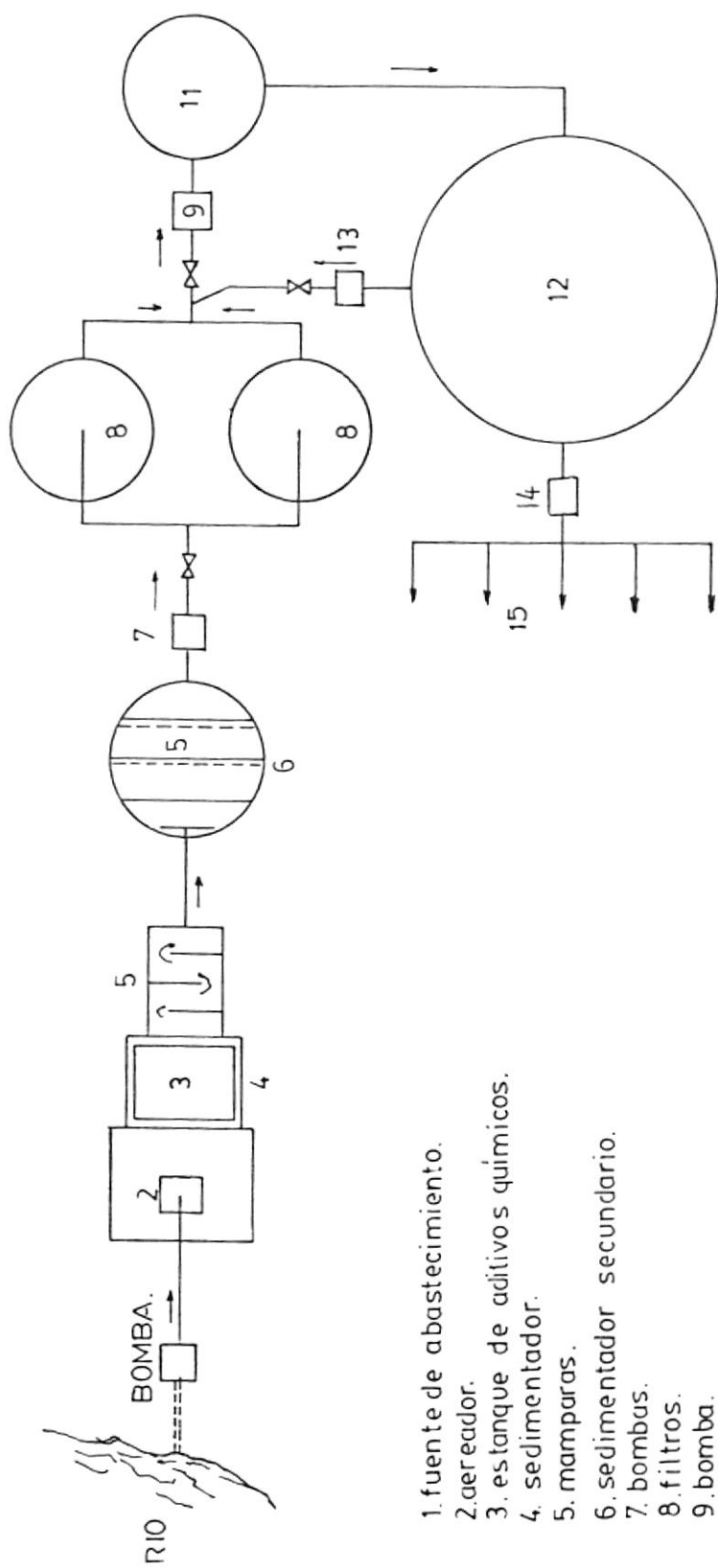


FIG. (5.1) DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA CERRADO



1. agua producida.
2. aerador
3. estanque abastecedor.
4. alimentador de aditivos químicos.
5. mamparas
6. estanque de sedimentación.
7. estanque de retrolavado.
8. filtros.
9. bomba de retrolavado.
10. tanque de agua tratada
11. bomba de inyección.
12. red de distribución a pozos inyector.

FIG.(5.2) DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA ABIERTO.



1. fuente de abastecimiento.
2. aerador.
3. estanque de aditivos químicos.
4. sedimentador.
5. mamparas.
6. sedimentador secundario.
7. bombas.
8. filtros.
9. bomba.
10. a desagüe.
11. deaerador.
12. tanque de almacenamiento.
13. bomba de retrolavado.
14. bomba de alta presión.
15. red de distribución a pozos inyector.

FIG.(5.3) DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA SEMICERRADO.

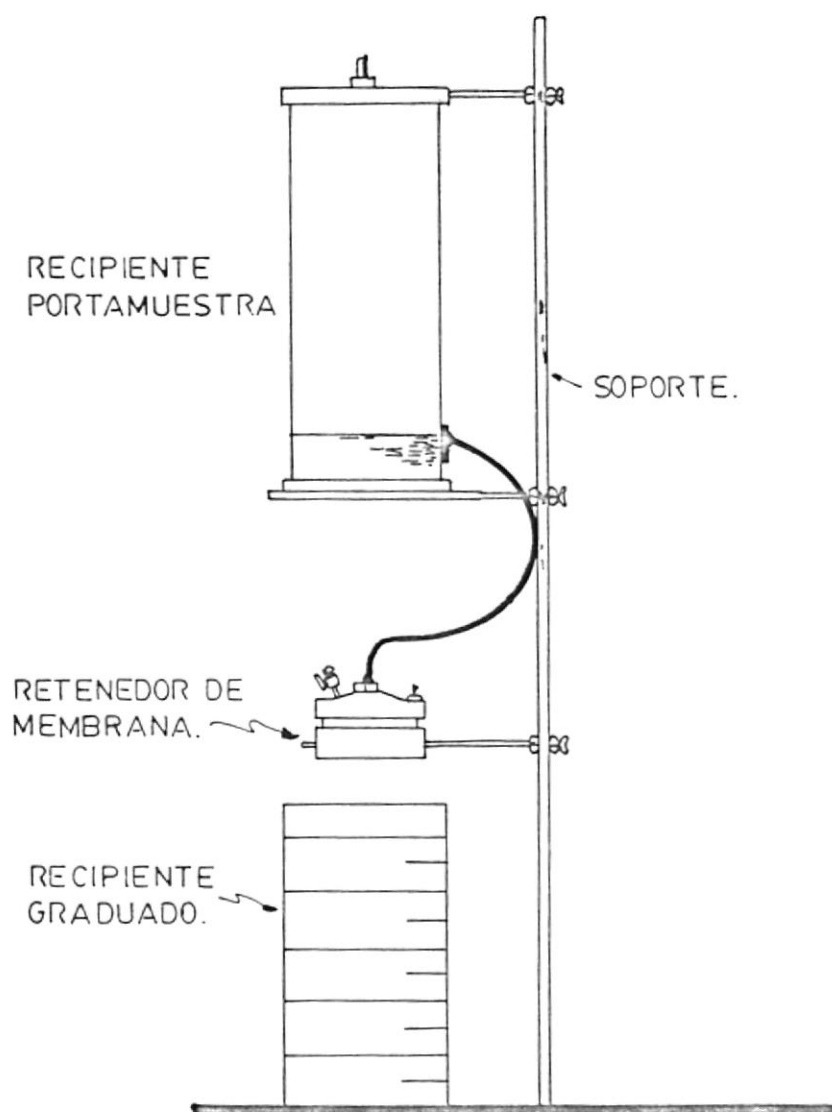
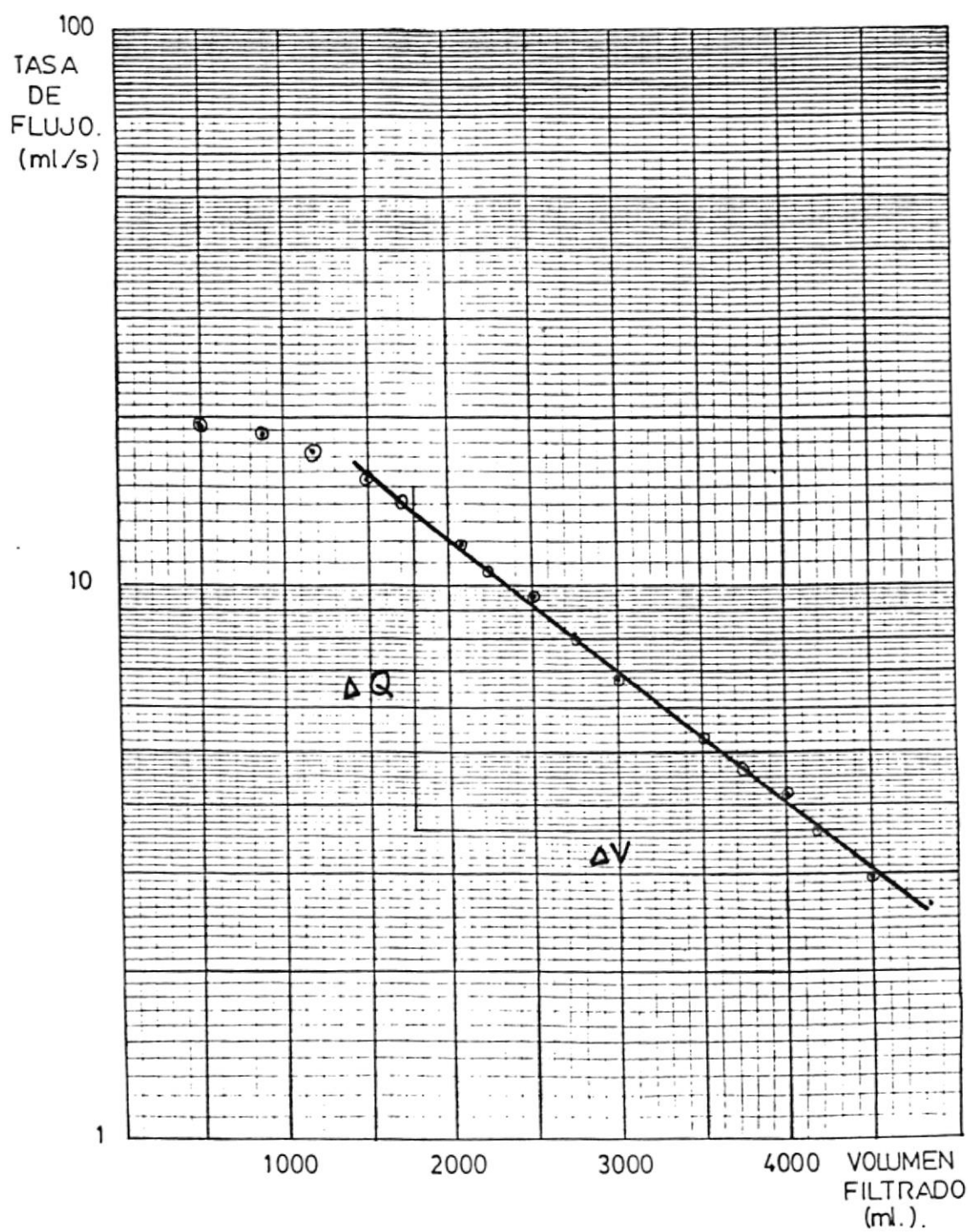
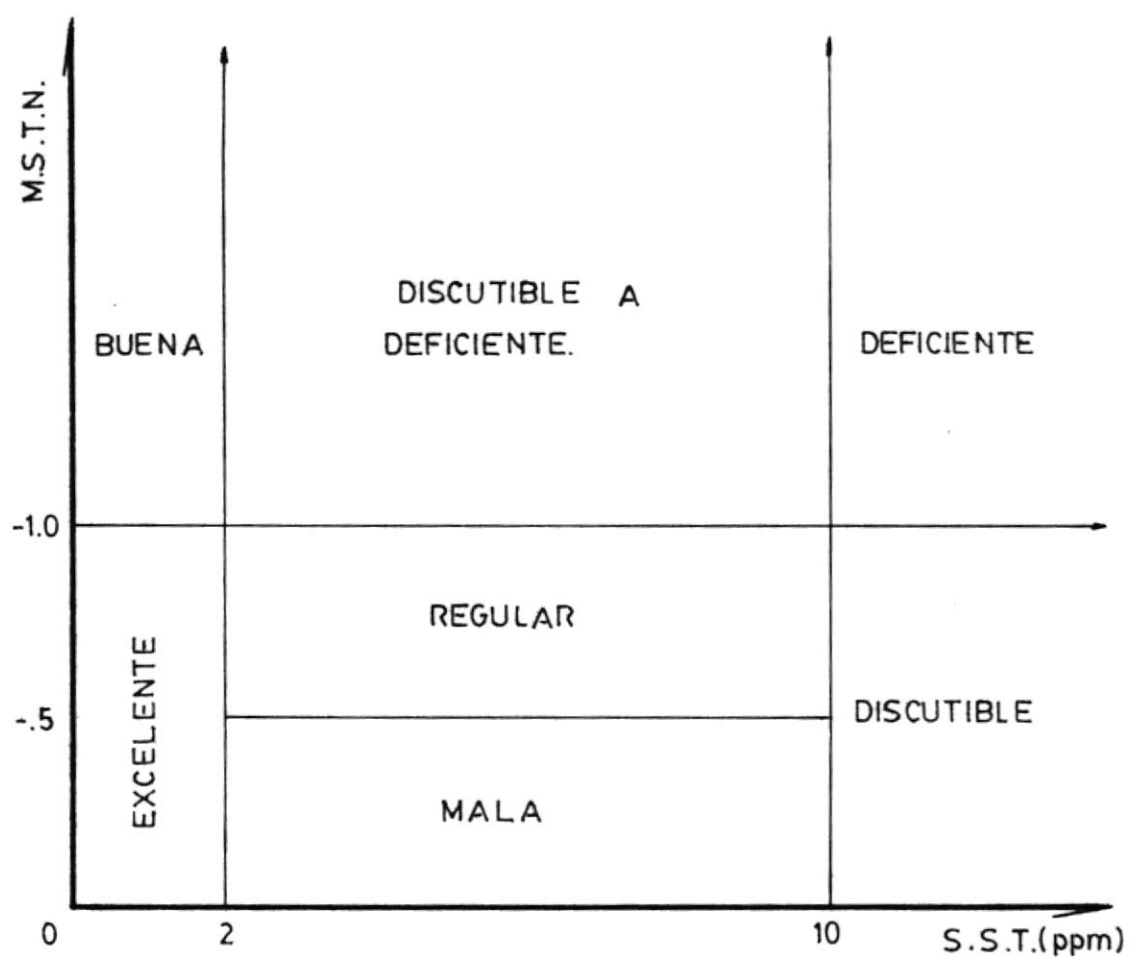


FIG. (6.1) EQUIPO PARA PRUEBAS DE FILTROS DE MEMBRANA.



FIG(6.2) GRAFICO DE FLUJO VS.VOLUMEN ACUMULATIVO PARA DETERMINAR EL M.S.T.N.



$$I.P.R. = S.S.T. - M.S.T.N.$$

<u>IPR</u>	<u>CLASIFICACION GENERAL DE CALIDAD.</u>
<3	EXCELENTE.
3-10	BUENA - REGULAR.
10-13	DISCUTIBLE.
>13	DEFICIENTE.

FIG.(6.3) CARTA DE CLASIFICACION DEL AGUA DE INYECCION.(3)

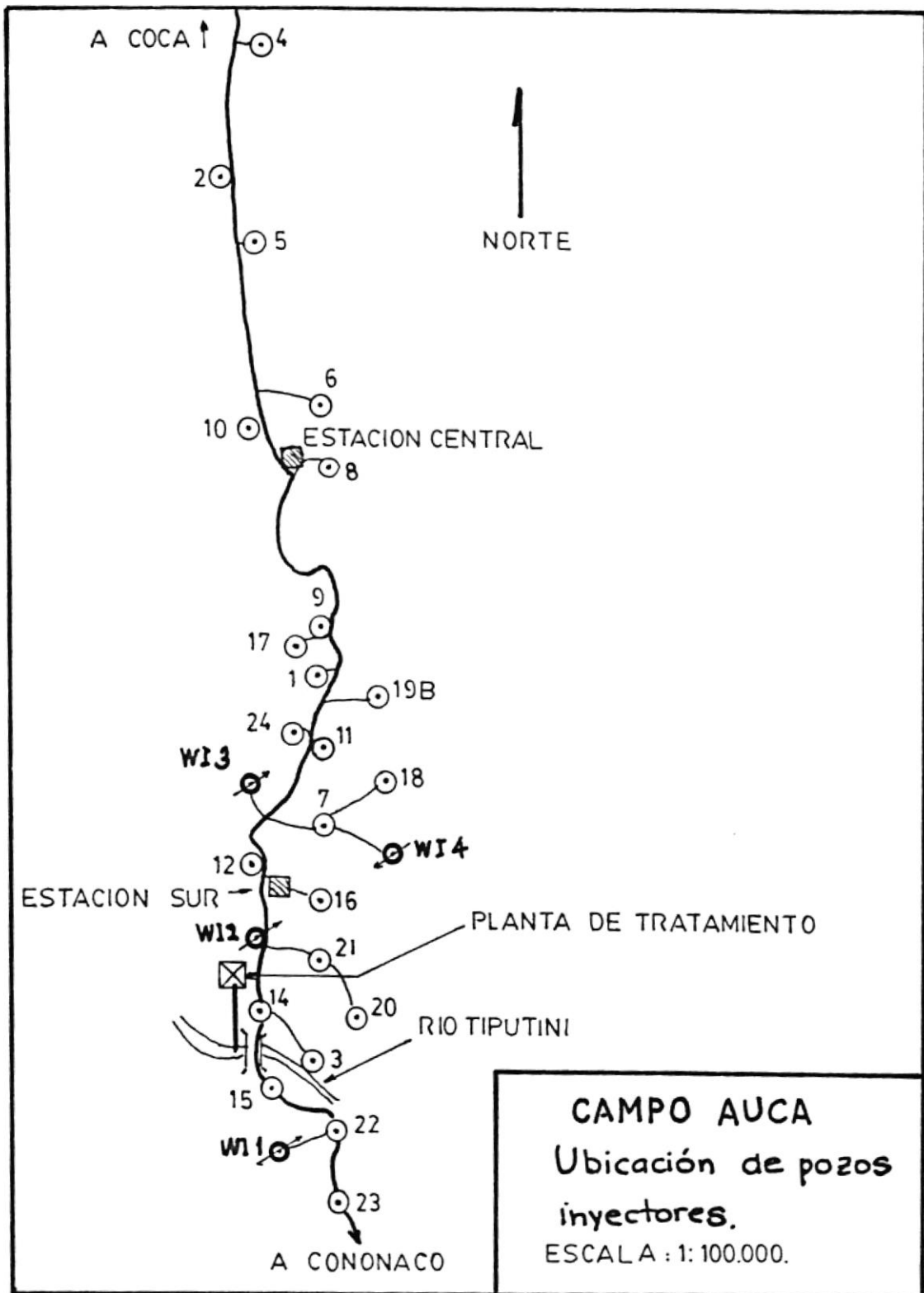


FIG.(7.2) MAPA DE UBICACION DE POZOS INYECTORES.



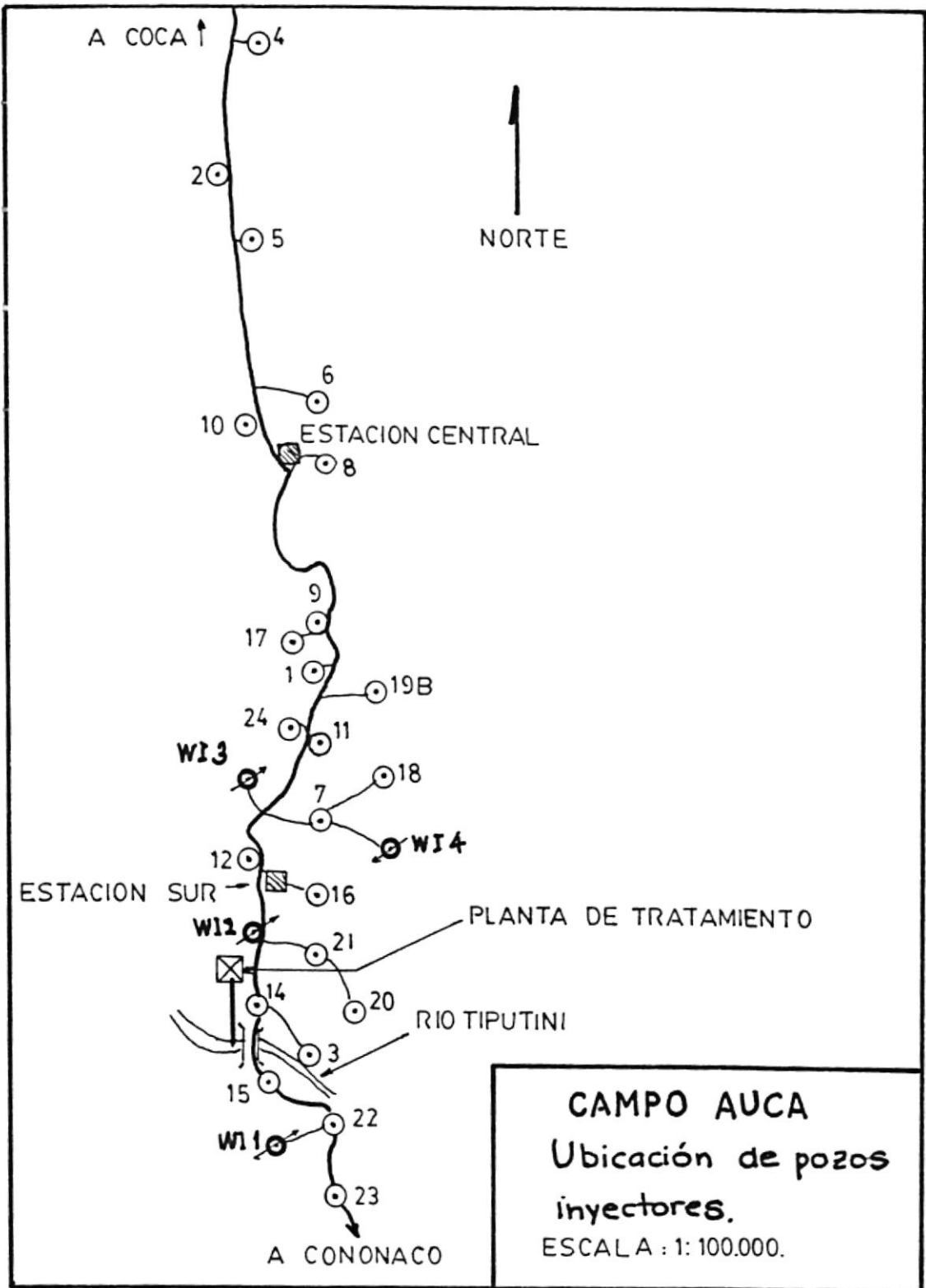


FIG.(7.2) MAPA DE UBICACION DE POZOS INYECTORES.

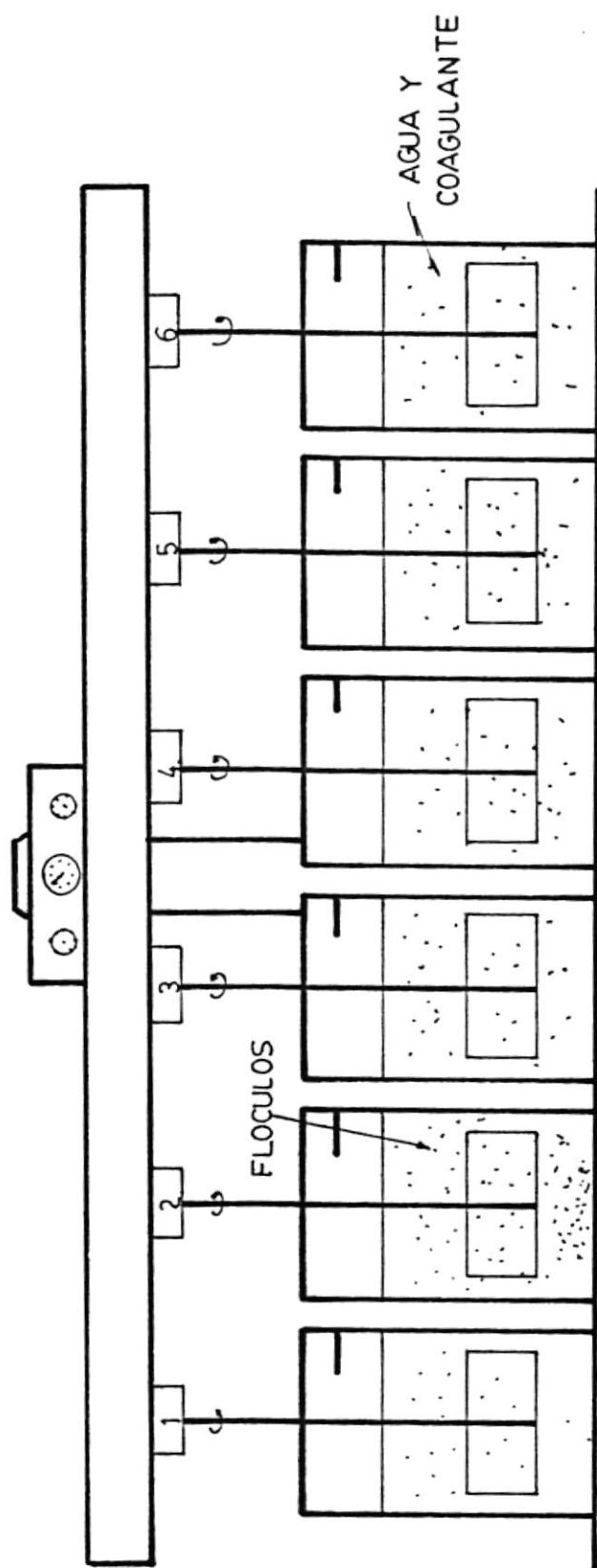


FIG.(7.3) AGITADOR DE LABORATORIO PARA PRUEBA DE JARRAS.

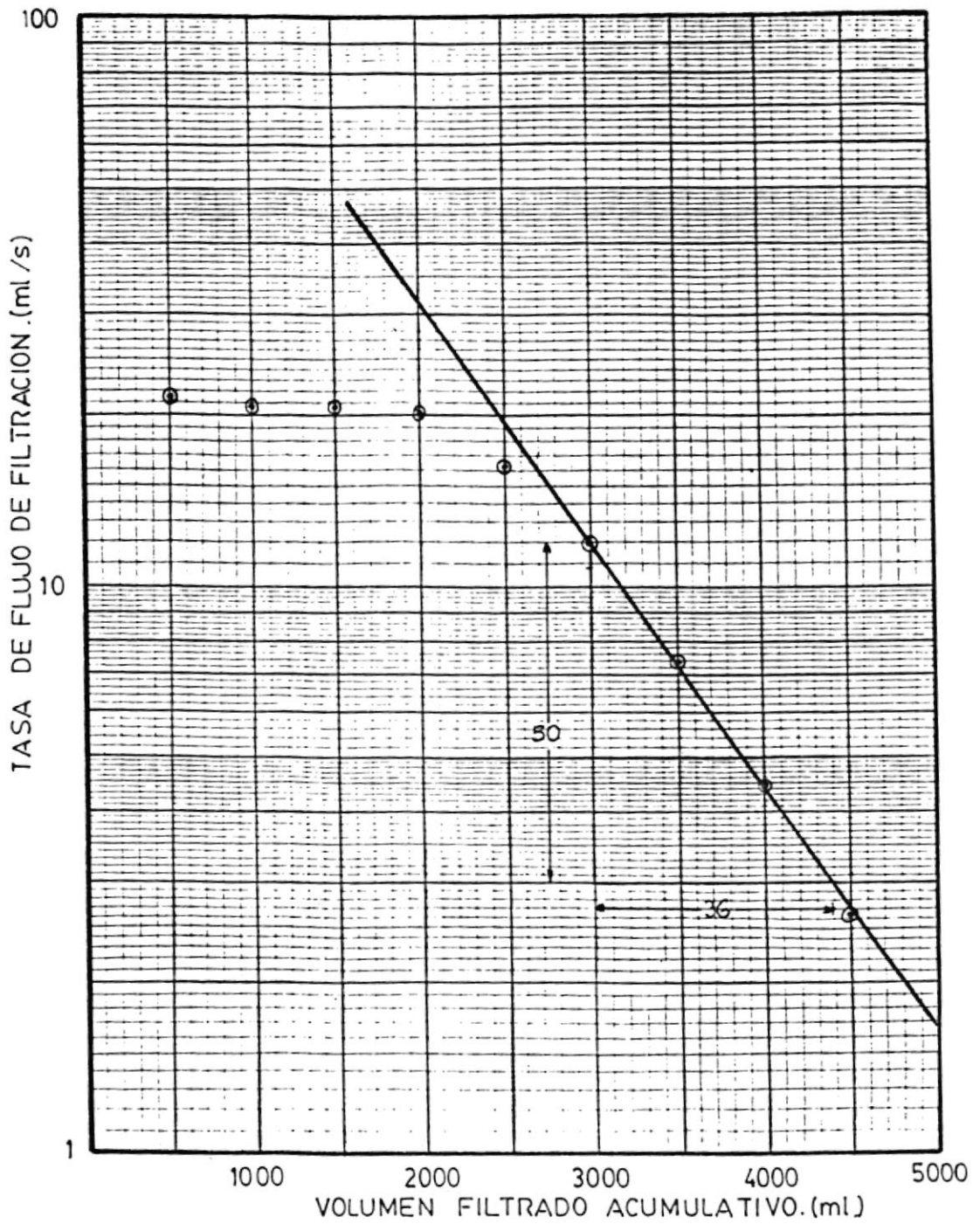


FIG.(7.4) PRUEBA DE FILTRACION EN MEMBRANA DE 0.45μ
MUESTRA DE AGUA DEL RIO TIPUTINI.

1. BOMBA.
2. ENSANCHAMIENTO 4×6"
3. VALVULA CHECK
4. VALVULA DE CONTROL.
5. ENSANCHAMIENTO 6×8"

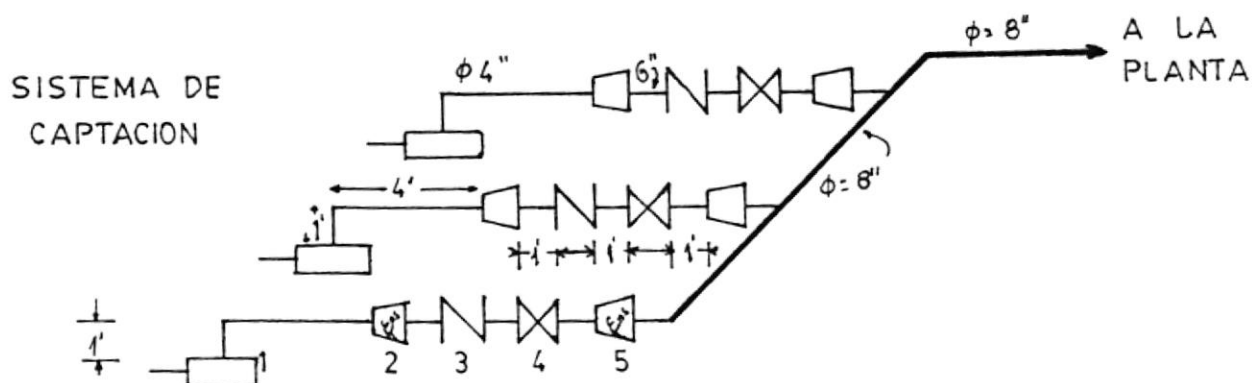


FIG.(7.5) CONFIGURACION DEL SISTEMA DE DESCARGA.

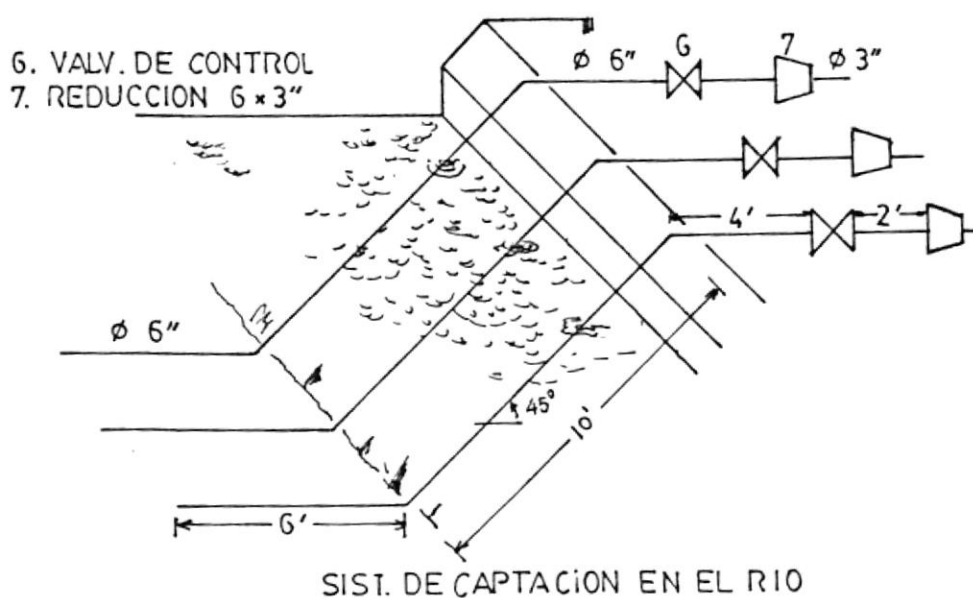


FIG. (7.9) CONFIGURACION DEL SISTEMA DE SUCCION.

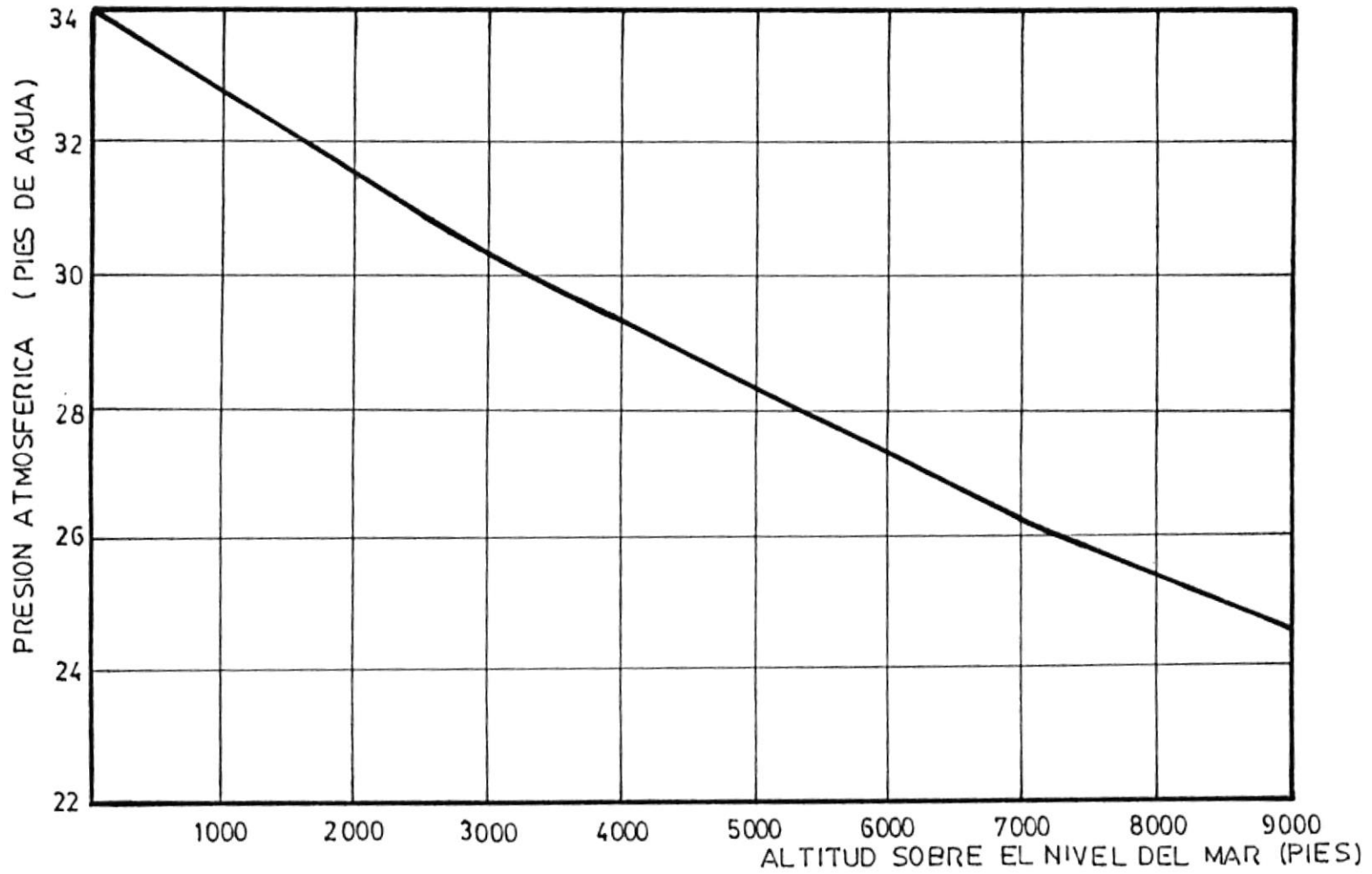


FIG.(7.7) GRAFICO: PRESION ATMOSFERICA VS. ALTITUD,

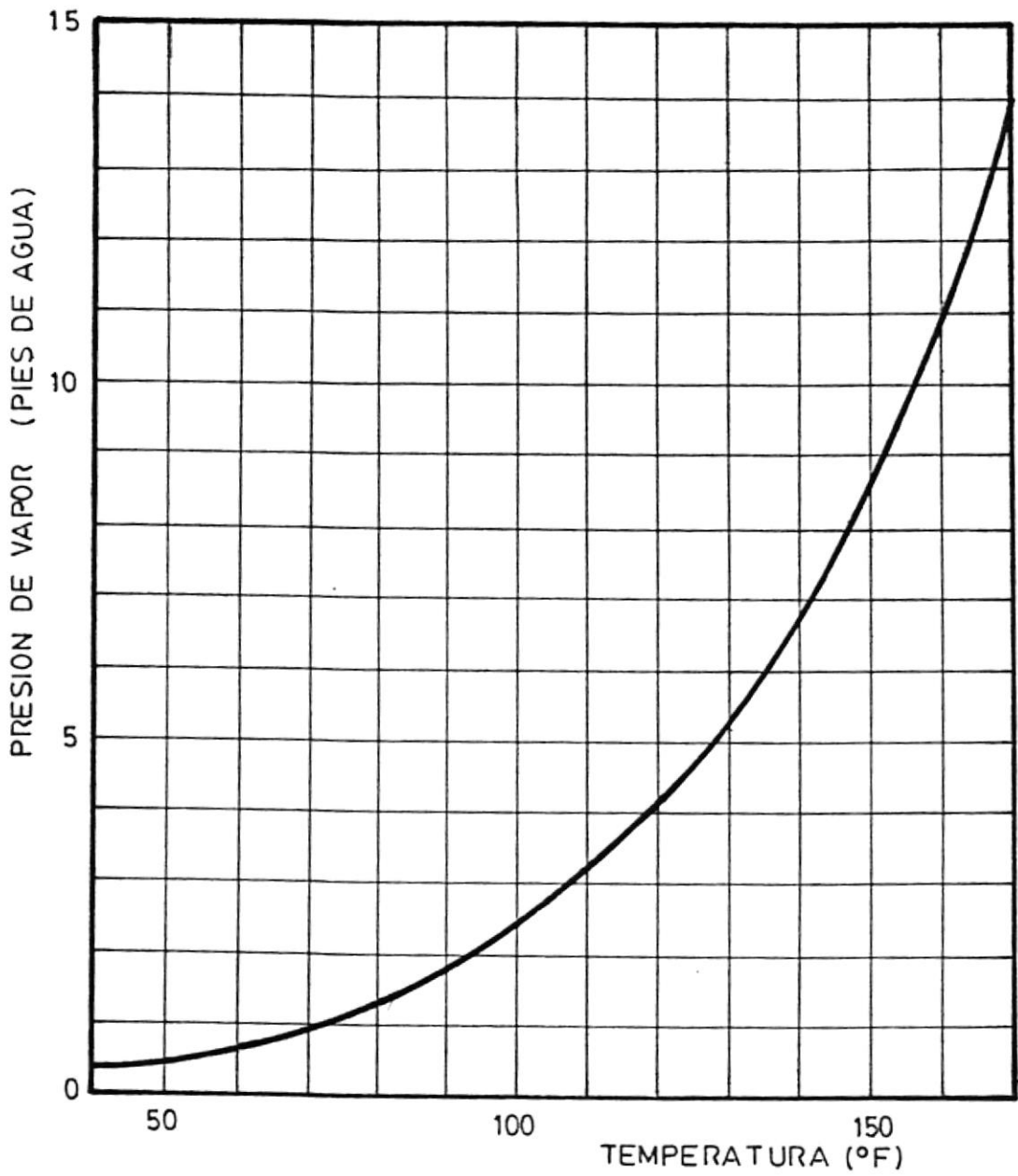


FIG. (7.8) GRAFICO : PRESION DE VAPOR DE AGUA VS. TEMPERATURA.

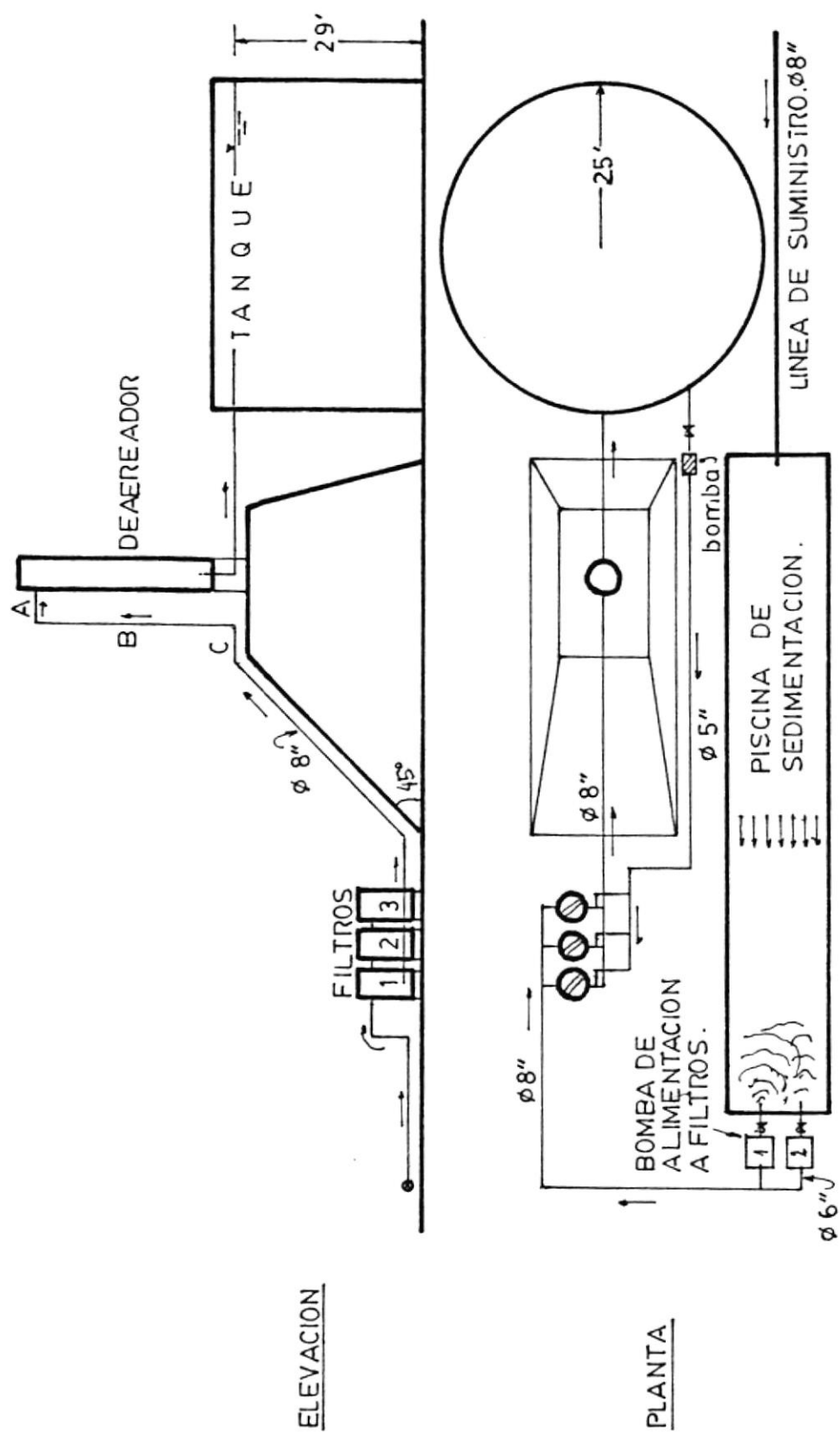


FIG.(7.10.) DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA .

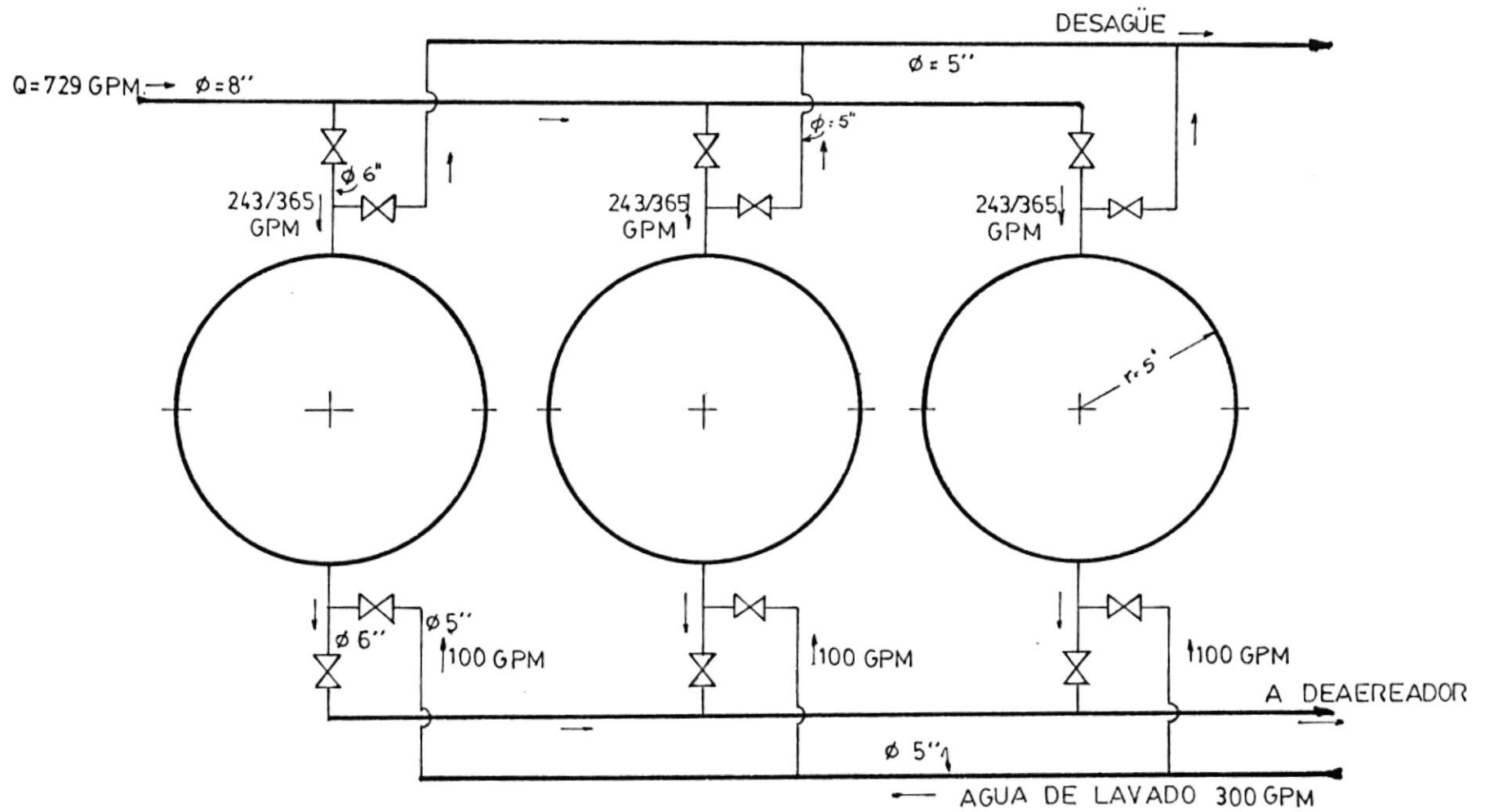


FIG. (7.11) ESQUEMA DE PLANTA DEL SISTEMA DE FILTROS.

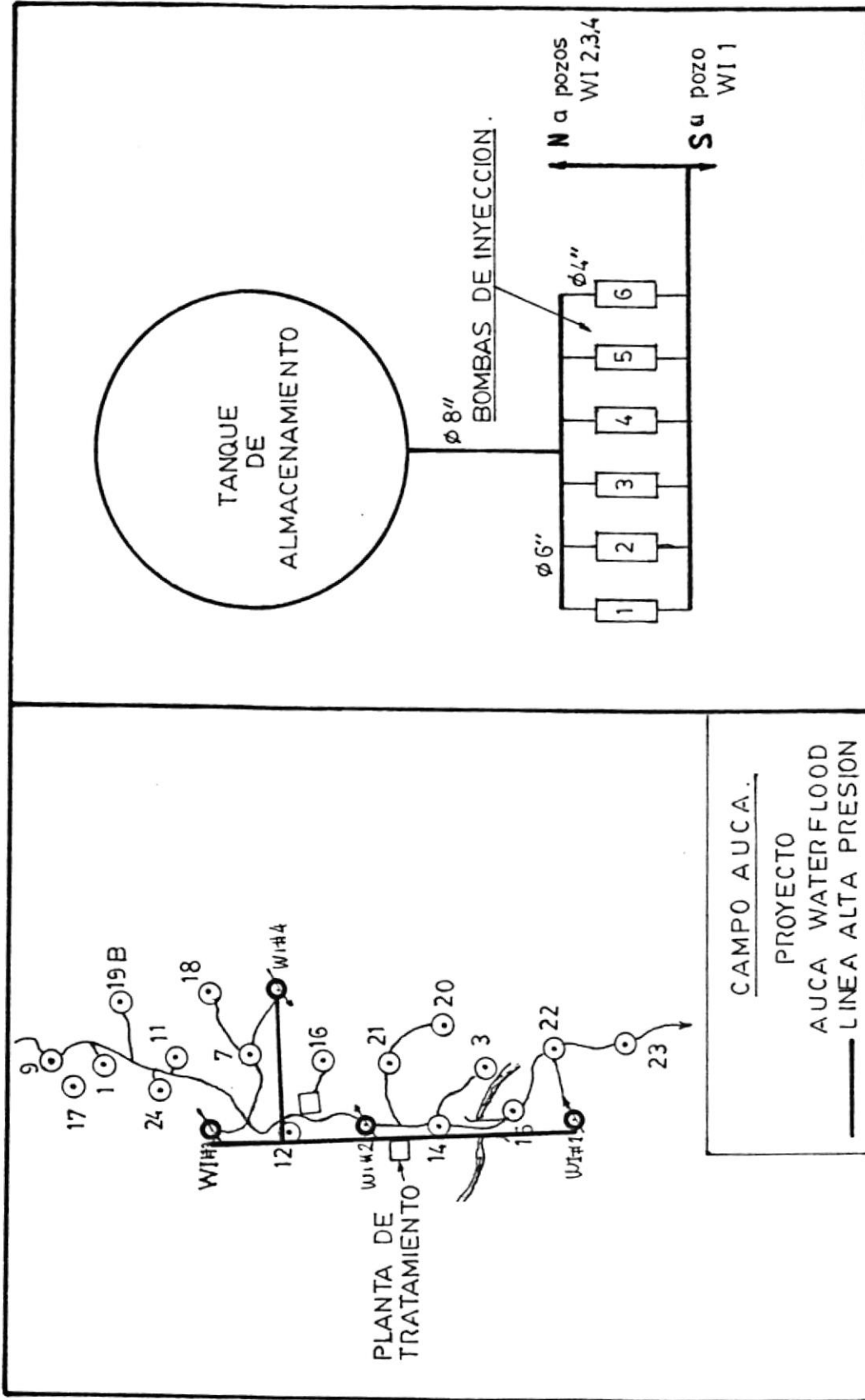


FIG. (7.13) CONFIGURACION DE SISTEMA DE BOMBAS DE INYECCION.

FIG. (7.12) CONFIGURACION DE LINEA DE ALTA PRESION.

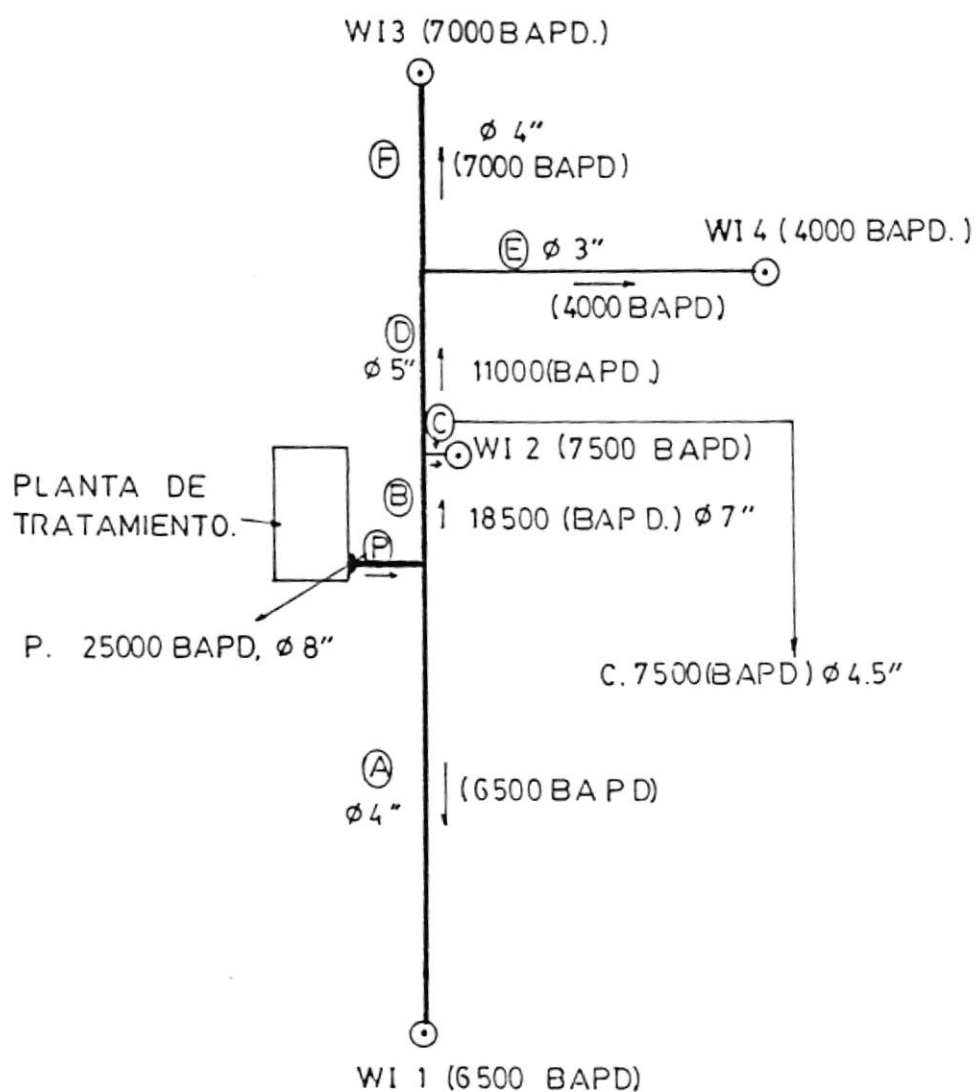


FIG.(7.14) CAPACIDAD DE LA RED DE DISTRIBUCION A LOS POZOS INYECTORES.

T A B L A S

TABLA I

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 05.09.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.00 gr/cc.	TURBIDEZ:	19.0 NTU.
pH:	7.16	COLOR:	16.0 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	18.00 μ MHO.	TEMPERATURA:	26.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	22.86	ALCALINIDAD TOTAL:	29.52
SOLIDOS DISUELTOS:	12.06	ALC. A LA FENOLFT:	0.00
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	10.80	ALC. BICARBONATOS:	29.52
DUREZA TOTAL:	19.00	ALC. CARBONATOS:	0.00
DUREZA DEL CALCIO:	11.50	ALC. HIDROXIDOS:	0.00
DUREZA DEL MAGNESIO:	7.50		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	0.00
BIOXIDO DE CARBONO:	0.00
OXIGENO:	10.00

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	4.60	SULFITOS:	0.05
MAGNESIO:	1.80	NITRATOS:	0.37
HIERRO:	0.16	NITRITOS:	0.25
SODIO:	0.53	CLORUROS:	3.71
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	0.17

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	100
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	-

pH de SATURACION: 9.27

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -2.11

COMENTARIOS: Agua corrosiva.



TABLA II

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 17.09.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.00 gr/cc.	TURBIDEZ:	11.4 NTU.
pH:	7.25	COLOR:	19.0 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	17.00 μ MHO.	TEMPERATURA:	25.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	22.4	ALCALINIDAD TOTAL:	19.0
SOLIDOS DISUELTOS:	11.4	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	11.0	ALC. BICARBONATOS:	19.0
DUREZA TOTAL:	16.0	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	13.0	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	3.0		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	0.0
BIOXIDO DE CARBONO:	0.0
OXIGENO:	8.0

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	5.20	SULFITOS:	0.0
MAGNESIO:	0.73	NITRATOS:	0.0
HIERRO:	0.05	NITRITOS:	0.0
SODIO:	3.20	CLORUROS:	2.1
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	0.0

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	no reportadas.
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	no reportadas.

pH de SATURACION: 9.4

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -2.15

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA III

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 07.10.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.03 gr/cc.	TURBIDEZ:	100 NTU.
pH:	7.29	COLOR:	323 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	28.00 μ MHO.	TEMPERATURA:	28 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	161.95	ALCALINIDAD TOTAL:	22.96
SOLIDOS DISUELTOS:	18.75	ALC. A LA FENOLFT:	0.00
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	143.20	ALC. BICARBONATOS:	0.00
DUREZA TOTAL:	13.00	ALC. CARBONATOS:	22.96
DUREZA DEL CALCIO:	7.00	ALC. HIDROXIDOS:	0.00
DUREZA DEL MAGNESIO:	6.00		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	-
BIOXIDO DE CARBONO:	-
OXIGENO:	-

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	2.80	SULFITOS:	0.11
MAGNESIO:	1.44	NITRATOS:	0.90
HIERRO:	0.13	NITRITOS:	0.19
SODIO:	4.80	CLORUROS:	7.00
SULFATOS:	0.12	FOSFATOS:	1.08

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	100 - 1000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	10 - 100

pH de SATURACION: 9.42

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -2.13

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA IV

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 14.10.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.00 gr/cc.	TURBIDEZ:	17.0 NTU.
pH:	6.92	COLOR:	123.2 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	10.00 µMHO.	TEMPERATURA:	25.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	24.9	ALCALINIDAD TOTAL:	23.0
SOLIDOS DISUELTOS:	6.7	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	18.2	ALC. BICARBONATOS:	23.0
DUREZA TOTAL:	11.0	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	8.0	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	3.0		

BASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	0.0
BIOXIDO DE CARBONO:	0.0
OXIGENO:	8.0

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	3.20	SULFITOS:	0.20
MAGNESIO:	0.73	NITRATOS:	0.15
HIERRO:	0.16	NITRITOS:	0.28
SODIO:	1.80	CLORUROS:	0.21
SULFATOS:	-	FOSFATOS:	-

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	100 - 1000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	10 - 100

pH de SATURACION: 9.75

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -2.87

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA V

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 27.10.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.01 gr/cc.	TURBIDEZ:	17.0 NTU.
pH:	7.39	COLOR:	40.0 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	14.00 µMHO.	TEMPERATURA:	25.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	19.8	ALCALINIDAD TOTAL:	19.7
SOLIDOS DISUELTOS:	9.4	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	10.4	ALC. BICARBONATOS:	19.7
DUREZA TOTAL:	19.0	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	8.0	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	11.0		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	0.0
BIOXIDO DE CARBONO:	0.0
OXIGENO:	10.0

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	3.20	SULFITOS:	0.00
MAGNESIO:	2.60	NITRATOS:	0.08
HIERRO:	0.09	NITRITOS:	0.08
SODIO:	2.80	CLORUROS:	0.51
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	0.00

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	> 10000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	100 - 1000

pH de SATURACION: 9.65

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -2.26

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA VI

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 02.11.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.00 gr/cc.	TURBIDEZ:	19.0 NTU.
pH:	7.39	COLOR:	6.0 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	14.00 μ MHO.	TEMPERATURA:	25.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	19.80	ALCALINIDAD TOTAL:	35.00
SOLIDOS DISUELTOS:	9.40	ALC. A LA FENOLFT:	0.00
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	10.40	ALC. BICARBONATOS:	35.00
DUREZA TOTAL:	22.00	ALC. CARBONATOS:	0.00
DUREZA DEL CALCIO:	18.00	ALC. HIDROXIDOS:	0.00
DUREZA DEL MAGNESIO:	4.00		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	-
BIOXIDO DE CARBONO:	-
OXIGENO:	-

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	7.20	SULFITOS:	0.5
MAGNESIO:	0.96	NITRATOS:	0.5
HIERRO:	0.30	NITRITOS:	0.5
SODIO:	0.15	CLORUROS:	0.6
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	0.0

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	> 1000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	> 100

pH de SATURACION: 9.65

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -2.26

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA VII

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 05.12.87. (*)

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.00 gr/cc.	TURBIDEZ:	30.0 NTU.
pH:	6.77	COLOR:	242.0 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	20.10 μ MHO.	TEMPERATURA:	25.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	53.6	ALCALINIDAD TOTAL:	16.0
SOLIDOS DISUELTOS:	13.5	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	23.6	ALC. BICARBONATOS:	16.0
DUREZA TOTAL:	9.0	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	5.0	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	4.0		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	-
BIOXIDO DE CARBONO:	-
OXIGENO:	-

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	2.00	SULFITOS:	0.00
MAGNESIO:	0.96	NITRATOS:	0.00
HIERRO:	0.08	NITRITOS:	0.00
SODIO:	5.80	CLORUROS:	3.00
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	1.46

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	> 100
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	> 100

pH de SATURACION: 9.80

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): -3.03

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA VIII

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 06.06.88.

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	1.01 gr/cc.	TURBIDEZ:	25.0 NTU.
pH:	6.50	COLOR:	90.0 Unid.
CONDUCTIVIDAD:	18.00 μ MHO.	TEMPERATURA:	24.0 °C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	32.86	ALCALINIDAD TOTAL:	4.0
SOLIDOS DISUELTOS:	12.06	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	20.80	ALC. BICARBONATOS:	4.0
DUREZA TOTAL:	7.50	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	3.00	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	4.50		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	-
BIOXIDO DE CARBONO:	-
OXIGENO:	8

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	1.20	SULFITOS:	0.00
MAGNESIO:	1.08	NITRATOS:	0.08
HIERRO:	0.21	NITRITOS:	0.21
SODIO:	3.20	CLORUROS:	6.00
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	0.00

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	> 10000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	> 1000

pH de SATURACION: 10.47

INDICE DE LANGELIER (I, estabilidad): - 4.20

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA IX

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 10.06.88.

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	-	gr/cc.	TURBIDEZ:	11.0	NTU.
pH:	6.58		COLOR:	60.0	Unid.
CONDUCTIVIDAD:	20.00	μ MHO.	TEMPERATURA:	23.8	$^{\circ}$ C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	22.60	ALCALINIDAD TOTAL:	3.0
SOLIDOS DISUELTOS:	13.40	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	9.20	ALC. BICARBONATOS:	3.0
DUREZA TOTAL:	4.00	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	1.00	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	3.00		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	0.00
BIOXIDO DE CARBONO:	0.00
OXIGENO:	8.68

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	0.40	SULFITOS:	1.3
MAGNESIO:	0.72	NITRATOS:	1.5
HIERRO:	0.32	NITRITOS:	0.6
SODIO:	3.10	CLORUROS:	4.0
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	1.1

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	> 10000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	no report.

pH de SATURACION: 10.43

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): - 3.85

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA X

ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL RIO "TIPUTINI".

PROYECTO "AUCA WATER FLOOD". CAMPO AUCA.

FECHA DE MUESTRA: 14.06.88.

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD:	-	gr/cc.	TURBIDEZ:	11.0	NTU.
pH:	6.58		COLOR:	20.0	Unid.
CONDUCTIVIDAD:	12.19	μ MHO.	TEMPERATURA:	24.0	$^{\circ}$ C.

SOLIDOS EN SUSPENSION Y EN SOLUCION, mg/l (ppm.):

SOLIDOS TOTALES:	17.36	ALCALINIDAD TOTAL:	5.0
SOLIDOS DISUELTOS:	8.16	ALC. A LA FENOLFT:	0.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS:	9.20	ALC. BICARBONATOS:	5.0
DUREZA TOTAL:	4.00	ALC. CARBONATOS:	0.0
DUREZA DEL CALCIO:	1.00	ALC. HIDROXIDOS:	0.0
DUREZA DEL MAGNESIO:	3.00		

GASES EN SOLUCION, (PPM):

ACIDO SULFHIDRICO:	-
BIOXIDO DE CARBONO:	-
OXIGENO:	-

IONES DISUELTOS, (PPM):

CALCIO:	0.40	SULFITOS:	0.0
MAGNESIO:	0.72	NITRATOS:	0.1
HIERRO:	0.22	NITRITOS:	0.0
SODIO:	2.60	CLORURDS:	4.0
SULFATOS:	0.00	FOSFATOS:	0.0

BACTERIAS PRESENTES, (colonias / ml.)

BACTERIAS TOTALES:	> 10000
BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS:	1000 - 10000

pH de SATURACION: 11.51

INDICE DE LANGELIER (I.estabilidad): - 4.93

COMENTARIOS: Agua corrosiva.

TABLA XI

PRUEBA DE FILTRACION EN MEMBRANA MILLIPORE DE 8 μ .

Fecha de Muestra: 6.6.88

ETAPA: Pre-filtración.

TURBIDEZ INICIAL: 25.0 NTU.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES 20.8 FPM.

Se filtró agua en membrana de 8 μ para determinar qué cantidad de turbidez y SST se remueven sin la ayuda de productos químicos coagulantes.

ETAPA: Post-filtración.

TURBIDEZ: 6.7 NTU.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES: 8.0 PPM.

COMENTARIOS: El agua se presenta turbia y con alto contenido de sólidos y es, por lo tanto, no apta para la inyección. Se necesita utilizar productos coagulantes para remover la mayoría de los sólidos en una piscina de sedimentación y, una filtración posterior para mejorar la calidad del agua de inyección.

TABLA XIV

PRUEBA DE FILTROS DE MEMBRANA.

OBJETIVO: Determinar la calidad del agua de inyección mediante el índice relativo de taponamiento.

FECHA DE MUESTRA: 6.6.88

DATOS:

VOLUMEN (ml.)	TIEMPO (seg.)	δV ($V_2 - V_1$) (ml.)	δt ($t_2 - t_1$) (ml.)	CAUDAL $\delta V / \delta t$
500	23	500	23	21.74
1000	47	500	24	20.83
1500	71	500	24	20.83
2000	96	500	25	20.00
2500	127	500	31	16.13
3000	169	500	42	11.90
3500	237	500	68	7.35
4000	350	500	113	4.42
4500	538	500	188	2.66

SST: 0.47 ppm.

Los datos de Q Vs V están graficados en la Fig.(7.4).

TABLA XV

DESCRIPCION APROXIMADA DE SISTEMA DE DESCARGA DE BOMBAS DE CAPTACION EN EL RIO TIPUTINI. Fig. (7.5)

FLUJO MAXIMO DE DESCARGA: 400 GPM.

DIAMETRO ND (ID)	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal (pies.)	Ltotal (pies.)	Hf * pie de agua.
4 " (4.026)	-tubo descarga	1	16	1.76
	-1 codo 90°	11		
	-tubo desc.horiz.	4		
6 " (6.065)	-ensanch. 4"x 6"	3	58	0.87
	-1 tubo	1		
	-1 valv.check	48		
	-1 tubo	1		
	-1 valv.control	4		
8 " (7.981)	-1 tubo	1	26	0.10
	-ensanch. 6"x 8"	4		
	-1 codo 90°	21		

LINEA DE SUMINISTRO.

8 " (7.981)	-Tub.ramificada	8	82	0.98
	-2 tee standar	74		
8 "	-tuberia sumin.	4920	4920	58.70
TOTAL DE PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION :				62.41

Hf = 62.41 pie de agua (27 PSI)

* Hf es calculado con la Ecuación (7.3), utilizando

C = 120.

TABLA XVI

DESCRIPCION ESQUEMATICA APROXIMADA DEL SISTEMA DE SUCCION DE LAS BOMBAS DE CAPTACION EN EL RIO TIPUTINI. Fig. (7.9).

GASTO MAXIMO DE SUCCION: 400 GPM.

DIAMETRO ND. (ID)	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal (pies.)	Ltotal (pies.)	Hf * pie de agua.
	-tub. Horz. sumerg.	6		
	-codo 45°	4		
	-tub. inclinada.	10		
6 "	-codo 45°	4	41	0.61
(6.065)	-tuberia	4		
	-valv. compuerta	4		
	-tuberia	2		
	-reduc. 6"x 3"	7		

* Hf se calcula con la Ec. (7.3), para C = 120.

TABLA XVII

DESCRIPCION APROXIMADA DE LA TRAYECTORIA DEL AGUA DESDE DESCARGA DE BOMBA DE ALIMENTACION A FILTROS, HASTA ENTRADA AL DEAERADOR. Fig.(7.10).

FLUJO MAXIMO DE ALIMENTACION: 729.25 GPM.

DIAMETRO ND. (ID.)	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal (pies.)	Ltotal (pies.)	Hf * pie de agua.
	-tub.horiz. A	4		
	-codo 90°	21		
	-tub.vertic.B	30		
	-codo 90°	21		
8 " (7.981)	-tub.horiz. C	6	216	2.58
	-codo 45°	6		
	-tub.incl.45°	37		
	-codo 45°	6		
	-tub.desc.filtros	22		
	-3 tee reduc. 8x5"	63		

FLUJO MAXIMO A TRAVES DE CADA FILTRO: 365 GPM.

	-1 tubo	1		
	-1 valv.compuerta	4		
	-1 tubo	1		
	-1 tee	11		
5 " (5.047)	-1 tubo.desc.filt.	1	36	1.11
	-1 tubo.ent.filtro	1		
	-1 tee	11		
	-1 tubo	1		
	-1 valv.compuerta.	4		
	-1 tubo	1		

FLUJO DE DESCARGA DE LA BOMBA DE ALIMENTACION: 729.25 GPM

	-3 tee 8x5"	63		
	-tub.ent.filtros	20		
	-1 codo 90°	21		
	-tubo vertical	5		
8 " (7.981)	-codo 90°	21	304	3.62
	-tub.horizontal	23		
	-codo 90°	21		
	-tub.horizontal	40		
	-check valv.	64		
	-2 tee 8x6"	26		

-----CONTINUA-----

DIAMETRO	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal	Ltotal	Hf *
6 "	-1 tubo	3		
(6.065)	-1 codo 90°	16	20	0.91
	-tubo escarga	1		
TOTAL DE PERDIDAS POR FRICCION:				8.22

TABLA XVIII

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE SUCCION DE LA BOMBA DE ALIMENTACION A LOS FILTROS.

DIAMETRO	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal	Ltotal	Hf *
	-tubo vertical	8		
4 "	-codo 90°	11	26	8.69
(4.026)	-tub.horizontal	4		
	-1 valv.compuerta	3		
TOTAL DE PERDIDAS POR FRICCION:				8.69

TABLA XIX

DESCRIPCION APROXIMADA DE LA CONFIGURACION DE LINEA DE RETROLAVADO PARA FILTROS.Fig.(7.10).

FLUJO DE RETROLAVADO: 300 GPM / FILTRO.

DIAMETRO	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal	Ltotal	Hf *
	-1 tee	19		
	-1 valv.compuerta	3		
	-1 tubo	1		
	-1 codo 90°	15		
5 "	-tubo vertical	1	177	3.80
(5.047)	-codo 90°	15		
	-tuberia	5		
	-tub.descarga	80		
	-2 tee	38		
TOTAL DE PERDIDAS POR FRICCION:				3.80

* Hf se calculò empleando la Ec.(7.3) para C = 120

TABLA XX

CONFIGURACION DE LA SUCCION DE BOMBA DE RET.

FLUJO DE RETROLAVADO: 300 GPM / FILTRO.

DIAMETRO	TUBER./ACCES.	Lequiv/Lreal	Ltotal
3 "	-tub. succion	10	
(3.068)	-valv.comp.	2	12

* Ec. (7.3)

TABLA XXI

CONSTANTE DE HENRY Vs TEMPERATURA.

OXIGENO

T (°C)	H	T (°C)	H
0	25500	40	53500
5	29100	45	56300
10	32700	50	58800
15	36400	60	62900
20	40100	70	66300
25	43800	80	68700
30	47500	90	69900
35	50700	100	70100

(18).

TABLA XXII

CONFIGURACION APROXIMADA DEL SISTEMA DE SUCCION DE LAS BOMBAS DE INYECCION. Fig. (7.13)

CAUDAL DE SUCCION: 729.25 G.P.M.

I.D. (pulg)	CAPACIDAD (gpm)	TUB./ACCES.	Leq/real (pies)	Ltotal (pies)	Hf (*) ² H2O
7.71	729.25	-ramal succion	50	50	.7059
5.45	365.00	-distribuidor	25	25	.5307
3.45	146.00	-tub.succion	5		
		-3 valv.comp	9	53	1.9112
		-1 codo 90°	11		
		-2 tee red. ¼	28		
total de perdidas por friccion en succion:					3.1484

(*) Ec. (7.3)

TABLA XXIII

SISTEMA DE INYECCION DE AGUA.

CALCULO DE LINEAS DE DISTRIBUCION A POZOS INYECTORES.

VER FIG. (7.14)

SEGMENTO	CAPACIDAD (BWPD)	DIAMETRO INTERNO (pulg) @ 5 p/s *	DIRIJE FLUJO A POZO INYECTOR:
A	6500	3.93	WI No 1
B	18500	6.63	WI No 2, 3, 4
C	7500	4.22	WI No 2
D	11000	5.12	WI No 3, 4
E	4000	3.08	WI No 4
F	7000	4.08	WI No 3

* Ec. (7.2)

TABLA XXIV

ESTIMACION DE LA PRESION EN EL CABEZAL DE LOS POZOS DE INYECCION. (BASADO EN LA TABLA ANTERIOR.)

SEGMENTO	LONGITUD (pies)	CAUDAL (BPD)	CAUDAL (GPM)	ID (pulg)	Hf * PSI.
A	9840	6500	190	3.93	132.80
B	2296	18500	540	6.63	16.79
C	50	7500	219	4.22	0.62
D	3936	11000	321	5.12	38.83
E	7216	4000	117	3.08	130.00
F	3936	7000	204	4.08	50.50

* Hf se calcula con la Ec. (7.3) para C = 120

PRESIONES EN CABEZAL:

$$P \text{ (WI N}^\circ \text{ 1)} = 2675 - H_f(A)$$

$$P \text{ (WI N}^\circ \text{ 2)} = 2675 - H_f(B) - H_f(C)$$

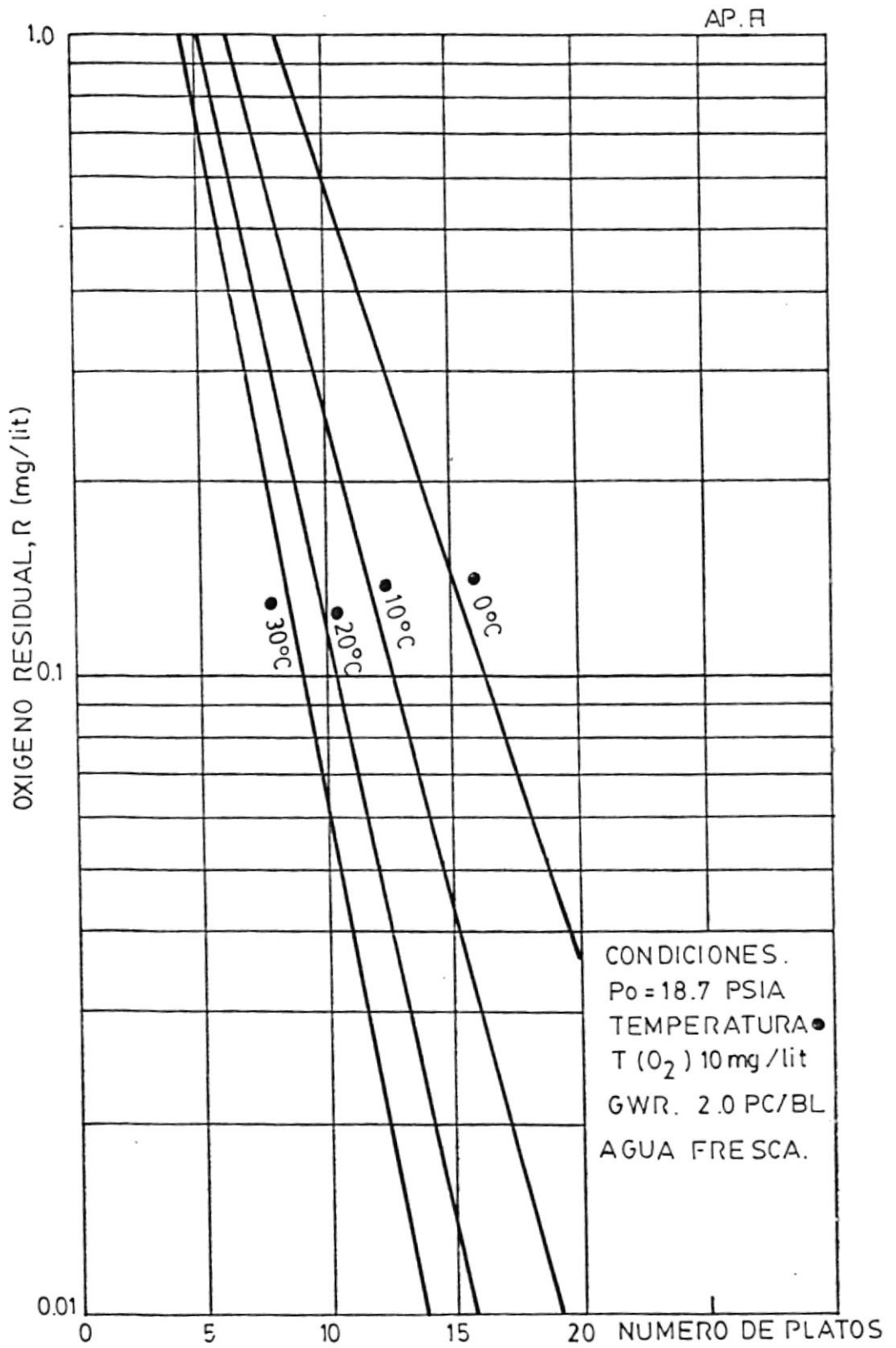
$$P \text{ (WI N}^\circ \text{ 3)} = 2675 - H_f(B) - H_f(D) - H_f(F)$$

$$P \text{ (WI N}^\circ \text{ 4)} = 2675 - H_f(B) - H_f(D) - H_f(E)$$

Siendo 2675 la máxima presión de descarga de las bombas de inyección, en psi. Efectuando estos cálculos se obtiene los siguientes resultados:

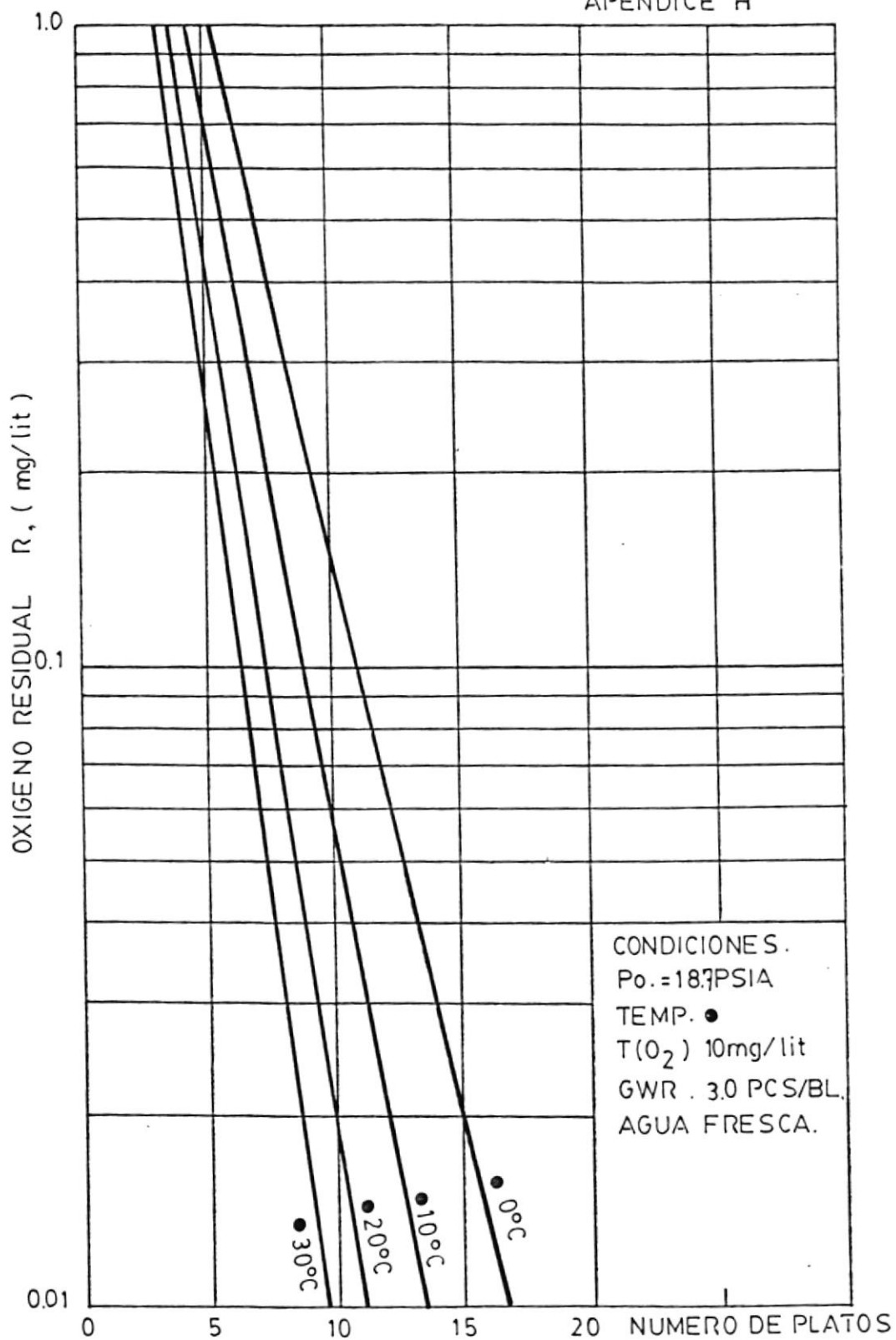
INYECTOR.	PRESION EN CABEZAL, (PSI)
WI N ^o 1	2542.20
WI N ^o 2	2657.59
WI N ^o 3	2568.88
WI N ^o 4	2489.38

A P E N D I C E S



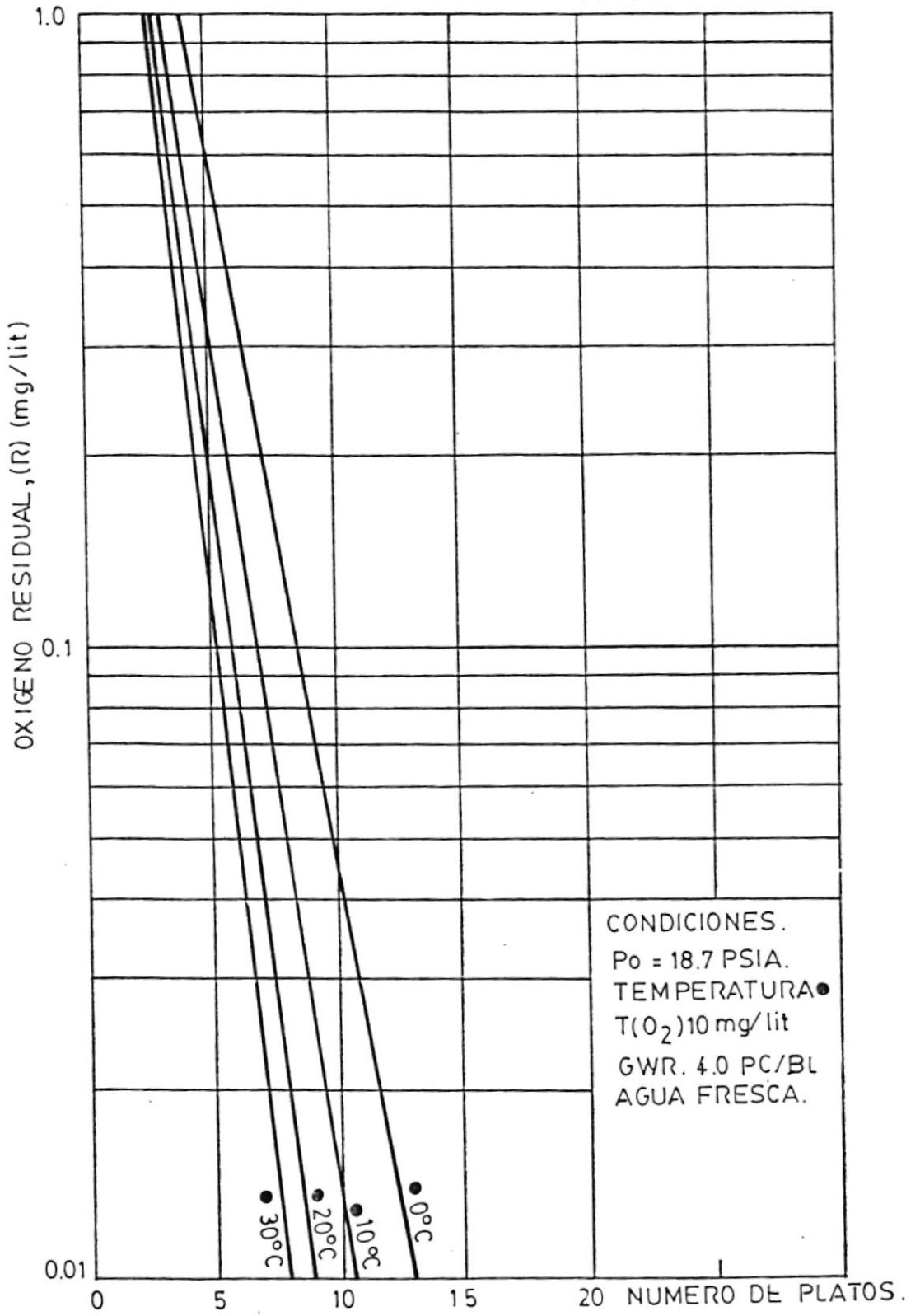
DISEÑO DE COLUMNAS DE DEAERACION. AGUA DEL RIO TIPUTINI

APENDICE A



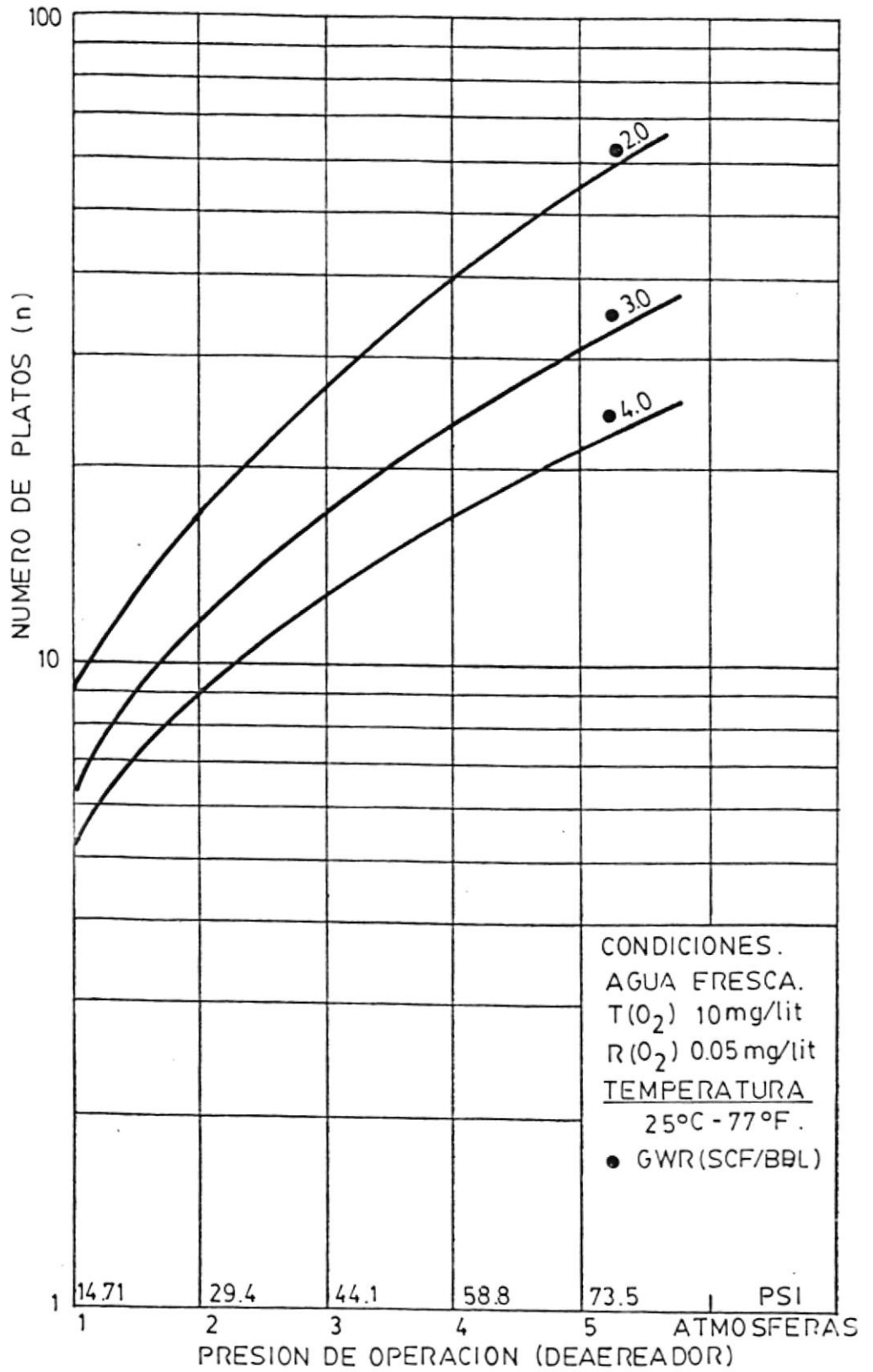
DISEÑO DE COLUMNAS DE DEAERACION. AGUA DEL RIO TIPUTINI

APENDICE A



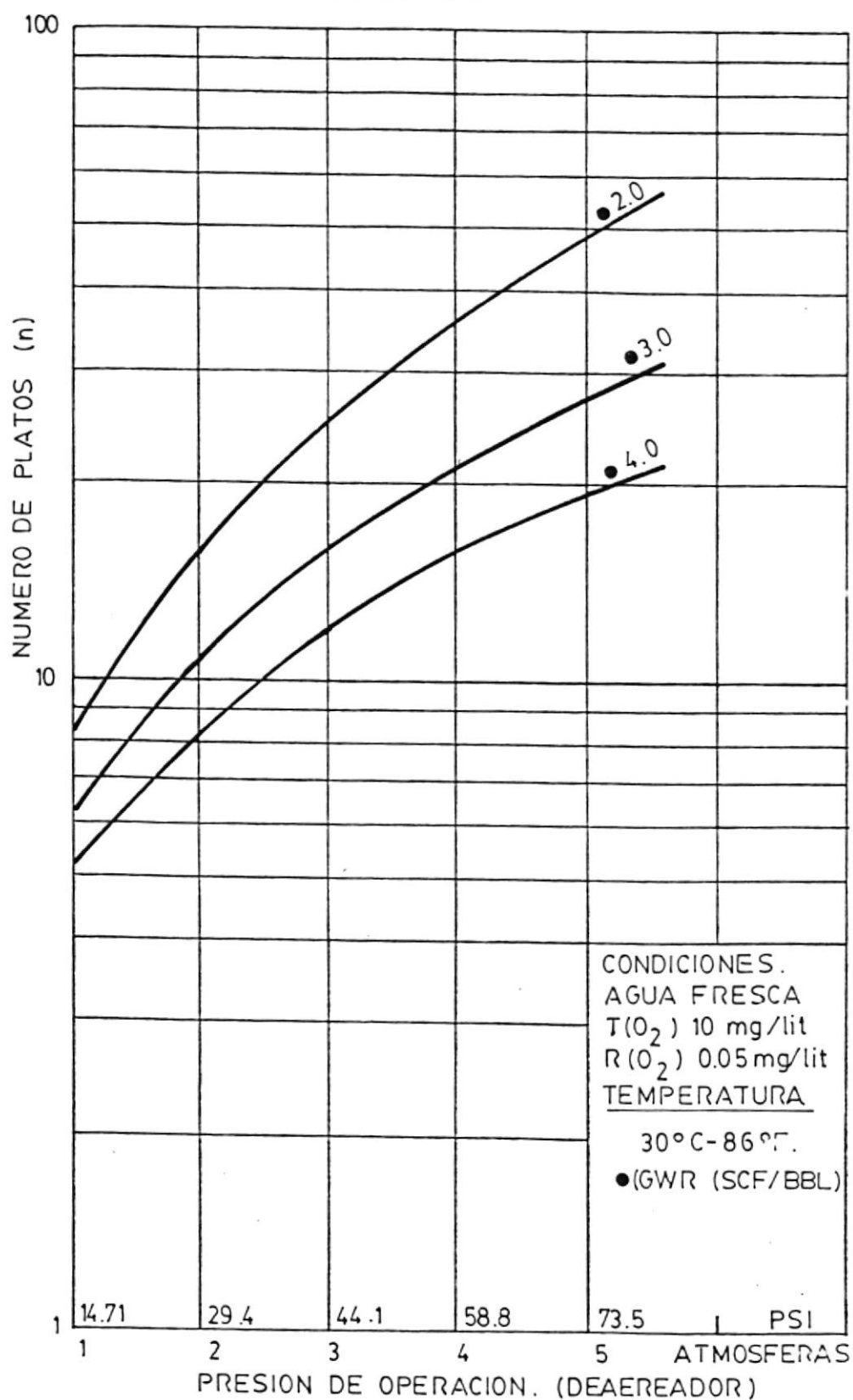
DISEÑO DE COLUMNAS DE DEAERACION. AGUA DEL RIO TIPUTINI

APENDICE R.

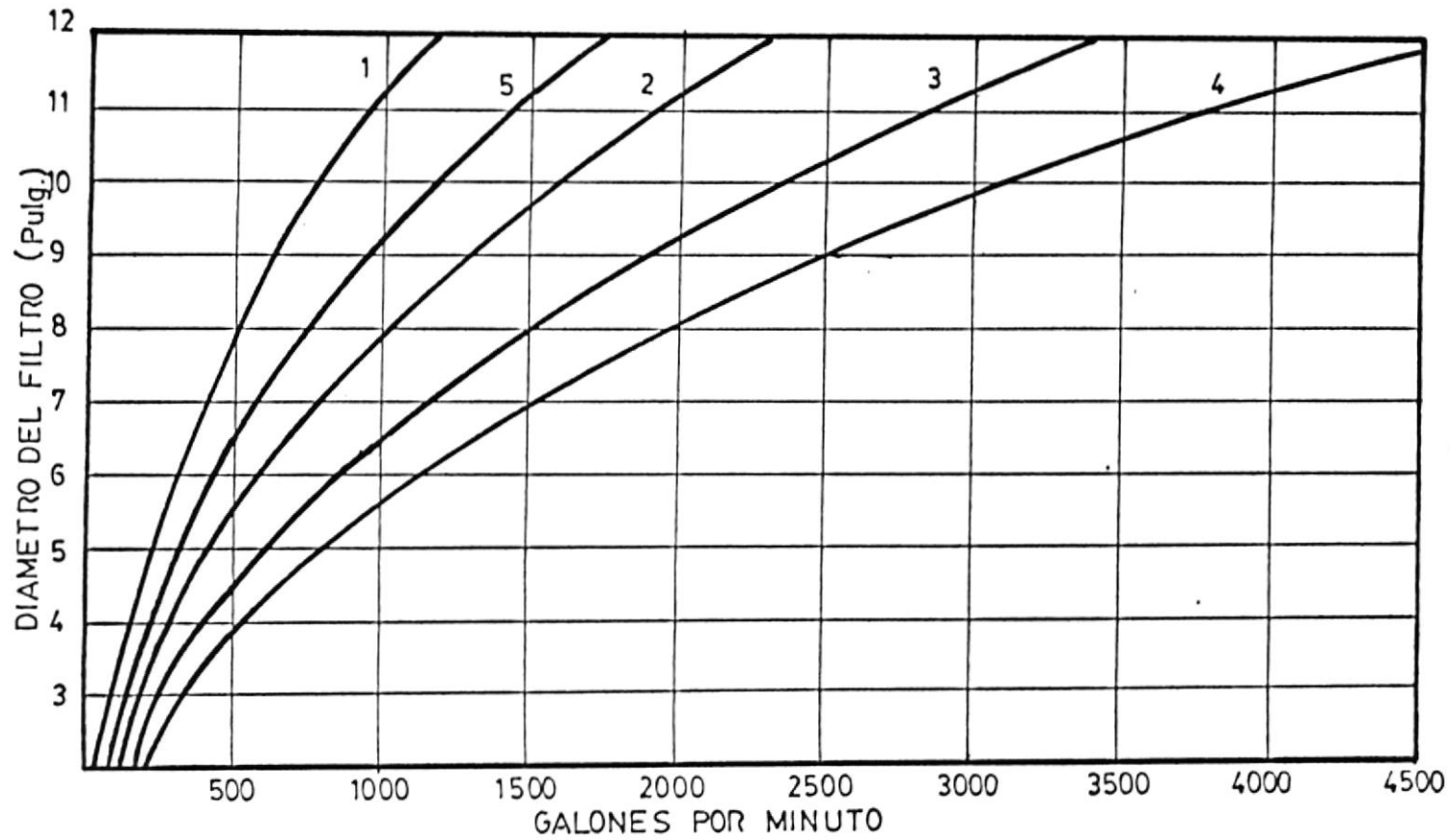


Efecto de la presión de operación y de la GWR sobre el número de platos requeridos para des-oxigenar el agua de inyección desde 10 ppm a 0.05 ppm.

APENDICE A



Efecto de la presión de operación y de la GWR sobre el número de platos requeridos para des-oxygenar el agua de inyección desde 10 ppm a 0.05 ppm



1. 10 GPM/PIE²
 2. 20 GPM/PIE²

3. 30 GPM/PIE²

4. 40 GPM/PIE²
 5. 15 GPM/PIE²

DIAMETRO DE FILTROS EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD A DIFERENTES VALORES DE CARGA HIDRAULICA. DISEÑO DE FILTROS.

APENDICE C.

DETERMINACION CUANTITATIVA DE BACTERIAS.

1 ml. de muestra de agua	Nº de botella	factor de dilución	Nº de bacterias (colonias) en 1ml. de muestra original.	
1 ml.	1	0	1-10	colonias/ml.
1 ml.	2	1:10	10-100	"
1 ml.	3	1:100	100-1000	"
1 ml.	4	1:1000	1000 - 10000	"
1 ml.	5	1:10000	10.000 - 100.000.	"
1 ml.	6	1:100 000	100.000 - 1.000.000	"
1 ml.	7	1:1000 000	1.000.000 - 10.000.000	"

CADA BOTELLA CONTIENE 9ml. DE LIQUIDO PARA CULTIVO.

APENDICE D.

DETERMINACION DEL INDICE DE SATURACION DEL AGUA DE INYECCION.

Calculando el pH teórico, LANGELIER define un índice de agresividad (que será por definición el pH de saturación) y un índice de saturación.

El INDICE DE SATURACION se lo define como la diferencia entre el pH de saturación y el pH medido en el agua de inyección, es decir:

$$I_s = \text{pH medido} - \text{pH saturación}$$

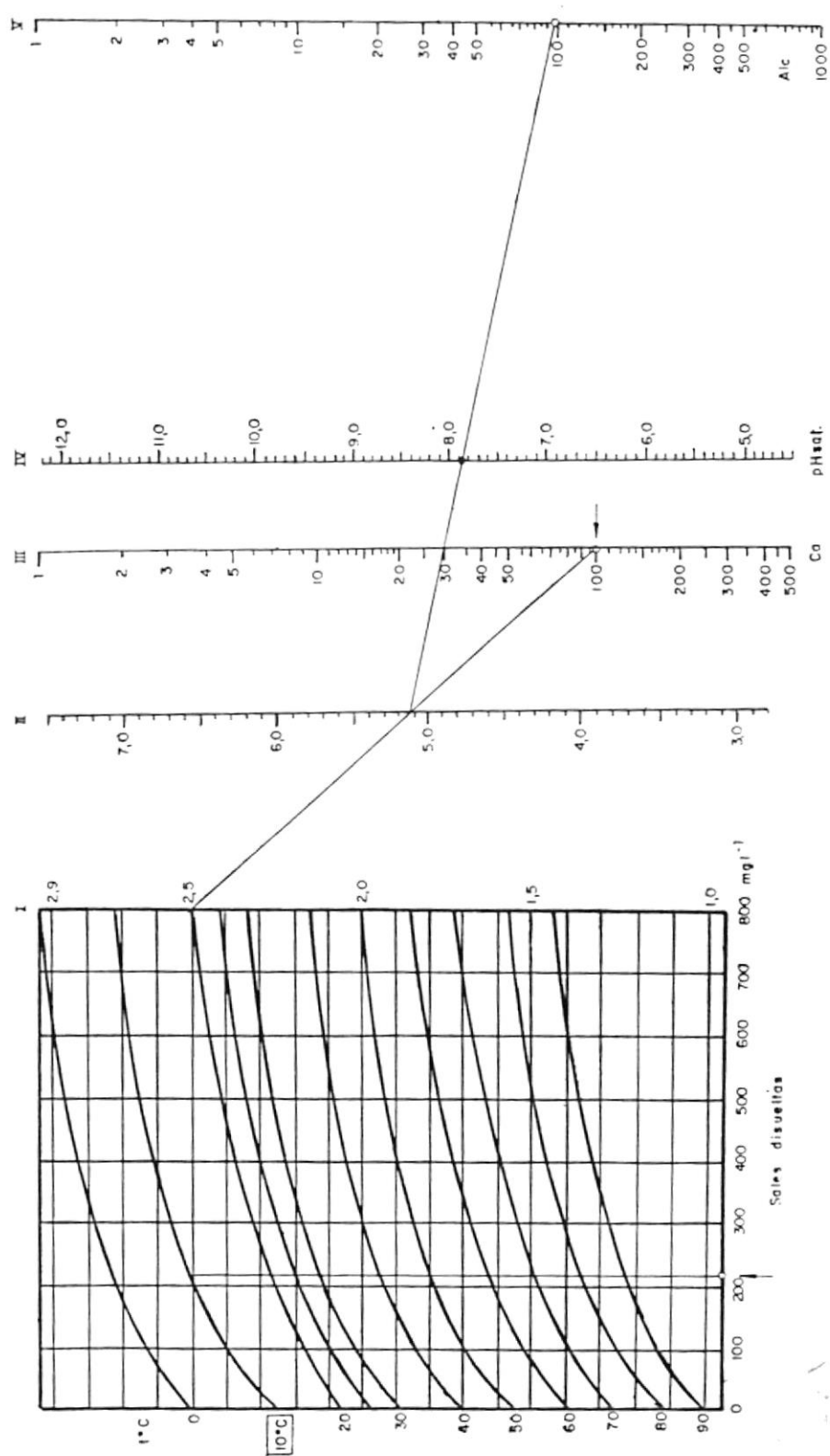
El valor del pH de saturación depende del valor de la relación de los iones calcio a la alcalinidad. Si este pH es inferior al medido, el índice de saturación será positivo y el agua será **incrustante**. Si ocurre lo contrario, el agua será **agresiva**.

El gráfico de HOOVER y LANGELIER permite conocer el pH de saturación, teniendo en cuenta la temperatura y la mineralización total del agua (figura adjunta.). Para usar

este diagrama se empieza por buscar en la columna I el valor de la temperatura y en abscisas, la salinidad total expresada en mg/l. El punto hallado se une con el que representa el contenido en mg/l de ión calcio. Esta recta cortará a la escala auxiliar II en un punto el cual, a su vez, se une por una segunda recta al valor de la alcalinidad expresada en mg/l de CaCO_3 (escala V).

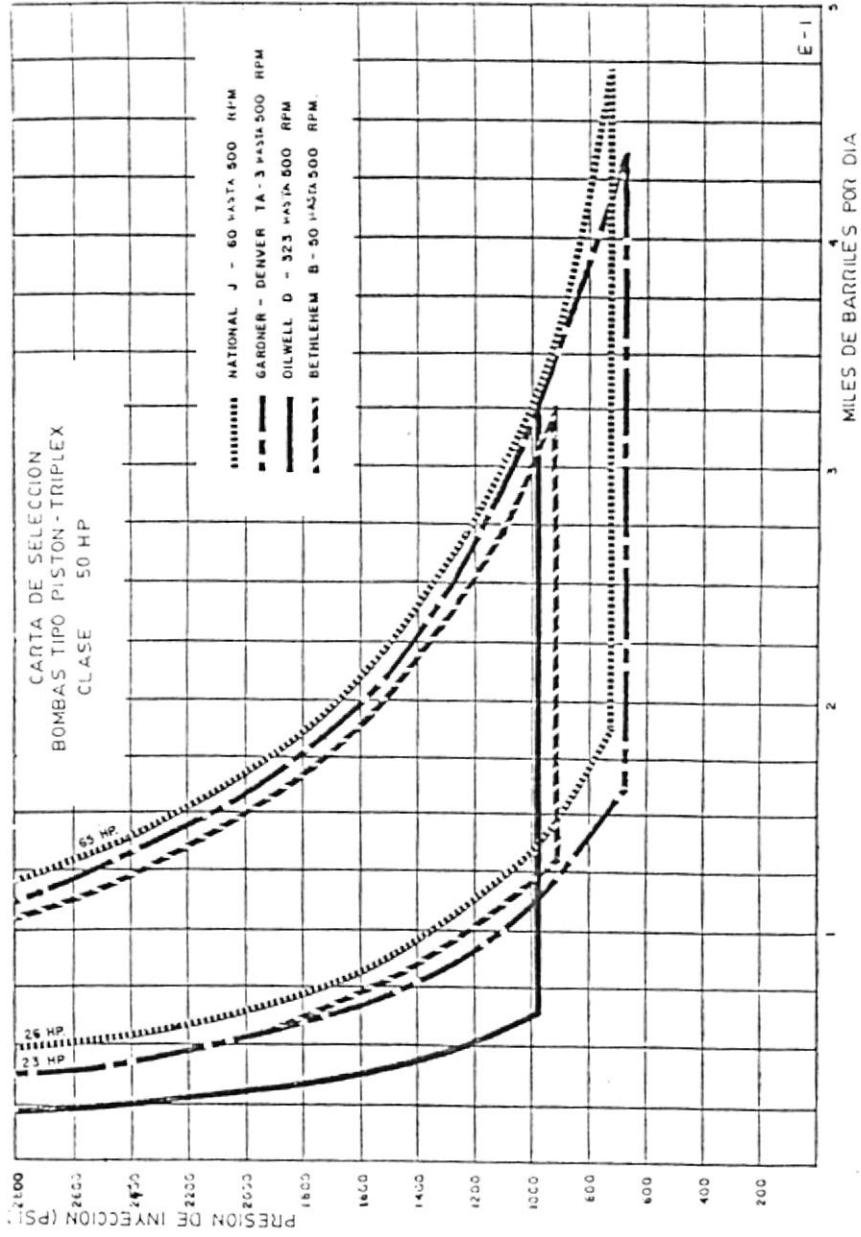
El punto de intersección de esta segunda recta con la escala IV da el valor del pH de saturación (pHs), lo que nos permite calcular el índice de saturación Is.

NOMOGRAMA DE HOOVER-LANGELIER (4)

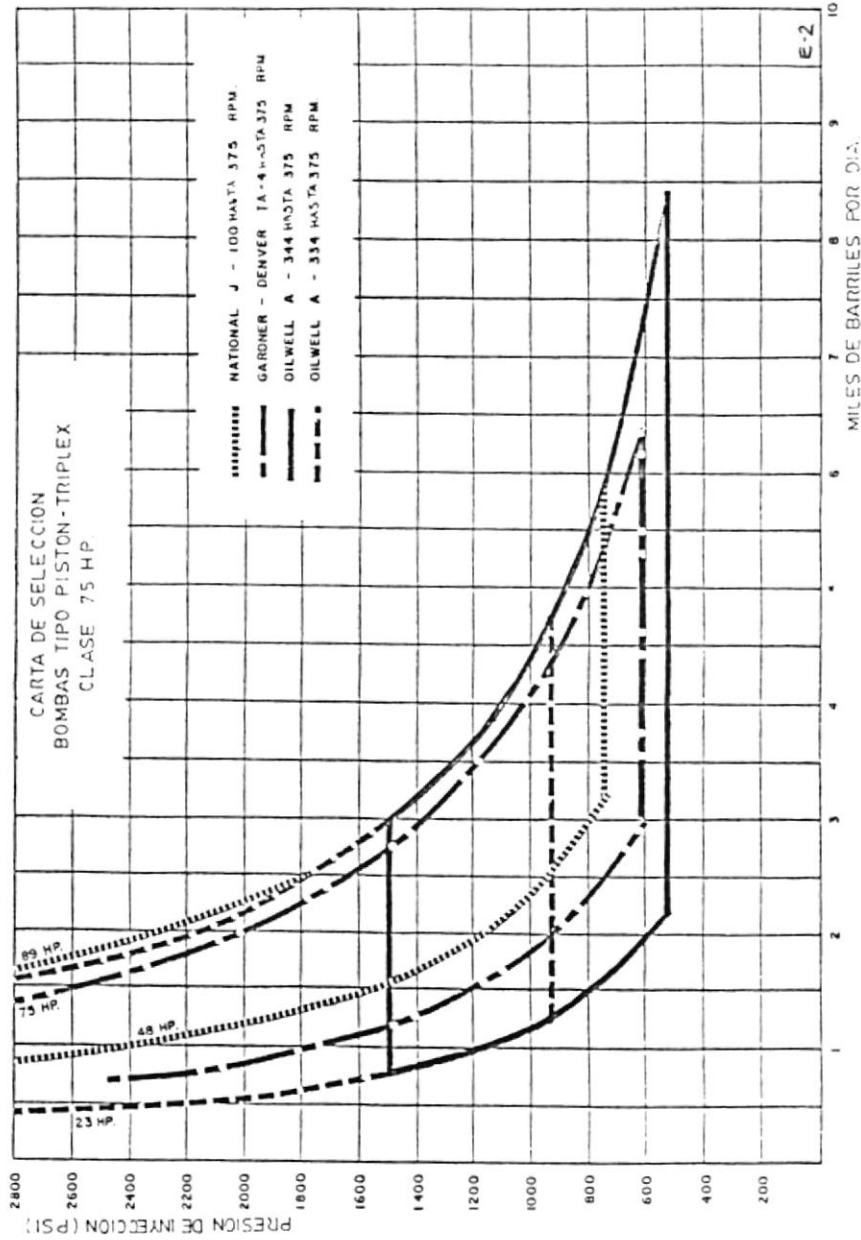


Nomograma de Hoover - Langelier que permite determinar el pH de saturación (IV) en función de la temperatura (I) del contenido en sales disueltas en calcio (en mg/l) (II) y con ayuda de una escala intermedia (III) la alcalinidad expresada en mg/l de $CaCO_3$ (V).

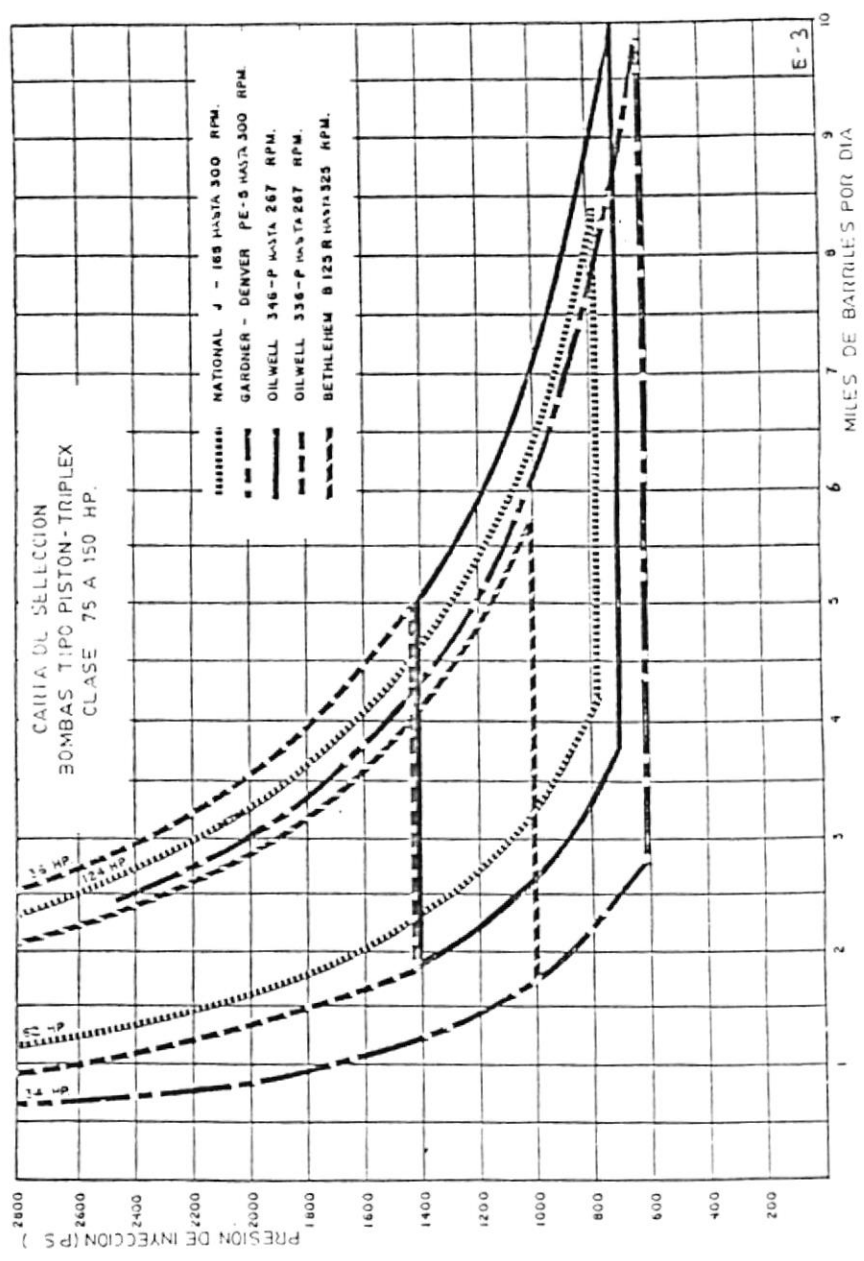
APENDICE E



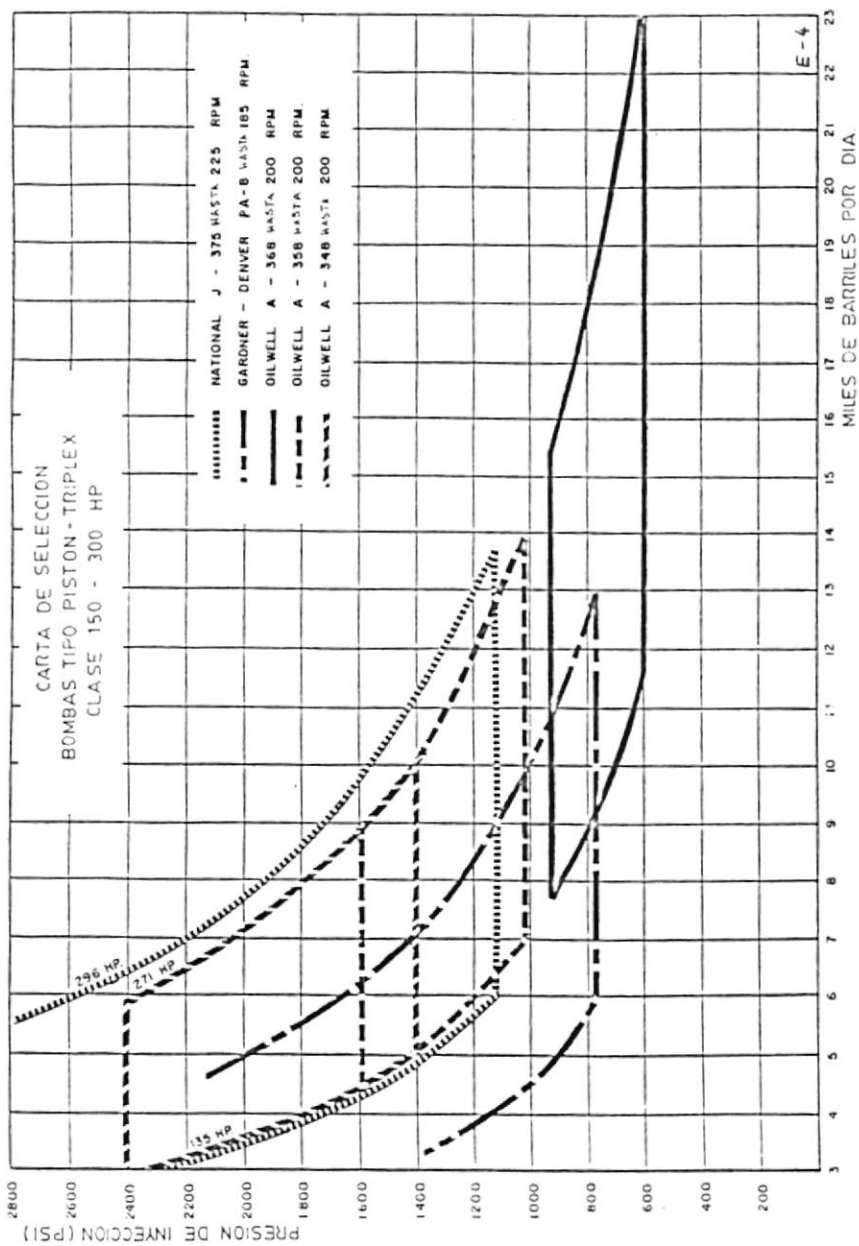
APENDICE E



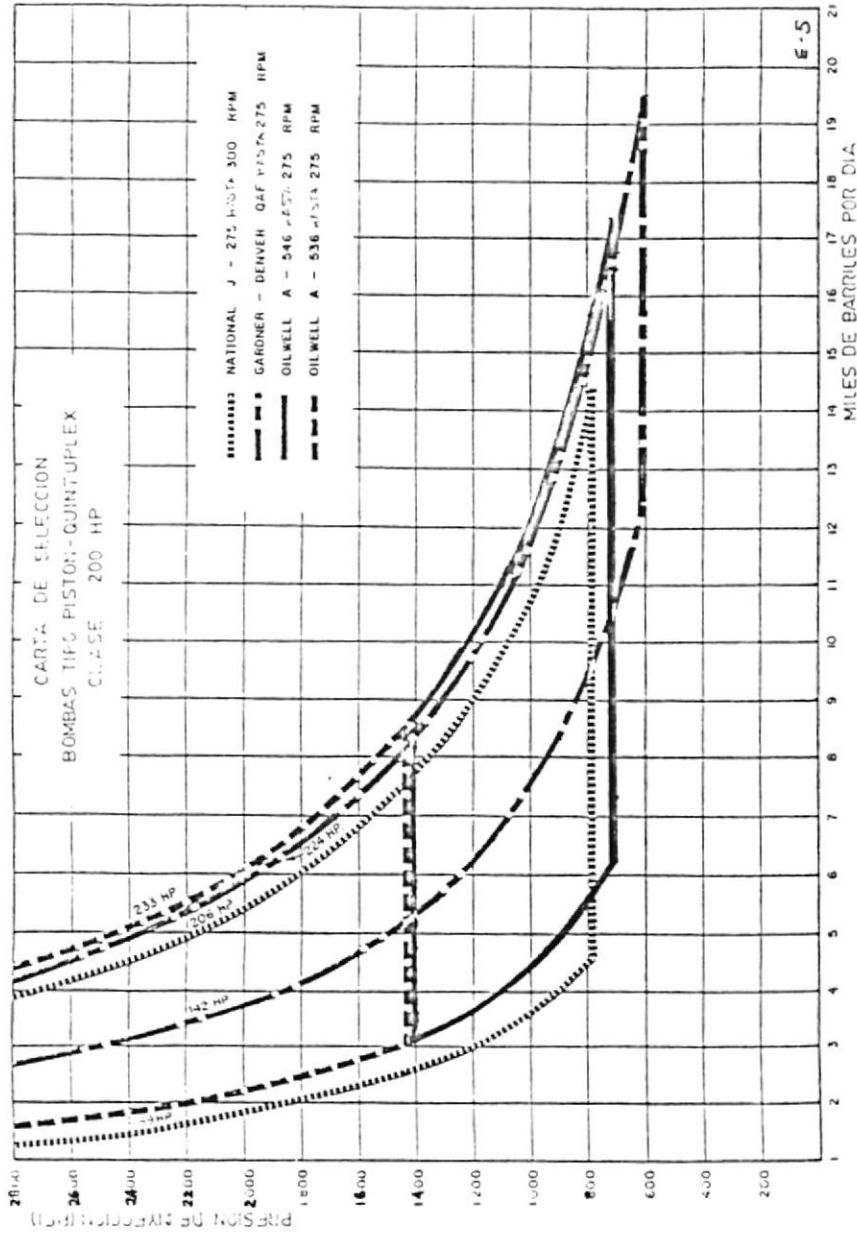
APENDICE E



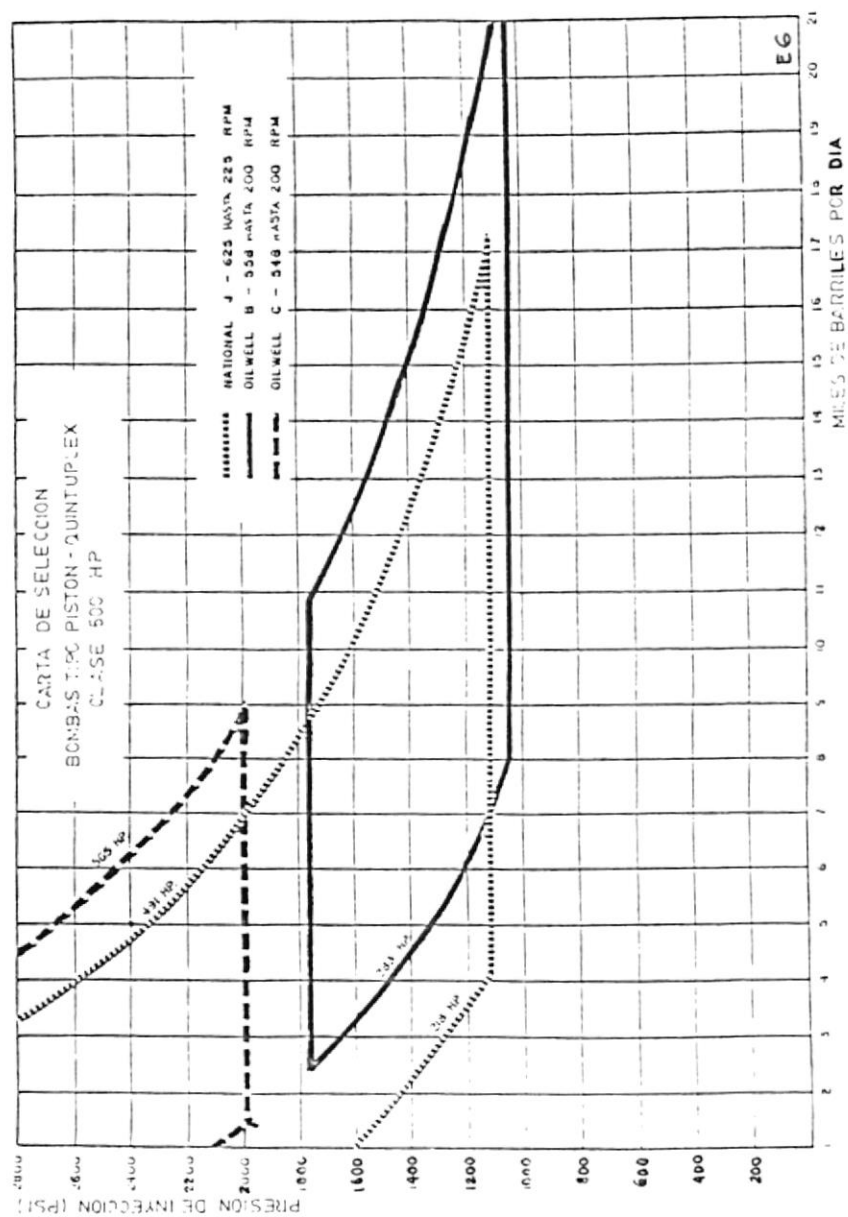
APENDICE E



APENDICE E



APENDICE E



National Supply Company

tam. pistón. pulg.		5	4½	4¼	4	3¾	3½	3¼	3	2¾	2½	2¼	2	1¾	1½	
max pres. desc. psi		1125	1250	1400	1550	1775	2000	2300	2675	3150	3425	3750	4100	4525	5000	
GPM/RPM		1.785	1.611	1.446	1.290	1.142	1.004	.875	.754	.643	.590	.540	.492	.446	.403	
BD/RPM		61.200	55.234	49.577	44.229	39.154	34.423	30.000	25.851	22.046	20.229	18.514	16.869	15.291	13.817	
J-375 TRIPLEX	RPM	RENDIMIENTO EN BARRILES POR DIA B.A.P.D.														
	HP															
	100	131	6120	5525	4960	4425	3915	3440	3000	2585	2205	2025	1850	1685	1530	1380
	150	197	9180	8285	7435	6635	5875	5165	4500	3880	3305	3035	2775	2530	2295	2070
	200	262	12240	11045	9915	8845	7830	6865	6000	5170	4410	4045	3705	3375	3060	2765
	225	295	13770	12430	11155	9950	8810	7745	6750	5815	4960	4550	4165	3795	3440	3110
	250	328	15300	13810	12395	11055	9790	8605	7500	6465	5510	5055	4630	4215	3825	3455
	275	361	16830	15190	13635	12165	10765	9465	8250	7110	6065	5565	5090	4640	4205	3800
	286	375	17505	15800	14180	12650	11200	9845	8580	7395	6305	5785	5295	4825	4375	3950

APENDICE E

ESPECIFICACIONES DE BOMBAS DE INYECCION NATIONAL J-375 (22)

APENDICE E

OILWELL

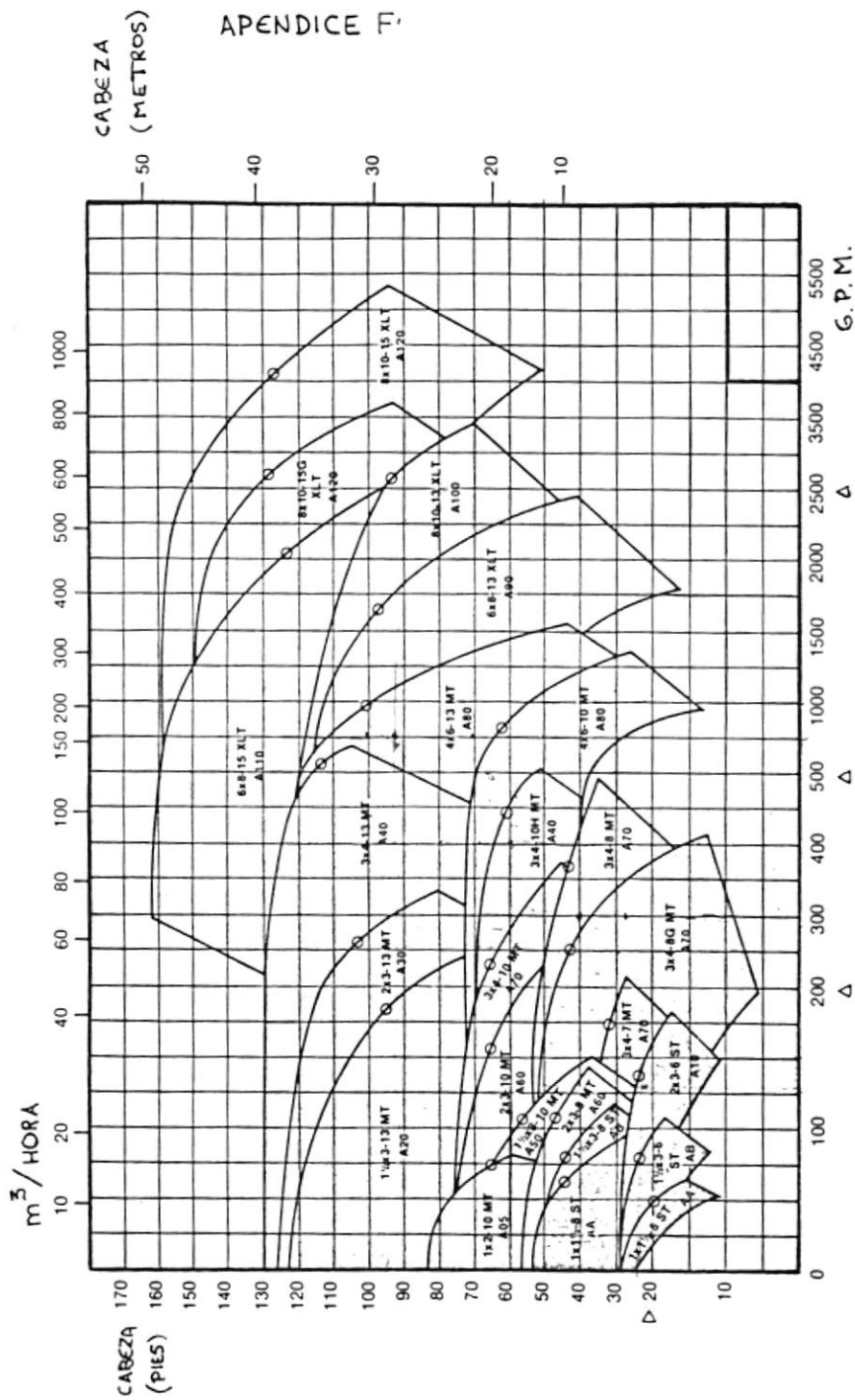
ESPECIFICACIONES		RENDIMIENTO											
		DESPLAZAMIENTO BPD @ RPM											
modelo	max. diámetro x carrera pulgadas	Presión nominal PSI	max. RPM	peso nominal LBS	Diámetro pistón pulg.	Presión PSI	100	125	150	175	200	225	
A-368	Triplex 6 1/2 x 8	300	925	225	20000	6	650	10933	13666	16400	19133	21866	24600
						6 1/2	600	11825	14782	17738	20694	23651	26607
A-358	Triplex 5 x 8	300	1590	225	20000	4 1/4	1,590	4478	5598	6717	7837	8956	10076
						4 1/2	1,410	5055	6319	7583	8847	10111	11375
						4 3/4	1,260	5668	7085	8502	9919	11335	12752
						5	1,130	6315	7894	9472	11051	12630	14209
							1,020	6997	8747	10496	12245	13994	15744
A-348	Triplex 4 1/4 x 8	300	2410	225	20000	3 1/2	2,410	2956	3695	4434	5174	5913	6652
						3 1/4	2,080	3429	4286	5145	6000	6857	7714
						3 3/4	1,810	3936	4920	5904	6888	7872	8856
						4	1,590	4478	5598	6717	7837	8956	10076
						4 1/4	1,410	5055	6319	7583	8847	10111	11375
B-338	Triplex 3 x 8	300	3690	225	20000	2 3/4	3,690	1929	2411	2893	3375	3857	4339
						2 1/2	3,370	2117	2646	3175	3704	4233	4762
						2 1/4	3,080	2313	2892	3470	4049	4627	5205
						3	2,830	2519	3149	3778	4408	5038	5668
C-338	Triplex 3 1/2 x 8	300	4000	225	20000	2 1/2	4,000	1749	2187	2624	3061	3499	3936
						2 3/4	3,690	1929	2411	2893	3375	3857	4339
						2 1/2	3,370	2117	2646	3175	3704	4233	4762
						2 3/4	3,080	2313	2892	3470	4049	4627	5205
						3	2,830	2519	3149	3778	4408	5038	5668
						3 1/4	2,610	2733	3417	4100	4783	5467	6150
						3 1/2	2,410	2956	3695	4434	5174	5913	6652
						3 3/4	2,240	3188	3985	4782	5579	6376	7173
						3 1/2	2,080	3429	4286	5143	6000	6857	7714
C-328	Triplex 2 3/4 x 8	300	5640	225	20000	2 1/4	5,640	1264	1580	1896	2212	2528	2844
						2 1/2	5,030	1417	1771	2125	2480	2834	3188
						2 3/4	4,515	1579	1973	2368	2763	3157	3552
						2 1/2	4,070	1749	2187	2624	3061	3499	3936
						2 3/4	3,690	1929	2411	2893	3375	3857	4339

APENDICE F

PROCEDIMIENTO DE SELECCION DE BOMBAS DE TRANSFERENCIA.

(BOMBAS CENTRIFUGAS GOULDS)

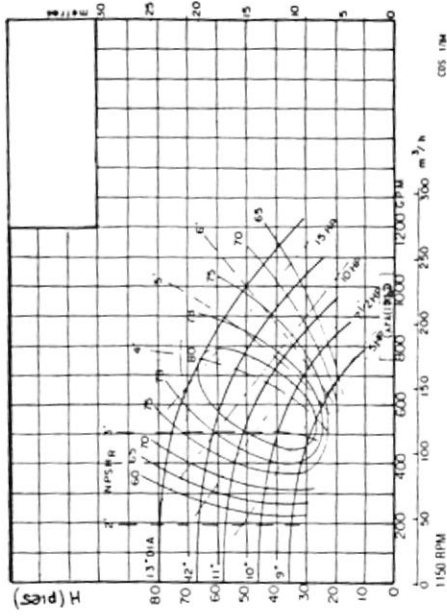
1. Calcular la Cabeza hidrostática de descarga H_d para la bomba de interés.
2. Con el valor de H_d y la tasa de flujo Q , se selecciona un tipo de bomba en el Gráfico F-1.
3. Se determina la N.P.S.H.d. de la bomba escogida.
4. Con H_d y Q determinar en el gráfico F-2, la Eficiencia de la bomba, su potencia, velocidad (RPM) y, su N.P.S.H.R.
5. Si $N.P.S.H.r. < N.P.S.H.d.$ la bomba esta correctamente escogida.



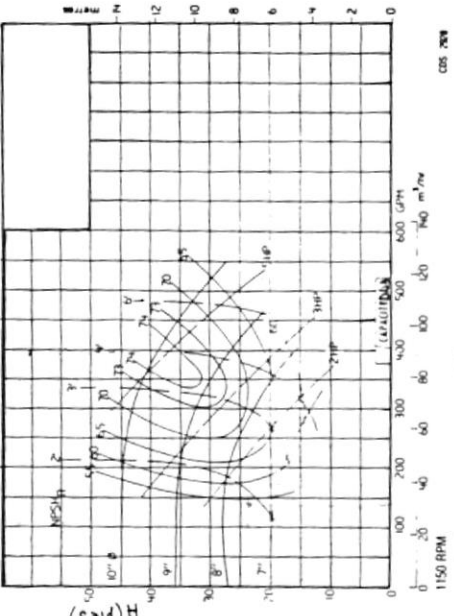
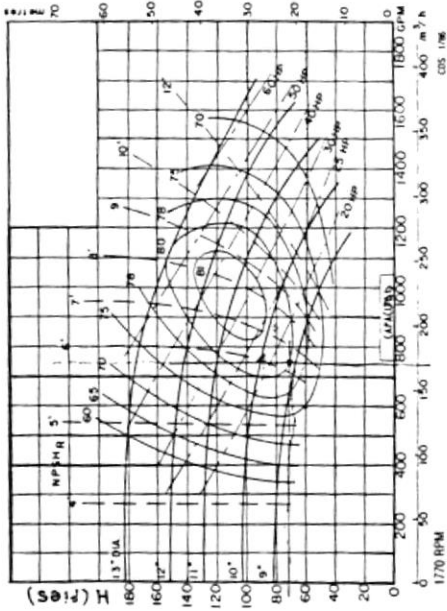
Δ: CAMBIO DE ESCALA.

CURVAS DE RENDIMIENTO PARA LAS BOMBAS GOULDS (FIGURA F - 1)

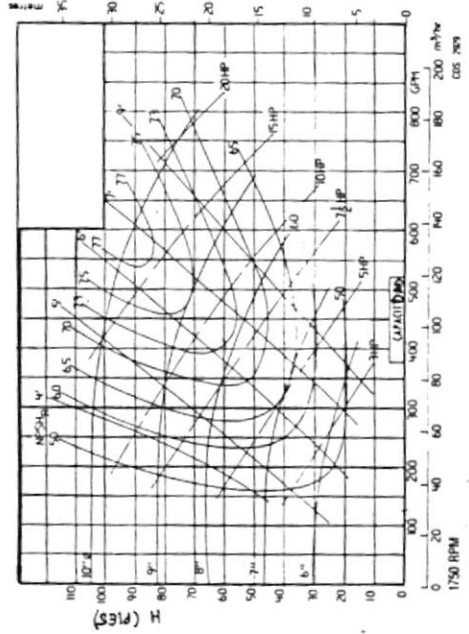
APENDICE F



MT
4 x 6-13
A80



MT
3 x 4-10H
A40



CURVAS DE RENDIMIENTO PARA BOMBAS GOULDS (FIGURA F-2)

BIBLIOGRAFIA.

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING. "Manual de Aguas Para Usos Industriales". Primera edición, México, 1976.
2. AMERICAN WATERWORKS ASSOCIATION. "Control de Calidad y Tratamiento del Agua". Primera edición, Madrid, 1975.
3. AMOCO PRODUCTION COMPANY. "Injection Water Quality Rating Guide". Marzo 1980.
4. CATALAN LAFUENTE, JOSE. "Química del Agua". Primera edición, Madrid, 1969.
5. CHANG, C.K. "Water Quality Considerations in Malaysia's First Waterflood". Feb. 1984.
6. EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY. "Water Treatment and Injection". Surface Facilities School - Vol. III, April 1985.
7. FRIAS MENDOZA, ANTONIO. "Curso Regional de Tratamiento de Aguas Residuales". Subdirección de Inge-

- niería de Proyectos Para Plantas Industriales, I.M.P. México, 1986.
8. GILES, RANALD. "Mecánica de los Fluidos e Hidráulica". Segunda Edición, Series Mac graw - Hill, 1967.
 9. GORDON MASKEW, FAIR y otros. "Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales". Vol. II, Primera Edición, México, 1973.
 10. GOULDS PUMPS INC. "Goulds Pumps Manual". Fourth Edition, New York - Usa, 1982.
 11. KNOWLESS, PAUL. "Sacha Waterflood: Preliminary Design". April 1984.
 12. LORY MENDOZA, ALBERTO. Seminario "Tratamiento de Agua de Inyección y Producción en Campos Petroleros". Ancón, Diciembre 1986.
 13. MEJIA BALSECA, KENNETH. "Diseño de un Oleoducto Secundario desde un Campo Petrolero hasta la Estación de Recolección y Bombeo". Tesis de Grado ESPOL 1986.
 14. NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. "Design and Operation of Stripping Columns for Removal of

- Oxygen from Water". Houston - Texas . USA, Dec. 1977.
15. NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. "Methods for Determining Water Quality for Subsurface Injection Using Membrane Filters". Houston - Texas. USA, Feb. 1973.
 16. NORDELL, ESKEL. "Tratamiento de Agua Para la Industria y otros Usos". Segunda Edición, México, 1961.
 17. PATTON, CHARLES. "Oilfield Water Systems". Second Edition, USA, 1981.
 18. PERRY and SHILTON. "Chemical Engineers Handbook". Second Edition, USA, 1941.
 19. POWDELL, SHEPPARD. "Acondicionamiento de Agua Para la Industria". Primera Edición, México, 1966.
 20. ROSALES, ALFONSO. "Apuntes de Bombeo y Compresión". Facultad de Ingenieria - UNAM, México, 1983.
 21. SERCK BAKER INC. "Water treatment for Sacha Waterfoold Project." 1984.

22. SMITH, CHARLES ROBERT. "Mechanics of Secondary Oil Recovery". Department of Petroleum Engineering Of University of Wyoming, USA, 1975.

23. TEXACO PETROLEUM COMPANY. "Practical Engineering Aspects of Waterflooding, (Surface Equipment), Section B, Jul. 1978.

24. VAN LOON, JON C. "Chemical Analysis of Inorganic Constituents of Water". Dpt. of Geology and Chemistry, University of Toronto, Canada, 1985.

