

99 24



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA  
REMOCION DE ARSENICO DEL AGUA DE POZOS,  
MEDIANTE EL PROCESO DE COAGULACION-  
FLOCULACION.”

TESIS MANCOMUNADA

Que para obtener el Titulo de  
INGENIERO QUIMICO  
presentan

BERNARDO SOLIS VANEGAS  
EVANGELINA MORALES GALVAN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1990



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

CAPITULO	TEMA	PAGINA
I	ALCANCES Y LIMITACIONES	1
	DIAGNOSTICO	1
	ESTUDIOS FISICOQUIMICOS	17
	RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO	28
II	TEORIA GENERAL DEL COAGULACION - FLOCULACION	36
III	METODOLOGIA DE PRUEBA	53
IV	PRUEBA DE JARRAS	60
V	DISENO DE PROTOTIPO	89
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
VII	BIBLIOGRAFIA	144
	ANEXOS	151

## CAPITULO I

En este capítulo se resumen los estudios realizados por el Instituto SEDUE sobre el hidroarsenicismo en la Comarca Lagunera por distintas Instituciones de investigación abarcando diferentes procesos fisicoquímicos que son integrados en el Proyecto denominado "Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera", mismos que se describen en forma resumida, abarcando desde el diagnóstico de la región, hasta dos estudios de procesos fisicoquímicos, el primero corresponde a un estudio de factibilidad técnico-económico de remoción de arsénico por coagulación-floculación, através del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el segundo realizado por la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Autónoma de Coahuila, denominado tratamiento del agua de pozo por el método de Intercambio Iónico.

### ALCANCES Y LIMITACIONES

El desarrollo del presente trabajo, pretende llevar a cabo el diseño de un prototipo de una planta de tratamiento por coagulación-floculación, a nivel de proceso, para el tratamiento de agua de pozos y hacerla apta para consumo humano con un menor costo y de una óptima calidad. Los resultados encontrados permiten proponer el desarrollo del prototipo y su evaluación en campo, siendo esta una alternativa tecnológica viable.

### DIAGNOSTICO.

El recurso hidráulico en la región, es un factor importante para el desarrollo económico de la Región Lagunera, ya que se basa en la agricultura y ganadería, así como en las actividades comerciales e industriales derivadas de ellas.

La Región Lagunera cuenta con las aguas de los Ríos Nazas, Aguanaval y la del acuífero de aguas subterráneas, la disponibilidad del agua de Río Nazas se encuentra estadísticamente asegurada. (fuente de agua de buena calidad).

La del Río Aguanaval es errático , pero se cuenta con la infraestructura hidráulica suficiente para que sean utilizadas las avenidas, mientras que el agua subterránea presenta serios problemas tanto de disponibilidad como de calidad.

El acuífero de la Región Lagunera, recargado principalmente por las infiltraciones en los cauces de los ríos Nazas y Aguanaval, presenta para el desarrollo regional, una fuente de agua de buena calidad que fue explotada en el lugar requerido y en el momento necesario, sin que nadie tomara en cuenta su capacidad real de explotación, conduciendo en pocos años a un abatimiento de los niveles, desde 20 mts. en 1930 a 120 mts. en 1984 , con un promedio anual, en los últimos años de 200 mts.; paralelo a este problema y sin que se haya podido comprobar la calidad del agua a disminuido con el incremento en la concentración de sales, en las áreas más retiradas de la zona de recarga del acuífero, teniendo como resultado la imposibilitación de su uso para consumo humano y para su uso agrícola, en buena parte de los municipios de San Pedro y Francisco I. Madero, Coahuila , Tlahualilo y Mapimi , Durango.

El contaminante más peligroso para consumo humano que se ha presentado en esta agua , es el arsénico , por su alta toxicidad y su propiedad acumulativa en los seres vivos, y que se ha venido relacionando con diversas enfermedades que presentan algunos habitantes de esta zona.

La norma internacional establecida por la organización mundial de la salud (OMS) sobre la calidad del agua , establece como máximo permisible para consumo humano una concentración de 0.05 mg/ l de As encontrándose que una gran cantidad de pozos producen agua con concentraciones superiores a este valor. Por lo que es indispensable la detección del total de pozos contaminados, delimitándolos de ser posible en una zona que permita su atención para la prevención de los problemas de salud que ocasionan.

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, realiza este trabajo con el objeto de reconocer la situación actual del problema, delimitando las zonas afectadas, llevando acabo un monitoreo de actualización de esta zona y experimentando paralelamente el método de Osmosis Inversa para remover arsénico del agua .

#### DESCRIPCION DE LA REGION.

La Comarca Lagunera se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica No 36 correspondiente a la división hidrológica que en el país hizo la S.A.R.H., la cual está integrada básicamente por la cuencas cerradas de los ríos Nazas y Aguanaval, así como una fracción del Bolsón de Mapimi.

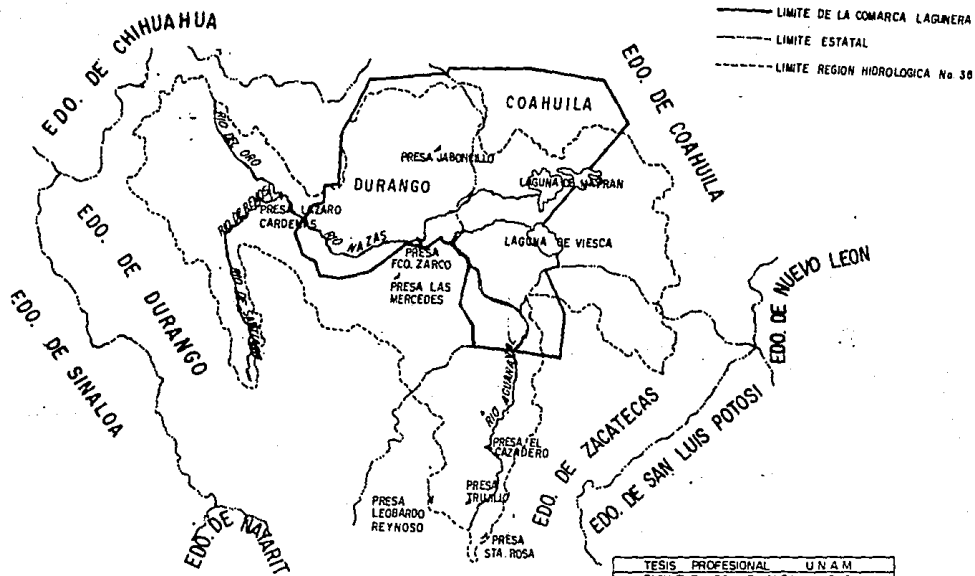
La explotación del Acuífero en la Comarca Lagunera se ubica en los municipios de Francisco I. Madero, Matamoros , San Pedro, Torreón y Viesca en el estado de Coahuila., y Gómez Palacios, Lerdo, Mapimi y Tlahualilo, en el estado de Durango, localizada en la parte norte del Altiplanicie Mexicana y al sur del Bolsón Mapimi.

El Sistema Hidrológico superficial lo forman los ríos Nazas , Aguanaval y varios arroyos que escurren en una cuenca cerrada en la parte noroeste de la misma. El Sistema Hidrológico Subterráneo está constituido por el Acuífero de la Comarca Lagunera, el cuál se encuentra actualmente sobre explotado.

#### DESCRIPCION DROGRAFICA.

La Comarca Lagunera presenta dos zonas con características diferentes, la primera zona está formada por una gran planicie que solo se ve interrumpida de cuando en cuando por algunas elevaciones de poca consideración en la parte norte y noroeste como el Cerro Colorado (entre Bermejillo y Tlahualilo ) y una serie de pequeños conos

# REGION HIDROLOGICA No. 36



TESIS PROFESIONAL U.N.A.M.
FACULTAD DE QUIMICA 1990
REGION HIDROLOGICA No. 36
PLANO DE LOCALIZACION DE 'C. LAGUNERA'

situados entre Tlahualilo y San Pedro de las Colonias y por las Sierras de San Lorenzo el Tabaco y la Azucena que cubre una superficie considerable así como numerosas dunas arenosas de poca elevación las cuales ocupan en la parte sur y este de la Comarca, la extensión importante , interponiendo la continuidad de la planicie entre Matamoros y Viesca y entre Matamoros y San Pedro de las Colonias.

La segunda zona esta constituida por diversas sierras teniendo como principales las siguientes : al norte las Sierras de la Campana, Tlahualilo y la de los Alamitos al sur de las de Santiago y Jimulco; al este la Sierra de Parras y al oeste del Sarnoso, Mapini, de los Alamos y de la Cadena .

#### CLIMA.

EL Clima es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica precipitación pluvial y en forma aleatoria, alcanzando un promedio anual entre 200 y 300 mm en la mayor parte de la región y de 400 y 500 en la zona montañosa, el promedio anual de evaporación alcanza la cifra de 2600 mm ; superior 11 veces a la precipitación media anual de la región .Es por esto que la precipitación pluvial es insuficiente para una agricultura de temporal desarrollada, no habiendo corrientes permanentes que permitan el riego por escurrimiento de las superficies cultivadas, ni mucho menos que algún volumen de precipitación recargue los mantos acuíferos.

#### TEMPERATURA.

La temperatura media anual es de 20 °C, presentando en el área de la Llanura y gran parte de la zona montañosa dos periodos bien definidos : el primer periodo comprende siete meses, desde abril hasta octubre, en los que la temperatura media mensual excede los 20 °C y el segundo periodo, abarca de noviembre a marzo, en que la temperatura media varia entre los 13.6°C y los 19.4 °C . Los meses calurosos son los de -



mayo, junio, julio y agosto con una temperatura media que oscila entre los 25 y los 27°C. Los meses más frios son diciembre y enero con un promedio de temperatura de 5.8°C. Por lo tanto el factor climático no presenta ningún beneficio para el acuífero. El agua del subsuelo varía en su calidad de acuerdo al punto de ubicación como la profundidad a la que se extraiga.

#### CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE.

Se tienen :

182,000 Ha de labor agrícola.

76,000 Ha no laborables.

4'541,638 Ha no cultivables.

1,874 Ha de uso urbano.

Dentro del abanico aluvial que han formado los ríos Nazas y Aguanaval se encuentran los mejores suelos de la región : 220,000 Ha., susceptibles de riego, de las cuales 120,000 se clasificaron como de primera clase, se cultivan un promedio de 72,213 Ha., con agua subterráneas y 112,000 Ha con aguas superficiales.

Del censo pecuario de 1984 se tienen; 18'222,030 aves, 583,213 caprinos y 302,304 bovinos, 200,162 porcinos y 23,600 equinos.

Esta región es una próspera zona productora vinícola y nogalera con 30,874 y 1,483 toneladas respectivamente. Con un total de 5,613 Ha., de vid y 1,813 de nogales.

Las industrias más importantes de la región son : fabricación de aceites y mantecas vegetales, elaboración de productos químicos, metalurgia, fabricación de vinos y licores, hilados y tejidos, molinos de trigo.

Todo este desarrollo agropecuario e industrial a tenido como base principal el agua. Por lo que se ha trabajado para aumentar la productividad agricola con los recursos técnicos adecuados, sin necesidad de aumentar las dotaciones de agua .

#### GEOLOGIA SUBTERRANEA.

El subsuelo de la Comarca Lagunera está constituido por el relleno détrico de una profunda depresión, integrada la parte meridional por gruesos bancos de caliza cretásica apoyada a su vez en pizarras arcillosas y areniscas jurásicas, sedimentos marinos.

Durante la década de 1940 se inicio la explotación intensiva del recurso hidráulico subterráneo ; en 1958 se alcanzo el máximo estimado en 1,500 millones de metros cubicos, disminuyendo en los siguientes años debido a la inutilización , por el rápido descenso de los niveles del agua, con las consiguientes extinciones de algunos acuíferos ; de 1970 a 1977 se realizaron solo 61 perforaciones, de 1976 a 1977, solo cuatro pozos, debido a las restricciones para perforar pozos surtieron efecto, ademas muchos pozos causaron caducidad por no apearse a las disposiciones de los decretos de veda, o por cumplir el tiempo necesario para caducar, si el pozo no se encontraba operando. En 1977 existian 829 pozos caducos de 15 años a la fecha, las extracciones se estabilizaron de los mil millones de metros cubicos por año, volumen captado a través de unos 2,400 pozos activos.

La rehabilitación del Distrito realizada en el lapso 1963- 1972 modifico las condiciones geohidrológicas en la llanura, en forma adversa para el acuífero.

El abastecimiento de los niveles piezometricos, trajo consigo varios efectos colaterales.

Tales efectos repercuten solo en el costo de bombeo, reposición o equipamiento de motores de mayor potencia.

#### INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA.

Distribución de los 2,879 aprovechamientos subterráneos en la Comarca Lagunera

ESTADO	APROVECHAMIENTO	EXTRACCION ANUAL M3
Cohauila	1,451	580'820,000
Durango	1,428	308'850,000
TOTAL	2,879	889'670,000

#### CALIDAD DEL AGUA.

La calidad del agua subterránea es muy heterogenea, dadas las características geoquímicas del acuífero. Los principales contaminantes de esta son : arsénico, sales (sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, calcio y magnesio ). La contaminación tiene importancia de acuerdo al uso que se le va a dar al agua, para tal caso se tomaron pozos piloto que maneja la S.A.R.H., los cuáles son representativos por sus características propias de cada uno de ellos.

La tabla 1.1 muestra datos estadísticos de los pozos de aguas subterráneas que exralimitan la norma de 0.05 mg/ l de arsénico, estableciendose familias con diferentes rangos para cada uno de los municipios, cuantificandose el porciento de pozos malos ( con mayor de 0.05 mg/l de As ) y el porciento de pozos buenos ( concentración menor o igual a 0.05 mg /l de As ).

TABLA 1.1

**RANGOS DE CONCENTRACION DE ARSENICO Y PORCIENTO DE  
POZOS MALOS (ARRIBA DE 0.05 mg/l DE As) Y POZOS BUENOS  
(ABAJO DE 0.05 mg/l DE As), EN LOS MUNICIPIOS QUE INTEGRAN  
LA COMARCA LAGUNERA, COAHUILA Y DURANGO**

CONC. DE As mg/l	TORREON	FCO. I. MADERO	MATAMOROS	SAN PEDRO	GOMEZ PALACIO	LERDO	MAPIMI	TLAHUALILO	Σ POZOS	%
0 - 0.05	9	3	19	3	25	16	2	5	82	42.05
0.05 - 0.10	3	8	11	5	11	5	1	2	46	23.59
0.10 - 0.15	0	2	0	7	1	1	0	1	12	6.15
0.15 - 0.20	0	1	3	3	2	0	0	5	14	7.18
0.20 - 0.25	1	2	3	1	0	0	0	0	7	3.59
0.25 - 0.30	0	3	1	3	0	0	1	2	10	5.13
0.30 - 0.35	0	2	0	3	0	0	0	1	6	3.08
0.35 - 0.40	0	0	0	1	0	0	0	1	2	1.03
0.40 - 0.45	0	0	0	2	0	0	0	2	4	2.05
0.45 - 0.50	0	1	0	2	0	0	0	0	3	1.54
0.50 - 0.55	0	1	0	0	0	0	0	2	3	1.54
0.55 - 0.60	0	3	1	0	0	0	0	1	5	2.56
0.60 - 0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.65 - 0.70	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.51
TOTAL POZOS	13	26	38	30	39	22	4	23	195	100
TOTAL %										
% POZOS MALOS	30.77	88.46	50	90	35.90	27.27	50	78.26	57.95	
% POZOS BUENOS	69.23	11.54	50	10	64.10	72.73	50	21.74	42.05	

La tabla 1.2 muestra las superficies y los volúmenes utilizados para los principales cultivos de la región ( sandía, maíz, algodón, trigo, cártamo, frijol, nopal, alfalfa, vid y melón ) que son regados con aguas subterráneas . La tabla 1.3 presenta los cultivos principales y valores de producción mediante graficas de barras en los cuales se incluyen los principales cultivos de la región y su producción .

la tabla 1.4 presenta la densidad de población y las actividades predominantes en los municipios que integran la Región Lagunera.

Se presentan además el plano de la zona conurbada de la Región Lagunera (Coahuila-Durango ), con los rangos de población de menos de 200 habitantes, entre 201 y 499 habitantes entre 500 y 1,000 habitantes, ( plano 1.1 ).

Se estableció la ubicación de poblaciones en la zona de mayor concentración de arsénico en aguas subterráneas ( Oztanduri, El Venado, El Salvador, Nuevo Mundo, El Cantabro y Sofia de Arriba entre otros ).

Plano 1.2 contiene los pozos de agua subterránea de los cuáles se clasificaron de acuerdo al siguiente rango:

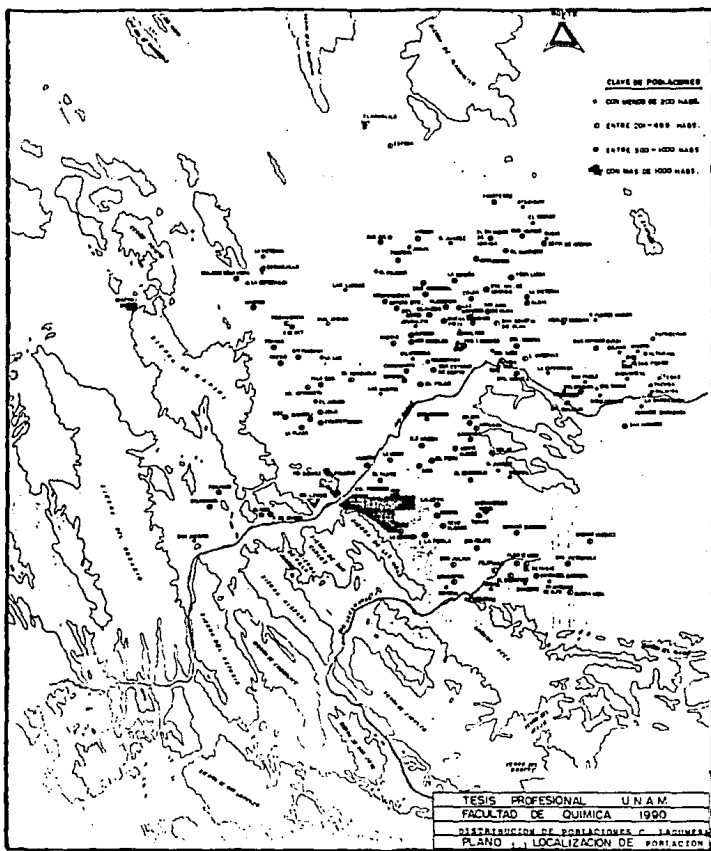
Agua de buena calidad	0.05 mg/ l de As.
Agua de regular calidad	entre 0.051 - 0.01 mg/ l de As.
Agua de mala calidad	con 0.101 - 0.25 mg / l de As.
Agua de muy mala calidad	0.25 mg / l de As.

Estos planos (1.1 y 1.2 ) se pueden poner uno encima de otro con el objeto de poder observar las poblaciones que tienen problemas de hidroarsenicismo .

TABLA 1.2 Uso del agua subterranea en la Región Lagunera.

U S O	HABITANTES	VOLUMEN ANUAL EN H <sup>3</sup>	CANADO		VOLUMEN ANUAL EXTRAÍDO EN H <sup>3</sup>	HECTAREAS	VOLUMEN ANUAL EXTRAÍDO EN H <sup>3</sup>	VOLUMEN TOTAL ANUAL EXTRAÍDO EN METROS CUBICOS
			MAYOR	MEJOR				
DOMESTICO	892,897	44'991,152	-	-	--	-	-	44'991,152
PECUARIO	-	-	13,662	3,220	429,002	-	-	429,002
AGRICOLA	-	-	-	-	-	59,648	797'336,940	797'336,940
INDUSTRIAL	-	-	-	-	-	-	-	5'295,800
ENERGIA ELECTRICA	-	-	-	-	-	-	-	8'031,000
RECREATIVO	-	-	-	-	-	-	-	741,400
* OTROS	-	-	-	-	-	-	-	1'501,000
DOMEST/PECUARIO	45,086	1'631,330	14,919	16,680	588,941	-	-	2'220,271
DOMEST/AGRICOLA	21,726	945,548	-	-	-	990	11'563,100	12'508,648
PECUARIO/AGRIC.	-	-	51,833	16,934	1'671,850	6,829	114'362,800	116'034,650
DOMEST/PECUARIO/	-	-	-	-	-	-	-	-
AGRICOLA	9,299	70,754	12,793	7,872	444,899	2,422	32'483,500	32'909,154
* OTRAS COMBINACIONES	38,577	1'761,455	3,523	3,523	9,936	467	5'944,900	11'029,494
SIN USO	-	-	-	-	-	-	-	-
T O T A L E S .	1'007,565	49'440,239	96,730	54,642	3'328,232	70,334	961'691,240	1'033'118,512

- \* OTROS: Avícola, Mejoramiento ambiental, acuacultura, servicios públicos y lavado de tierra.
- \* \* Otras combinaciones: avícola-agrícola, cualquier combinación.



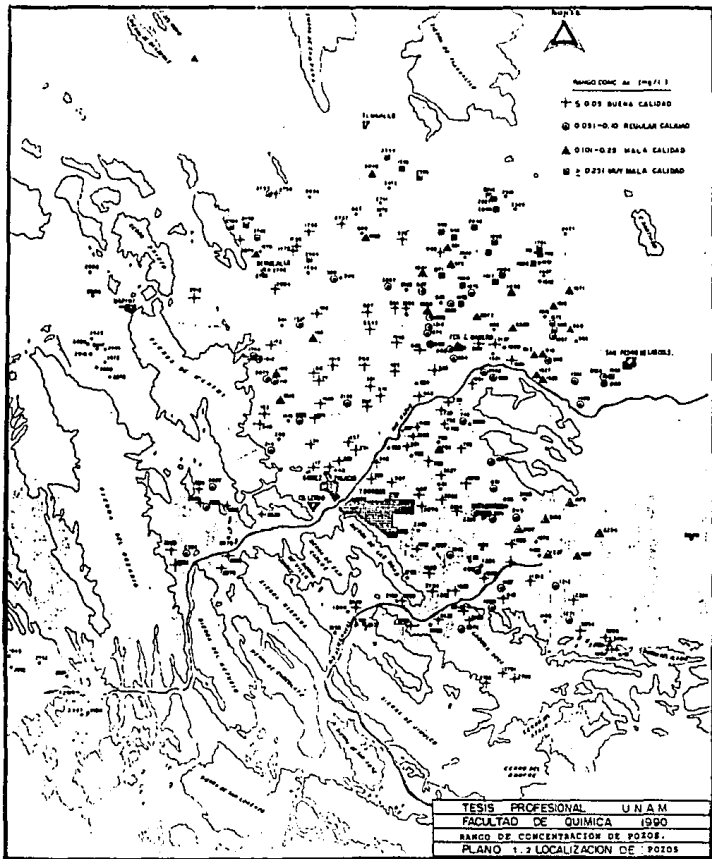




TABLA 1.4 Densidad de población predominante en los municipios de la región lagunera Coahuila, Durango.

MUNICIPIOS EDO. DE COAH.	AREA Km <sup>2</sup>	POBLACION				DENSIDADES (HAB./Km <sup>2</sup> ).			
		CENSO 1960	CENSO 1970	ESTIMADA 1978	ESTIMADA 1984	1960	1970	1978	1984
FCO. I. MADERO	4,933.9	35,466	37,343	39,200	40,772	7.19	7.57	7.94	8.26
MATAMOROS	1,003.7	46,631	44,441	45,000	45,522	46.46	44.28	44.83	45.35
SAH PEDRO	9,942.4	70,391	72,834	74,000	76,890	7.08	7.33	7.46	7.73
TORREON	1,947.7	203,153	250,524	352,900	406,862	104.30	128.63	181.19	239.70
VIESCA	4,203.5	14,528	16,146	18,000	19,668	3.46	3.84	4.28	4.67
MUNICIPIOS EDO. DE DGO.									
GOMEZ PALACIO	990.2	1083,544	132,631	191,500	256,069	104.57	133.94	193.40	258.60
LERDO	1,868.8	39,232	55,306	76,300	93,658	20.99	29.59	40.83	50.11
MAPIMI	7,126.7	19,325	19,096	19,200	19,296	2.71	2.68	2.69	2.70
TLAHUALILO.	3,709.8	18,352	22,423	27,100	31,312	4.95	6.04	7.30	8.44

NOTA: Los municipios faltantes de la Región Lagunera en el estado de Durango se omitieron por carecer de datos.

TABLA 1.4 Actividades predominantes en los municipios de la región lagunera, Coahuila, Durango.

MUNICIPIOS	ACTIVIDAD PREDOMINANTE			
	AÑO 1960	AÑO 1970	AÑO 1978	AÑO 1984
FCO. I. MADERO	X	X	X	X
MATAMOROS	X	X	X	X
SAN PEDRO	X	X	X	X
TORREON	*	*	*	*
VIESCA	X	X	X	X
GOMEZ PALACIO	X	X	*	*
LERDO	X	X	X	X*
MAPIMI	X	X	X	X
TLAHUALILO	X	X	X	X
X	AGROPECUARIA			
*	SERVICIOS			

El diagnóstico resumido anteriormente fue elaborado por el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología en la Laguna, A. C., Escuela de Ingeniería Civil 1984-1985, para el Instituto Sedue, dentro del proyecto mencionado anteriormente, con el fin de resolver en forma inmediata el problema del hidroarsenicismo, el cual se acentúa en la parte noroeste de Francisco I. Madero, Coahuila, y el área del municipio de Tlahualilo, Dgo., que de acuerdo con los estudios geohidrológicos con que cuenta la delegación Sedue en la región, adoptándose el criterio de pegarse a los antiguos cauces del río Nazas y seleccionándose los Ejidos Porvenir, Florida y Nuevo León en el municipio de Francisco I. Madero para la perforación de 15 pozos, los cuales se interconectarían para el suministro de agua de buena calidad a las poblaciones del área del Finisterre, Madero y San Pedro de las Colónias, Coah., así mismo se recomienda la construcción de tanques de almacenamiento en cada una de las poblaciones según las recomendaciones del proyecto definitivo que consisten en tanques elevados y tanques superficiales para poblaciones menores o iguales a 300 y 750 habitantes, así como para poblaciones mayores. En el estudio se ilustran los ramales y líneas de conducción del sistema Finisterre por considerarse el más crítico y afectado por la contaminación por arsénico, su perfil hidráulico de la fuente de captación a las interconexiones en los cruceros para optimizar el manejo de las redes del sistema.

En lo que respecta a la ubicación de las plantas potabilizadoras para la remoción de arsénico, se recomienda que sea terreno del Ejido de Nuevo León, por la cercanía de las futuras fuentes y por el terreno disponible. Así mismo, se domina el surtimiento de agua tratada para las poblaciones de San Pedro, Francisco I. Madero y posibilidades de dotar al Municipio de Tlahualilo, Dgo., dentro del mismo se presenta el presupuesto del estudio de factibilidad para el suministro de agua potable a los sistemas rurales Madero, Finisterre, San Pedro y las ciudades de Francisco I. Madero y San Pedro del Estado de Coah. que a pesar de las limitaciones de tiempo y presupuesto que se presentaron los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

De los estudios fisicoquímicos realizados dentro de este proyecto se describen los resultados encontrados: La coagulación es el proceso más conveniente hasta el momento para la remoción de arsénico, siendo más eficientes las sales de hierro para lograrlo. Además, para hacer técnicamente posible el tratamiento se debe investigar sobre la estabilidad y disposición de los lodos producidos, así como llevar un estudio a nivel de planta piloto para lograr una evaluación económica que satisfaga la posibilidad del tratamiento con estos dos enfoques.

Con la selección del proceso y reactivos con los cuales se obtuvieron mejores resultados, se requería continuar la investigación a nivel piloto para obtener resultados más confiables; Además de que no es posible desligar del tratamiento el estudio de la disposición de los lodos producidos.

A continuación se presenta un resumen del estudio técnico:

#### REVISION BIBLIOGRAFICA.

Bajo condiciones reductoras, valores negativos de potencial redox ( $E_h$ ), la forma de arsénico que predomina en el agua es la reducida ( $As^{3+}$ ), forma que resulta más tóxica y más difícil de eliminar mediante los procesos convencionales recomendados de tratamiento que cuando se encuentra oxidada ( $As^{5+}$ ).

De la búsqueda bibliográfica se obtuvieron técnicas factibles para la remoción de arsénico, a continuación se resumen algunas posibles alternativas:

##### a) Filtración.

La filtración con arena o antracita es un proceso lento y con baja capacidad de eliminación, Shen (Ref 2) realizó pruebas filtrando agua que contenía 0.85 mg/l de arsénico usando para ello dichos lechos. A menores velocidades de flujo por unidad de área se obtuvieron mejores eficiencias.

Resultando más eficiente la arena, cuya capacidad fue de 27.5 mg. de arsénico por kilogramo de arena para un flujo de 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, correspondiéndole un gasto de 1.5 l/día.

La importancia de la remoción de arsénico por filtración con arena se debe a la estabilidad de las sales formadas, incluso al ataque del ácido clorhídrico.

#### b) Coagulación.

En general todos los trabajos revisados usaron en la experimentación las sales de Aluminio y Hierro  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ , incluyendo cada autor las variantes que consideró importantes. La mayoría preparó soluciones con sales de arsénico pentavalentes para llevar a cabo sus pruebas.

Gastón Mendoza (Ref 7), experimentó con agua de varios pozos de la Comarca Lagunera, dosificando coagulantes como  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$  y  $Al_2(SO_4)_3$ . La tabla 1.5 especifica la caracterización del agua de los pozos. Realiza todas las pruebas con equipo de jarras bajo las siguientes condiciones: Mezcla rápida a 100 RPM durante un minuto, floculación 40 RPM durante 20 minutos y a 20 RPM durante 10 minutos y sedimentación durante 30 minutos. Obtuvo las mejores eficiencias de remoción con Sulfato Férrico y Cloruro Férrico, descartando éste último por su elevado costo. Al realizar pruebas con Sulfato de Aluminio bajo las mismas condiciones y concentraciones de los otros coagulantes, no logró niveles de remoción deseables.

En la tabla 1.6 se resumen las mejores condiciones de remoción obtenido de las pruebas. Dependiendo de la concentración inicial de arsénico, fue la dosis de  $FeCl_3$ , o  $Fe_2(SO_4)_3$ , necesaria para lograr el nivel de remoción deseado. Así para remover 0.36 mg/l de As, se necesitaron dosis de 30 mg/l de  $FeCl_3$  o  $Fe_2(SO_4)_3$ ; En cambio, para remover 1.3 mg/l de As fueron necesarias dosis superiores a 60 mg/l de esos coagulantes. En el caso del Sulfato de Aluminio se necesitaron dosis superiores a 60 mg/l para remover concentraciones de arsénico de 0.36 mg/l. Concluye Mendoza que la concentración de coloides, pH, alcalinidad, tipo y dosis de coagulante son las variables que afectan el proceso de remoción.

Shen (Ref 2), Grupta (Ref 6), Sorg (Ref 3) y O'Connor (Ref 13); Concluyeron que se obtiene mejor remoción de arsénico en su forma  $As(+5)$  que  $As(+3)$ . Por tanto, usan oxidantes tales como  $Cl_2$ ,  $KMnO_4$  u  $O_3$ ; aunque con éste último el proceso es muy lento.

TABLA 1.5 CARACTERIZACION DEL AGUA DE LOS POZOS DE LA COMARCA LAGUNERA  
(mg/l) (Ref. 7 ).

PARAMETRO	SAN SALVADOR	ESPERANZA	FINISTERRE
pH <sup>§</sup>	8.4	8.7	8.1
Sólidos totales	260	1520	1060
Sólidos disueltos	240	1500	1040
Sólidos suspendidos	20	20	20
Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	140	278	194
Alcalinidad de carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	8	20	4
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	32	76	104
Dureza de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	24	56	92
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	8	36	52
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	56	720	520
Hierro	0	0	0.25
Manganeso	0	0	0
Arsénico	0.45	1.3	0.36

§Adimensional.

La tabla 1.7 resume las mejores condiciones de remoción obtenidas por autor, describiendo algunas de las condiciones más importantes en la remoción.

Los resultados obtenidos de la coagulación son los siguientes: El Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> es más efectivo que los otros coagulantes, el proceso se debe realizar previa oxidación con Cl<sub>2</sub>, que resulta ser el mejor de los probados, las pruebas deben hacerse a pH menor de 7, sin embargo, por eficiente que sea el coagulante Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, bajo las condiciones probadas no se logrará la remoción de concentraciones de arsénico superiores a 1.5 mg/l al nivel permisible de 0.05 mg/l.

TABLA 1.6

 CARACTERISTICAS DE LAS MEJORES CONDICIONES LOGRADAS DE REMOCION  
 POR MEDIO DE COAGULACION (REF. 7)

NO.	POZO As mg/l	COAGULANTE	DOSIS mg/l	pH	ARSENICO		CALIDAD DEL EFLUENTE (mg/l).			
					DECANTADO	FILTRADO	AF/AT	Cl <sup>-</sup>	SD	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>
1	0.45	FeCl <sub>3</sub>	40	8.2	0.008	0	4/134	32	260	--
2	1.3	FeCl <sub>3</sub>	60	8.3	0.016	0.072	12/258	56	1500	--
3	0.36	FeCl <sub>3</sub>	30	8.3	0.018	0	6/186	64	1000	--
1	0.45	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	40	7.8	0.1	0.006	0/59	--	---	84
2	1.3	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	60	7.9	0.27	0.016	1/119	--	---	780
3	0.36	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	8.1	0.044	0.006	6/98	--	---	530
1	0.45	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	50	7.5	0.288	0.124	6/140	--	---	76
2	1.3	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	60	7.5	0.62	0.312	32/256	--	---	710
3	0.36	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	60	7.4	0.072	0.068	12/172	--	---	510

AF/AT RELACION ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL.



TABLA 1.6

 CARACTERISTICAS DE LAS MEJORES CONDICIONES LOGRADAS DE REMOCION  
 POR MEDIO DE COAGULACION (REF. 7)

NO.	POZO As mg/l	COAGULANTE	DOSIS mg/l	pH	ARSENICO		CALIDAD DEL EFLUENTE (mg/l).			
					DECANTADO	FILTRADO	AF/AT	Cl <sup>-</sup>	SD	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1	0.45	FeCl <sub>3</sub>	40	8.2	0.008	0	4/134	32	260	--
2	1.3	FeCl <sub>3</sub>	60	8.3	0.016	0.072	12/258	56	1500	--
3	0.36	FeCl <sub>3</sub>	30	8.3	0.018	0	6/186	64	1000	--
1	0.45	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	40	7.8	0.1	0.006	0/59	--	---	84
2	1.3	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	60	7.9	0.27	0.016	1/119	--	---	780
3	0.36	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	8.1	0.044	0.006	6/98	--	---	530
1	0.45	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	50	7.5	0.288	0.124	6/140	--	---	76
2	1.3	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	60	7.5	0.62	0.312	32/256	--	---	710
3	0.36	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	60	7.4	0.072	0.068	12/172	--	---	510

AF/AT RELACION ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL.

TABLA 1.7

RESUMEN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE REMOCION OBTENIDAS POR COAGULACION.

AUTOR	OXIDANTE mg/l			COAGULANTE mg/l			CONCENTRACION DE As (V) mg/l		pH	EFICIENCIA	OBSERVACIONES
	O <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	KMnO <sub>4</sub>	FeCl <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	INICIAL	FINAL			
V. S. Shen (Ref. 1)		20		30 50			1.0 0.8	0.08 0.01	6.8 ---	98 98	As (III)
J. H. Cullledge (Ref. 7)						10-50	0.05	0.002	6.75	94-99	As (V)
J. T. O'Connor (Ref. 5).						30	0.05	0.003	5-7	95	As (III)
T. J. Sorg* (Ref. 3).		2 2			30  30	30 30	0.3 0.3 1.5 1.5	0.03 0.015 0.05 0.05	6-6.5 6-7.5 5.7-8.0 7	90 95 95 95	As (III) As (V)
R. Kunin (Ref. 8)*						25	1.0	0.01	7.0	99	As (V) Fe/As = 10 Ca

\* ES EL RESUMEN DE LOS ESTUDIOS DE OTROS AUTORES.

En algunos de los trabajos citados se concluye que, cuando la concentración de arsénico en su forma As(III) es menor que 0.1 mg/l no se necesita usar un oxidante para lograr la remoción eficientemente.

c) Adsorción.

Proceso fisicoquímico que depende del tipo y área del adsorbente, concentración y naturaleza del soluto y otros iones presentes, velocidad de flujo, pH y temperatura. Entre los adsorbentes más usados se encuentra carbón activado, alúmina y antracita.

De resultados reportados, el mejor adsorbente, por su capacidad para agotarse y regenerarse, es la alúmina activada. Sin embargo, las capacidades de adsorción no son del todo representativas, porque en forma global, se necesitan aproximadamente 1.4 g / l de alúmina para adsorber 0.81 mg/l de arsénico.

Para lograr esos niveles de remoción se necesita mantener gastos constantes del orden de 30 ml/min. Se limita la aplicación de este proceso de tratamiento por los bajos flujos de agua por unidad de superficie y por la recuperación parcial del adsorbente.

De la misma manera que el caso de la coagulación, la mejor remoción de arsénico se obtiene oxidándolo a su forma pentavalente As(V).

d) Otros.

Dentro de los procesos de tratamiento se clasifican el intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodiálisis. Son procesos de tratamiento muy eficientes, de aplicación específica implantados en sistemas donde se requieren suministros de agua de muy buena calidad (industrias alimenticias, farmacéuticas, producción de vapor, etc). Además de no disponer de tecnología nacional apropiada, demandan personal técnicamente capacitado que es limitado, y en algunos casos producen aguas residuales altamente contaminantes. Por tal motivo se se consideran como procesos de poca aplicación en sistemas de potabilización.

Existen otros trabajos de investigación sobre la remoción de arsénico, combinando procesos (coagulación-filtración-adsorción); sin embargo, como se han hecho a escala laboratorio, no es posible asegurar que sea una forma técnicamente efectiva de tratamiento. Clifford y colaboradores resumen en la tabla 1.8 la capacidad que tienen los procesos para remover arsénico.

PROYECTO DESARROLLADO POR INST. DE INGENIERIA-UNAM.  
PRUEBAS DE LABORATORIO.

Tomando como base la información recopilada del estudio bibliográfico y seleccionando la coagulación como una de las posibles alternativas de tratamiento, se llevaron a cabo unas pruebas preliminares de remoción.

TABLA 1.8. CAPACIDAD DE REMOCION DE ARSENICO POR DIFERENTES PROCESOS.

PROCESO	MEDIO	pH	REMOCION DE ARSENICO	
			As (+3)	As (+5)
LECHO EMPACADO	Alúmina activada	5.5-7.5	mala	buena
	Resina aniónica	5-9	mala <sup>+</sup>	mala/buenas <sup>‡</sup>
OSMOISIS INVERSA	Acetato de celulosa o Poliamidas aromáticas.	6-8	40-80%	~80%
ELECTRODIALISIS		6-8	40-80%	~80%

<sup>+</sup> Especies sin carga predominan a pH < 9.2

<sup>‡</sup> Mala a pH < 7 ( $H_2AsO_4^-$ ) y buena a pH > 7 ( $HAsO_4^{2-}$ )

Las pruebas de jarras se hicieron bajo condiciones experimentales previamente establecidas en el estudio de Gastón Mendoza. Se hicieron dosificando tres coagulantes,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  y  $FeCl_3$ , modificando con ácido o base el pH de cada muestra. Uno de los resultados más importantes de dichas pruebas fue que, para remover 0.23 mg/l de arsénico del agua de un pozo se necesitan dosis de cloruro férrico y sulfato férrico de 30 mg/l y pHs cercanos a 7. En cambio en el caso de las pruebas con sulfatos de aluminio la misma dosis es insuficiente para formar flóculos a diferentes valores de pH, necesitándose dosis superiores a 60 mg/l para lograrse alguna eficiencia de remoción sin llegar a los valores máximos permisibles. Entre las sales de hierro resulta más eficiente en el tratamiento con cloruro férrico porque el flóculo formado es más grande y la sedimentación es más rápida que con sulfato férrico.

Las pruebas se hicieron con productos químicos grado reactivo, se concluyó que las dosis de coagulantes requeridas dependen de las concentraciones de arsénico y de las características propias del agua de cada pozo, que por muy eficiente que sea la remoción de arsénico, - cuando existan concentraciones elevadas de este elemento, no se lograrán niveles permisibles para uso potable.

#### FACTIBILIDAD ECONOMICA.

La falta de información de investigación sobre la disposición o estabilización de los lodos producidos significa una limitación técnica para el tratamiento de esas aguas. Además, otro aspecto importante es que en la Comarca Lagunera existe un número elevado de pozos contaminados con arsénico y el agua de cada uno de ellos tiene características propias para condiciones específicas de tratamiento. No es apropiado generalizar, con base a pruebas de remoción en algunos pozos, las condiciones de tratamiento en otros.

Desde un punto de vista económico, es posible afirmar, tomando como base el estudio experimental realizado, que el sistema de tratamiento para remover arsénico por coagulación es semejante a los sistemas de potabilización convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección). Sin embargo, por tratarse de la remoción de un tóxico se deberá dar mayor importancia técnica a cada uno de los procesos y considerar el tratamiento y disposición de los lodos.

La factibilidad económica de un sistema de tratamiento de esta índole está sujeta a la economía de los reactivos y al tratamiento y disposición de los lodos; así como a las necesidades de consumo y otras posibles fuentes de abastecimiento más económicas.

Una evaluación preliminar reciente sobre los costos de coagulantes, grado industrial, reporta que cloruro férrico es más costoso que el sulfato de aluminio y este cuesta un poco más que el sulfato férrico, la relación de costos aproximados de estos reactivos es: 1:1:1,44:1 respectivamente.

Sin embargo, aunque técnicamente es posible la remoción de arsénico con sales de hierro, económicamente el tratamiento estará sujeto a otros factores preponderantes diferentes a la simple relación de costos por reactivo.

#### Conclusiones.

La siguiente tabla 1.9 resume los principales aspectos técnicos y económicos correspondientes a los resultados obtenidos.

TABLA 1.9

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON REACTIVOS DE LABORATORIO (Q.P) DE AGUA DE POZOS.

Coagulante	Dosis mg/l	Eficiencias			Relación/ costo \$\$	Comentarios
		pH=6	pH=8	pH=9		
$Al_2(SO_4)_3$	30	0	0	0	1.4	No hay formación de flóculo bajo esas condiciones
$Fe_2(SO_4)_3$	30	98	91	20	1	El mejor flóculo y reacción se logra a pH=6.
$FeCl_3$	30	94	96	94	11	El mejor flóculo y remoción se logra a pH=8 y 9.

\$ Agua del pozo 2.644 "La Esperanza" (0.23 mg/l As).

\$\$ Reactivos uso industrial.

Los resultados hacen ver la posibilidad técnica de remover el arsénico mediante la coagulación con sulfato férrico o con cloruro férrico. Hace falta, sin embargo, estudiar el proceso de manejo de los lodos, ya que estos tendrán un alto grado de toxicidad y deberán manejarse mediante un proceso perfectamente estudiado.

El aspecto de factibilidad económica es más difícil de precisar, ya que además de que tendría que tomarse en cuenta el proceso de manejo de los lodos, el paso del nivel laboratorio al nivel industrial tiene muchas y complejas implicaciones; así por ejemplo, las condiciones y dosificaciones de los reactivos se modifican sustancialmente, el influente tendrá características distintas según el pozo o los pozos de los que provenga; que pueden modificarse con el tiempo, etc.

## TRATAMIENTO CON RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

El tratamiento del agua de los pozos por el método de intercambio iónico constó de 3 partes: la parte I "Estudios Comparativos de las Resinas de Intercambio Iónico Comerciales". Parte II "Síntesis (a escala laboratorio) de las resinas de intercambio iónico específicas para arsénico (en base a materia prima mexicana)". Parte III "Elaboración de Nuevos Métodos de Síntesis para la Obtención de las Resinas de Intercambio Iónico Específico para Arsénico"

El objetivo general.- Resolver el problema de la disminución de la concentración de los iones metálicos (como As, Pb, Bi, Hg y otros), presentes en el agua de pozos usando métodos, técnicas fisicoquímicas y materiales con polímeros activos.

Objetivo Particular.- Elaborar nuevos métodos de síntesis para la obtención de resinas de intercambio iónico específicas para arsénico.

### GENERALIDADES.

Los intercambiadores de iones constan de un esqueleto básico (Matriz) y grupos activos. Se presentan generalmente en forma esférica.

Se designa como intercambio de iones al intercambio reversible entre cantidades equivalentes de iones de igual carga y de un líquido y de los contraiones de carga del mismo signo de los grupos activos de un intercambiador de iones. El intercambio conduce hasta el establecimiento de estados de equilibrio químico, que dependen de la selectividad del intercambiador de iones, de la concentración de iones y de otras magnitudes físicas, como por ejemplo: La Temperatura.

En la tabla 1.10 Se presentan diferentes tipos de resinas de intercambiadores iónicos comerciales, los cuales se utilizaron en investigaciones para disminuir la concentración de As en aguas.



TABLA NO. 1. 10

NOMBRE COMERCIAL DE LA RESINA	PRODUCTOR	FORMULA	REFERENCIAS
<u>CATIONICOS.</u> 1.- Amberlite IR 120	Rohm & Hess	- St/DVB-50 <sub>3</sub> H (8 % DVB)	[22]
<u>Resinas Aniónicas</u>  1. Amberlite CC-400  2. Amberlite IRA-400 Is  3. Amberlite IR-400  4. Dower LX8  5. Bio Rad AC 1 x 8  6. Varion AD  7. Varion AT-4  8. Varion AT-6	Rohm & Hess  " " Dow Chemical Comp  Bio Rads Labs Hungria " "	-St/DVB-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup> " " -St/DVB-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>+</sup> Cl (8% DVB) " " " "	[18]  [22] [23] [23]  [18] [18] [20] [20] [20]

TABLA NO. 1.11

RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO UTILIZADAS EN LAS INVESTIGACIONES.

NO	NOMBRE DE RESINA	PRODUCTOR	TIPO	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO (mEq/g)	GRUPO FUNCIONAL	TAMARO DE PARTICULAS (mm)	CONTENIDO DE H <sub>2</sub> O (%)
I. RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO FABRICADAS EN MEXICO							
1	RES INT RIC 16	RES INT. S. A. MONTERREY	CATIONICO	0.74	- SO <sub>3</sub> X	1.14	38.0
2	RES INT RIC 17	" " "	" " "	0.57	- SO <sub>3</sub> X	1.00	36.0
3	RES INT RIC 20	" " "	MACRORETICULAR	0.48	"	1.50	34.14
4	IR 120 #	QUIMICA *	CATIONICO	1.9	- SO <sub>3</sub> X	0.50	45
5	SB 402 ##	TREPIC, S. A.	ANIONICA	1.2	- N(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Cl	0.62	50
II. RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO EXTRANJERAS.							
6	LENATIT M500 MB	BAYER ALEMANIA LEVERKUSEN	ANIONICA	1.6	- N(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Cl	0.47	40-50
7	LENATIT S100 MB	LEVERKUSEN	CATIONICA	2.2	- SO <sub>3</sub> X	0.46	42-45
<p># EL INTERCAMBIADOR IONICO IR 120 ES LA MISMA RESINA QUE PRODUCE ROHM &amp; HASS (USA) COMO AMBERLITE IR 120.</p> <p>## EL INTERCAMBIADOR IONICO SB 402 ES LA MISMA RESINA QUE PRODUCE ROHM &amp; HASS (USA) COMO AMBERLITE IR 402.</p>							

TABLA 1.12  
COMPOSICION QUIMICA Y PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA DE POZO  
NO. 2338

COMPONENTES.	
1.- Arsénico (mg/l)	0.17
2.- Sulfatos (mg/l)	201.72
3.- Cloruros (mg/l)	11.10
4.- Carbonatos (mg/l)	0.0
5.- Bicarbonatos (mg/l)	82.97
6.- Dureza Total (mg/l).....	150.00
7.- Calcio (mg/l)	52.10
8.- Magnesio (mg/l)	4.86
9.- Alcalinidad total (mg/l)	68.0
10.-Sólidos disueltos totales (mg/l)	400.00
11.-pH	6-7.84
12.- Temperatura (°C)	31-25
13.- Conductividad mohm/cm	640.0

La determinación cuantitativa de Arsénico se realizó por el método de dietil ditiocarbamato de plata. La determinación de conductividad eléctrica del agua de pozo lo realizaron a través de un conductímetro Cheatax tipo 70.

Los resultados se muestran en la tabla 1.13.

TABLA 1.13

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE ARSENICO EN AGUAS DE POZO NO. 3  
 ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO CON RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

	TRANSMITANCIA	CONCENTRACION	CONDUCT. E.
	T ( % )	C (ppm)	
1. Agua ejido 1° de Mayo (antes del tratamiento).	1 66-67.1	2 0.44	3 $8.10^{-4}$
II> Agua después de tratamiento mediante: Resinas de Intercambio iónico (fabricadas en México).			
1. Res Int RIC 16 (Na <sup>+</sup> )	63.0	0.50	--
2. Res Int RIC 17 (Na <sup>+</sup> )	89.0	0.42	--
3. SB 402 (OH <sup>-</sup> )	98.0	0.04	$9.5 \cdot 10^{-3}$
4. SB 402 (Cl <sup>-</sup> )	95.0	0.1	$3.8 \cdot 10^{-3}$
5. IR 120 (Na <sup>+</sup> )	88.0	0.17	$8.10^{-3}$
Resinas de intercambio iónico extranjeras.			
6. Lewatit S 100 (Na <sup>+</sup> )	52.0	0.625	$8.2 \cdot 10^{-4}$
7. Lewatit M.500 MB (OH <sup>-</sup> )	98.0	0.036	$9.4 \cdot 10^{-3}$
8. Lewatit M 500 MB (Cl <sup>-</sup> )	98.0	0.0989	$6.1 \cdot 10^{-3}$

PARTE EXPERIMENTAL.

Consistió en utilizar resinas de intercambio iónico comerciales (ver tabla 1.11). Se utilizo agua del pozo # 3 ubicado en el ejido 1° de Mayo Municipio de San Pedro, Coahuila. La composición se muestra en la tabla 1.12

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Se llenaron seis columnas de intercambiadores (diámetro = 2.4 cm, altura 35 cm), con las resinas de intercambiadores de cationes (en la forma iónica hidrógeno y sodio) y resinas intercambiadoras de aniones (en forma aniónica de cloruro e hidróxilo), previamente hinchadas. Todas las columnas se lavan por 5 ó 6 veces seguidas con aproximadamente 200 ml de agua destilada o totalmente deionizada.

### PARTE I

#### - Resultados y Discusión.

El proceso de intercambio iónico se realizó en condiciones ambientales  $T=25^{\circ}\text{C}$  y  $\text{pH}=7$ .

El efecto de sorción de los iones de arsénico, se observa principalmente en el caso de los intercambiadores de aniones (alrededor del 40%), esto significa que el arsénico en el agua de los pozos de la región lagunera existe como un complejo aniónico.

En el caso de la utilización de intercambiadores catiónicos, el efecto de sorción de los iones de arsénico del agua de pozos es muy escaso de alrededor del 0.004%, relacionado con el efecto que se observa en el caso de los intercambiadores de aniones alrededor del 40%, pero el efecto es de menor grado si se auxilia con intercambiadores iónicos específicos.

La eliminación total del arsénico del agua con la ayuda de resinas de intercambio iónico comerciales es posible teniendo las condiciones adecuadas a las cuales se lleva a cabo el proceso ( $\text{pH}=0-1$  ó  $\text{pH}=14$ ), con "fondo" de ácido sulfúrico, fluorico.

Se requiere optimizar las condiciones de intercambio iónico comerciales, aplicadas a los intercambiadores iónicos específicos para arsénico.

## CONCLUSIONES.

La absorción de iones arsénico existentes en aguas de pozos se puede realizar aplicando intercambiadores de iones comerciales hechos en México.

El arsénico en las aguas de pozos de la región lagunera existe como un complejo aniónico.

La disminución de la concentración de iones del arsénico a la eliminación total es posible bajo los siguientes casos:

Optimizando condiciones de intercambio iónico para resinas comerciales.

Aplicando los intercambiadores iónicos específicos para arsénico.

## PARTE II

### SINTESIS A ESCALA LABORATORIO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO ESPECIFICAS PARA ARSENICO EN BASE A MATERIA PRIMA MEXICANA

#### Resultados y Conclusiones.

1.- Como resultados de la síntesis se obtuvieron 5 polímeros intercambiadores iónicos en forma de perlas esféricas insolubles.

2.- El proceso de síntesis.- Reacciones de polimerización y policondensación no fue realizada en condiciones óptimas, por lo tanto los resultados de la síntesis, los polímeros tampoco tienen propiedades óptimas (comparado con los comerciales). El rendimiento de las reacciones de síntesis no es muy grande.

3.- No en todas las rutas para las síntesis fue posible utilizar por carencia de ellos materia prima mexicana y en estos casos se usaron reactivos substitutos importados.

4.- Estos 5 nuevos intercambiadores iónicos sintetizados, serán utilizados posteriormente para exámenes con el objeto de seleccionar dos intercambiadores iónicos los cuales serán utilizados en las siguientes etapas de los estudios a continuación descritas:

Propiedades de sorción de arsénico en condiciones estáticas y dinámicas, investigaciones biomédicas.

### PARTE III.

#### "NUEVOS METODOS DE SINTESIS PARA LA OBTENCION DE RESINAS DE INTERCAMBIOS IONICO ESPECIFICO PARA ARSENICO.

##### Resultados y Conclusiones.

1.- La sorción de iones arsénico existentes en agua de pozo de No. 3 en la Comarca Lagunera (pH =7 , T=25 °C), en condiciones estáticas y dinámicas; se puede realizar aplicando intercambiadores de iones específicos selectivos para arsénico hechos (sintetizados) en el laboratorio del módulo de Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila

2.- El efecto de sorción de los iones de arsénico, se observa en mayor grado para los siguientes intercambiadores de iones.

- Poliolefina lineal con grupo sulfídrico-SH.
- Polímero poliaromático entre cruzado con grupos sulfídricos-SH.
- Las resinas de intercambio iónico específico con grupos  $\text{OH}^-$ .

3.- El valor de la capacidad de intercambio iónico o sorción de arsénico para resinas que fueron sintetizadas no es el óptimo, porque el proceso de síntesis también no se realiza en condiciones óptimas.

4.- Estos 3 nuevos intercambiadores iónicos sintetizados se pueden utilizar (en mayor cantidad) en las siguientes etapas de los estudios para continuar el desarrollo del proyecto, (etapa de evaluación del proceso de intercambio iónico en escala semi-piloto).

## CAPITULO II

### TEORIA GENERAL DE LA COAGULACION Y FLOCULACION

La palabra coagular viene del latin "COAGULARE", que significa aglutinar ( desestabilización de materia, partículas o sólidos que pueda contener en suspensión y/o solución del agua ) y flocular de "FLOCULARE", que significa hacer un flóculo ( favorecer la formación de partículas desestabilizadas por coagulación, con suficiente tamaño y peso para que pueda ser sedimentado fácilmente ).

#### PROCESOS DE COAGULACION.

##### OBJETIVOS.

El proceso de coagulación es la agregación de partículas en agregados de mayor tamaño y más fácilmente decantables con el fin de obtener una separación satisfactoria por sedimentación. Se utiliza para aumentar la velocidad con que se agregan los sistemas coloidales.

Los aspectos fundamentales en la coagulación - floculación son :

- 1.- Desestabilización de las partículas suspendidas, es decir, remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, ( coagulación ).
- 2.- Transporte de las partículas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos, ( floculación ).

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y perdura sólomente fracciones de segundos. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua, en el mismo seno del líquido.



La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas contra otras para formar coágulos mayores.

Dos modelos explican el primer aspecto el de la doble capa, basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión y el del puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides. En el segundo aspecto, debe distinguirse entre floculación ortocinética y floculación pericinetica.

La floculación ortocinética es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias).

La floculación pericinetica es la provocada internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquel (movimiento browniano) y por la gravedad o peso de las partículas que al caer tienden a aglomerarse, y se realiza en un tiempo muy corto después de la desestabilización de las partículas.

Un resumen del proceso se presenta en el siguiente cuadro sinóptico :

---

---

1.- DEESTABILIZACION DE PARTICULAS (COAGULACION)	Modelo Físico (Doble Capa).  Modelo Químico (Puente Químico)
2.- TRANSPORTE DE PARTICULAS (FLOCULACION).	Ortocinética.- Creado en el líquido por el gradiente de velocidad.  Pericinetica.- Por movimiento browniano por sedimentación.

---

---

Antes de entrar a la descripción de los aspectos y modelos que explican el proceso es necesario hablar de los coloides, de sus propiedades y características que los distinguen en forma precisa, y que es necesario para poder entender que es la coagulación.

El término coloide, significa originariamente "gelatinoso" y fue dado por Graham, a las dispersiones de proteína, al comprobar que no se comportaban como verdaderas soluciones, una de las clasificaciones podría ser en: a) Moleculares y no moleculares (micelas); b) liofílicos y liofóbicos, c) diurnos y cáducos, d) orgánicos e inorgánicos.

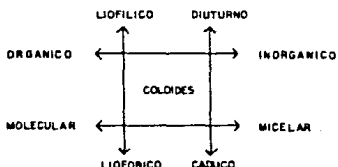


Fig.2.1 clasificación de los coloides

a) Los coloides moleculares, están constituidos por sustancias polímeras, formadas por largas cadenas orgánicas, con pesos moleculares muy grandes (15,000 - 100,000) y tamaños entre  $10^2$  y  $5 \times 10^2$  milimicras de longitud por 0.2 y 1 milimicras de grosor.

Los coloides de asociación o micelares pueden formarse por asociación de moléculas más pequeñas de minerales (ejemplos oro) o compuestos orgánicos (ejemplos jabones, detergentes), que espontáneamente se aglutinan en presencia de un dispersante en partículas de tamaño coloidal.

b) Los coloides liofílicos (hidrofílicos cuando se refieren al agua) están constituidos por las dispersiones moleculares de sustancia poliméricas o sustancias aglutinadas en tamaño coloidal, que tienen una fuerte atracción por el solvente y reaccionan químicamente con el agua en la cual están dispersados (ejemplo: jabones, materia orgánica encontrada en el agua negra). Su estabilidad depende de la capa de hidratación que los rodea en la cual hay moléculas de agua adheridas que actúan como barrera que impide el contacto entre partículas.

Los coloides liofóbicos están, en cambio formados por sustancias insolubles en el dispersante (ejemplo: arcillas, metales) y por lo mismo son mucho más inestables que los liofílicos. Son el tipo de dispersiones que más interesa en el tratamiento de aguas potables.

c) Los coloides diuturnos (término propuesto por Mysels que significa de larga duración) son aquellos que no se modifican o se aglutinan durante mucho tiempo comparado con el período de observación.

Los coloides cáducos son, al contrario, los transitorios que se aglutinan o cambian rápidamente.

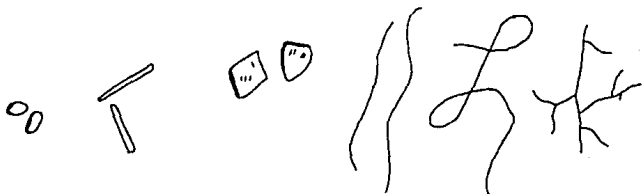
d) Los coloides, además, pueden ser orgánicos como las proteínas o las grasas, o inorgánicos como el oro o las arcillas minerales.

#### FORMA DE LOS COLOIDES.

La forma de los coloides tiene relación directa con sus propiedades. No se ha hecho, sin embargo, una clasificación adecuada de las formas coloidales. Algunos los clasifican en isométricas y anisométricas.

Las primeras son las que tienen una dimensión igual en todas direcciones (esferas, poliedros); las segundas son las que se extienden preferentemente en una o dos dimensiones tales como cilindros, láminas, cintas, etc.

La figura 2.2 incluye las formas más comunes de coloides, según Jirgensons y Straumanis



En un líquido turbulento, las formas filamentosas o cilíndricas tienen más oportunidad de contacto que las formas esféricas o poliédricas, lo cual influye en la posibilidad de aglutinación de las partículas y la tasa de floculación.

#### PROPIEDADES DE LOS COLOIDES

##### Propiedades Cinéticas.

a) Movimiento Browniano. Es una de las propiedades que más distingue a las dispersiones coloidales. Si una suspensión de dichas partículas es observada en un ultramicroscopio, se puede notar entre ellas un movimiento constante y desordenado, este fenómeno fue estudiado por primera vez en una suspensión de granos de polen por el botánico inglés Brown, en 1928, de donde ha recibido el nombre de Movimiento Browniano. La teoría completa fue desarrollada en 1906 por Einstein y VondSauluchowski, cada uno independientemente, y sirvió para calcular el número de Avogadro.

b) Difusión.- El movimiento incesante de las partículas coloidales, hace que estas se difundan, esto es, que se distribuyan uniformemente en el solvente. La velocidad de difusión es mucho menor que la velocidad media de la partícula en el movimiento browniano. Por otra parte, cuanto más sea esta, la tasa de difusión es menor.

c) Presión Osmótica.- Debido al movimiento browniano, si la concentración de partículas en un líquido no es uniforme, se produce un flujo de material desde las zonas de alta concentración hacia las de baja concentración hasta alcanzar un equilibrio. Esta es la razón por la cual si se introduce una celda, hecha de una membrana semipermeable que contenga cierta dispersión coloidal, en un líquido puro, este trata de introducirse dentro de ella, para establecer una concentración uniforme diluyendo la dispersión coloidal y produciendo una elevación de líquido dentro de la celda. El incremento de volumen produce una presión llamada, presión osmótica.

Propiedades Ópticas- (Dispersión de la Luz y Opalescencia).

a) Diseminación de la luz.- Un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. La diseminación es proporcional al tamaño de las partículas. A éste fenómeno se le suele llamar efecto Tyndal-Faraday, y se le puede observar en la vida diaria cuando un rayo de luz penetra en una habitación oscura donde flotan partículas de polvo. La diseminación hace aparecer las soluciones turbias. La turbiedad es por tanto una forma de medir la concentración de partículas coloidales en un líquido.

b) Opalescencia.- Los coloides son primariamente incoloros, sin embargo, las suspensiones coloidales aparecen con una cierta coloración por ejemplo, la suspensión de hidróxido férrico es roja esto puede deberse; a la diseminación de la luz y a la absorción selectiva por el coloide de una cierta longitud de onda, la coloración puede usarse también para medir la concentración de los coloides.

### La ley de Lambert-Beer

.- Establece que la absorción es proporcional a la longitud  $l$  de la luz a través de la solución absorbente y a la concentración  $c$  de la solución.

### Propiedades de Superficie.

- Cuando la materia se subdivide hasta llegar al tamaño coloidal se produce un gran incremento del área, pudiéndose observar que si dividimos un cubo de un centímetro de lado en cubos de  $a$ , obtendremos un área de 6.000 mts. Esta enorme superficie tiene la tendencia a adsorber, en la interfase sólido-líquido, moléculas, iones o coloides. La capacidad de adsorción es una de las principales propiedades de las superficies.

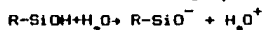
### Propiedades Electrocinéticas.

- Se ha observado que las partículas de una dispersión coloidal, se mueven de un polo determinado otro, al estar sometidas a un campo eléctrico, lo que demuestran que poseen un carga electrostática.

Esta carga primaria de los coloides se debe a tres causas principales: a) reemplazo isomórfico, b) ionización y c) adsorción.

a) Reemplazo isomórfico.- Al hablar de arcillas se dice que la estructura reticular de los cristales puede tener imperfecciones. Dichas imperfecciones pueden originar el reemplazo de un átomo de mayor valencia, por uno de menor valencia, o viceversa, creando así una carga eléctrica en la partícula.

b) Ionización.- Muchos coloides naturales contienen en la superficie grupos químicos (carboxilos, hidróxilos, etc.), que pueden ionizarse dando origen a cargas eléctricas. Por ejemplo:



estando envuelto en las ecuaciones del grupo hidróxilo, la carga primaria es dependiente del pH.

c) Adsorción preferencial.- Los coloides pueden también cargarse por adsorción preferencial de iones en la superficie. Este fenómeno puede deberse a: 1.- Fuerzas Químicas (Quimiosorción), 2.- Fuerzas electrostáticas o eléctricas.

d) Fuerzas que intervienen.- Esta carga primaria de los coloides produce una fuerza repulsiva, que impide la aglomeración o coagulación de las partículas, cuando estas se acercan unas a otras.

Por tanto, dos fuerzas deben tenerse en cuenta: 1.- Las coulómicas de repulsión y 2.- Las atractivas de Van der Waals. Las fuerzas coulómicas de repulsión se desarrollan cuando dos partículas de igual signo se aproximan y varían proporcionalmente con el producto de sus cargas ( $q_1 \times q_2$ ), e inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia.

$$F = \frac{E \cdot q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

$E$  = Constante que es igual a la unidad cuando las cargas actúan en el vacío. Su intensidad está controlada por las características tanto de la fase acuosa como de la fase sólida. Las fuerzas de Van der Waals se deben a una multiplicidad de causas, una de las cuales se ha atribuido al movimiento continuo de los electrones en sus órbitas, el cual crea un campo magnético que fluctúa constantemente en forma bastante compleja y ejerce influencia sobre los electrones de la materia circundante, dando origen a fuerzas que son siempre atractivas y que puede existir entre partículas de carga opuesta, entre partículas neutras y entre partículas con la misma carga.

Desestabilización de las partículas coloidales (coagulación).

Modelo Físico (doble capa).- El modelo físico explica la coagulación del agua teniendo en cuenta las fuerzas electrostáticas existentes en las partículas, considerándolas rodeadas de una doble capa eléctrica que interacciona con la fase acuosa. Para explicar éste concepto se han presentado sucesivamente 3 teorías:

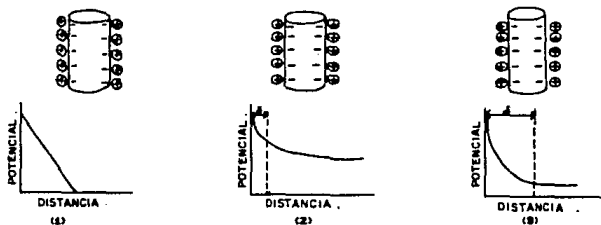


FIG 2.3 POTENCIAL Vs DISTANCIA

#### TEORIA DE HELMHOLTZ- NERNST. (1)

Supone que acudirán a la superficie del coloide, tantos iones positivos (contraiones) del medio dispersante cuantos sean necesarios para neutralizar su carga. Se formará una capa adherida alrededor de él, en la que caerá todo el potencial  $\phi$ . Esta fue la teoría inicial propuesta por Helmholtz en 1879 y analizada por Nernst diez años más tarde.

#### TEORIA DE GOUY - CHAPMAN. (2)

Gouy en 1910 y Chapman en 1913 demostraron que la teoría de Helmholtz-Nernst, no era adecuada, pues la agitación térmica del líquido tiende a separar los contraiones de la superficie del coloide y a formar una capa difusa alrededor de ella, en la que el potencial cae lentamente prolongándose hasta una distancia  $\delta$  dentro del líquido que la rodea como se indica en la figura 2.3.

#### TEORIA DE STERN. (3)

Stern mostró que era necesario aceptar la posibilidad de la coexistencia de la teoría de Helmholtz y las de Gouy, considerando la formación de una capa adherida y una capa difusa alrededor del coloide. El potencial  $\phi$  caerá rápidamente en la capa adherida y lentamente en la capa difusa.



## Modelo Físico de la Coagulación.

Coagulación por compresión de la doble capa:

La reducción del espesor de la doble capa es más importante que la reducción del potencial  $\psi$  hasta el punto isoeléctrico ( $\psi = 0$ ). La concentración de electrolito necesaria para realizar la coagulación depende de la carga de los iones de acuerdo con la ley Schultze-Hardy, que dice: "La precipitación de un coloide es efectuado por aquel ión del electrolito añadido, que tenga una carga opuesta en signo a la de las partículas coloidales y el efecto de dicho ión se incrementa tanto más cuanto mayor sea el número de cargas que posea". De acuerdo con esta ley se ha encontrado que un ión bivalente es de 30 a 60 veces más efectivo que un ión monovalente; y un ión trivalente de 700 a 1000 veces más efectivos que un ión monovalente.

Modelo Químico de la Coagulación.- El modelo químico de la coagulación considera que la carga primaria de las partículas coloidales se debe a la ionización directa de los grupos químicos presentes en la superficie de ellas, tales como hidróxilos, carboxilos, fosfatos o sulfatos; y que la precipitación de los coloides se realiza por reacción de estos grupos por los iones metálicos, polivalentes agregados con los coagulantes.

Según esto, el efecto desestabilizante de ciertos iones se interpreta más en términos de interacción química que exclusivamente en términos de adsorción de contraiones en la doble capa, como el modelo físico.

Por otra parte, la desestabilización de los coloides, producido por los compuestos poliméricos que se forman en la coagulación o por polímeros como los polielectrolitos, no pueden explicarse con el modelo de la doble capa.

La Mer propuso, para esto, la teoría del puente químico, que supone la molécula del polímero adherida a la superficie del coloide en uno o más sitios de adsorción, dejando libre, extendida en el agua el resto de la cadena, la cual puede pegarse de nuevo a otros coloides en sitios de adsorción vacantes. Se forma así un puente químico entre las partículas, que permite el incremento del tamaño de estas y promueve su eventual precipitación.

Fases de la Coagulación.- Debe tenerse en cuenta que estos modelos simplifican el fenómeno para poderlo analizar. En la práctica, a los efectos químicos y electrostáticos, hay que considerar los aspectos peri y ortocinéticos capaces de crear segregación del coagulante, dentro de la masa de agua, haciendo que su concentración no sea uniforme y que, en consecuencia, las reacciones tengan diferentes características en los diferentes puntos del líquido.

Debe tenerse en cuenta también que cuando se habla de la carga electrostática de las partículas de una suspensión, lo que se considera es la carga promedio de las partículas ya que cada una posee una carga distinta. Cuando se dice que una suspensión ha alcanzado el punto isoelectrico, lo que se quiere indicar es que el promedio de la carga de las partículas es 0, ó tiende a 0; pero no debe olvidarse que cierta proporción tiene cargas positivas o negativas, lo que complica la interpretación del fenómeno.

Teniendo en cuenta esta distinción se puede considerar a la coagulación que se desarrolla en cinco fases consecutivas o simultáneamente que implicarían reacciones químicas y físicas así:

Primera Fase.- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.

Segunda Fase.- Precipitación y formación de compuestos químico que se polimerizan.

Tercera Fase.- Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.

Cuarta Fase.- Adsorción mutua entre coloides.

Quinta Fase.- Acción de barrido.

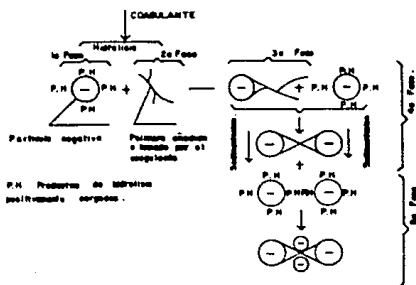
Al agregar un coagulante al agua, este se hidroliza y puede producir la desestabilización de partículas, por simple adsorción específica de los productos de hidrólisis (generalmente con carga positiva), en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados (compresión de la doble capa o neutralización de las cargas), o por interacción química con los grupos ionizables de su superficie (primera fase).

Por otro lado, como los productos de la hidrólisis de los coagulantes sufren reacciones de polimerización, se transforman en largas cadenas tridimensionales con extremos activos (segunda fase).

Estas cadenas pueden ser fácilmente adsorbidas en los sitios vacantes de adsorción de los coloides existentes en la suspensión, dejando los extremos extendidos en el agua (tercera fase).

Dichos extremos pueden adherirse a otros coloides que tengan sitios vacantes también, formando así masas esponjosas de partículas de la suspensión ligadas por cadenas poliméricas (cuarta fase). Este proceso debe ser ayudado agitando lentamente el agua.

Al sedimentar, estos coágulos hacen un efecto de barrido (quinta fase), atrapando en su caída nuevas partículas que se incorporan a los microflocúlos en formación. La aparición de hidróxidos metálicos insolubles en agua, que se precipitan, pueden también contribuir y, en algunos casos, producir por sí sola el efecto de barrido.



Modelo Esquemático del Proceso de Coagulación

**TABLA 2.1.**  
**Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación**

Tipo de agua	Coagulación producida por	Forma de coagulación requerida
I.- Baja concentración de coloides, baja alcalinidad.	Formación de precipitado. floc de barrido.	Alta dosis de coagulante. Adición de alcalinidad o partículas, o ambas.
II.- Baja concentración de coloides, alta alcalinidad.	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas.
III.- Alta concentración de coloides, baja alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos en la superficie de los coloides (pH 4 a 7).	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas. Adición de alcalinidad.
IV.- Alta concentración de coloides, alta alcalinidad.	Adsorción de polímeros metálicos positivos y precipitación de hidróxidos (pH mayor de 7).	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas.

Coagulantes.- Los coagulantes los podemos clasificar en dos grandes grupos. Los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos.

Ambos grupos básicamente actúan como polímeros además de la carga eléctrica que poseen .

En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agregan al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de la cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas coaguladas no dependen en forma exclusiva de los coagulantes usados, sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar.

Polielectrolitos.- Son una serie de compuestos orgánicos muy variados en su estructura química, como derivados del almidón y la celulosa, materiales proteínicos y otros muchos, los cuales se producen en forma sintética. Existen más de 100 marcas comerciales. Químicamente son polímeros de alto peso molecular ( $10^4$ - $10^7$ ) con un gran número de sitios activos en sus largas cadenas orgánicas, que pueden ser lineales o con brazos, compuestos de un solo tipo de monómero o de varios tipos; pero, en todos los casos, forman macromoléculas de tamaño coloidal. Se clasifican de acuerdo con su carga en aniónicos y catiónicos, según los grupos ionizables que posean sean negativos o positivos. También pueden ser iónicos cuando no poseen grupos ionizables.

La ventaja de los polielectrolitos radica en que cuando las partículas no pueden aproximarse por las fuerzas de repulsión creadas por la doble capa, la gran longitud de las cadenas poliméricas, permite el unir los coloides entre sí por energía química, en condiciones en las cuales no hubiera habido normalmente coagulación. Esta reacción es generalmente muy rápida con 85% del polímero adsorbido en menos de 10 seg.

La cantidad del polielectrolito que se usa es por lo común muy pequeña. Suele estar entre 0.01 y 1 mg/l, lo que compensa un poco por su precio, que es alto. Los polielectrolitos sintéticos, sin embargo, rara vez se usan solos, sino en combinación con coagulantes metálicos.

#### Coagulantes Metálicos.-

Coagulación con sales de hierro.- Las sales de hierro tienen su ventaja sobre las sales de aluminio, en algunos casos, porque forman un floculo más pesado y de mayor velocidad de asentamiento, y porque pueden trabajar con un rango de pH mucho más amplio, por tanto se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floculo para incrementar la eficiencia de ellos. Las más conocidas de las sales de hierro son: el Cloruro Férrico, el Sulfato Férrico y el Sulfato Ferroso.

a) El Cloruro Férrico se consigue en tres formas: Como cristales hidratados ( $\text{FeCl}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ ) amarillos o cafés, como cristales anhidros ( $\text{FeCl}_3$ ) de color verde oscuro, o como una solución del 35% a 45%. Cualquiera que sea la forma en que venga, el cloruro férrico se aplica en solución del 2 al 20%, según el tamaño de la planta y la capacidad del aparato dosificador. Puede trabajar con pH tan bajo como 4 y tan alto como 11. Sin embargo, se suele utilizar mas bien con agua ácida y blanda, fuertemente coloreada y que contiene ácido sulfhídrico.

b) Sulfato Férrico: se encuentra en su forma anhidra  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , pero más comunente en su forma hidratada como  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . La adición de un álcali (cal o soda ash) en combinación con el coagulante, resulta en un rango más amplio de pH que puede ir desde 3.5 hasta 11. Suele preferirse para que trabaje con aguas muy ácidas.

c) Sulfato Ferroso.- Es la fuente más barata de hierro como coagulante. Ordinariamente se usa hidratado, como  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , y se conoce con el nombre de "Cooperas". Una de sus desventajas es la que debe usarse en combinación con cal.

El sulfato ferroso se usa para agua turbia, fuertemente alcalina, con pH superior a 8 y es, por tanto, inadecuado para tratar agua blanda, especialmente si su contenido de color es alto, ya que la alcalinidad interfiere con la remoción del color.

El descenso del pH cuando no hay alcalinidad, es también más pronunciado debido a la formación de ácidos fuertes ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ), que cuando esta se halla presente (formación de ácidos débiles).

La composición de las diferentes especies de productos de hidrólisis, que existen en equilibrio con hidróxido de hierro recién precipitado, depende del pH como se indica, se pueden observar 2 zonas: 1.- a pH inferior a 4 las especies primariamente presentes están constituidas por los iones de hierro hidratados, monohidróxidos simples o compuestos poliméricos, 2.- a pH mayor que 4 lo constituyen los hidróxidos de hierro insolubles, pudiéndose observar que el rango de insolubilidad del hidróxido férrico es mucho mayor que la del hidróxido de aluminio.

Los sulfatos  $\text{SO}_4^{2-}$  y los fosfatos  $\text{PO}_4^{3-}$ , también interfieren en el proceso de coagulación con sales de hierro, cambiando el punto de pH óptimo.

Selección de un Coagulante.- La selección óptima de un coagulante, así como su clasificación, se determina experimentalmente para cualquier tipo de agua o agua residual los parámetros que pueden influir sobre la eficacia de un coagulante son: la concentración coloidal, pH y alcalinidad del agua o agua residual. Además, por otro lado los coagulantes químicos  $\text{Al(III)}$ ,  $\text{Fe(III)}$ , pueden operar de dos formas distintas, una de ellas caracterizada por una estequiometría y posible dosificación, y una segunda en la cual la dosificación de coagulante disminuye al aumentar la turbidez y la sobredosificación no puede tener lugar.

## Transporte de Partículas.- Cinética de la Coagulación.

Generalidades.- Después de desestabilizadas, las partículas coloidales tienen que trasladarse dentro del líquido para hacer contacto unas con otras y aglutinarse. Este es el proceso que hemos definido como floculación, lo cual se ha dicho que puede ser pericinetica u ortocinetica dependiendo de que sea el movimiento browniano o la agitación del líquido la causa principal de las colisiones. En cierta manera todas las partículas están sometidas a floculación debido a ambos mecanismos. La mayor o menor influencia de uno u otro depende del tamaño de ellas. En partículas muy finas (menor de una micra), predomina el movimiento browniano floculación pericinetica; mientras que en las de mayor tamaño (mayor que una micra), predominan las diferencias de velocidad creadas por la agitación del fluido o gradiente de velocidad (floculación ortocinetica)

### Comparación entre la floculación peri y ortocinetica.

La efectividad relativa entre el movimiento browniano (floculación pericinetica) y el gradiente de velocidad (floculación ortocinetica) para promover la aglutinación se puede ver comparándolas



## CAPITULO III

### METODOLOGIA DE PRUEBA.

#### ANTECEDENTES.

Analizada y depurada la información de los diferentes estudios realizados Nacional y Internacionalmente, se elaboró una metodología de prueba en la cual se planearon los posibles ensayos a llevarse a cabo, modificándose de acuerdo a las limitaciones que se encontraron dentro del desarrollo del proyecto.

#### OBJETIVOS.

- Realizar pruebas de laboratorio a través del método de jarras.
- Llevar a cabo pruebas en campo a escala piloto.

#### Metas Específicas.

##### a) Escala Laboratorio.

- Obtener los valores óptimos de dosis coagulante/concentración de arsénico, para cada ensayo o tipo de coagulante.
- Obtener las ecuaciones que relacionen la eficiencia de remoción de arsénico y la dosificación.
- Remover  $0.01 \geq \text{As residual} \geq 0.05$ .

##### b) Escala Piloto.

- Diseño de la ingeniería básica de acuerdo a las pruebas de jarras.

- Probar la planta piloto en campo, a flujo continuo y compararla técnica y económicamente con otros sistemas.

#### METODOLOGIA DE ENSAYO.

Los ensayos programados que se describen a continuación estarán sustentados en el método de prueba de jarras de acuerdo a las siguientes variables a manejar; en el influente y efluente respectivamente: Concentración de arsénico, conductividad, temperatura, turbiedad, pH, alcalinidad, concentración de fluor, tipo de coagulante, cantidad de lodos, fierro total, fluor total, cloro residual y sulfatos.

En cuanto a la concentración de coloides se prestará mayor atención debido a que los pozos estudiados no presentan turbiedad, midiéndose cualitativamente esta variable por medio del índice de floculación de Millcomb.

#### Escala Laboratorio.

Se prepararán 3 tipos de agua problema en condiciones similares a la de los pozos en la Comarca Lagunera, conteniendo arsénico (III), (V) y mezcla, que serán los parámetros fijos que se variarán de acuerdo a lo especificado para cada corrida.

Con base en los resultados obtenidos en el laboratorio, se seleccionarán las corridas óptimas para repetirse en campo para obtener valores reales.

#### Pruebas de Jarras.

Para cada caso particular de concentración inicial de arsénico en el agua, se utilizarán diferentes intervalos de dosificación de coagulante, fijando como base una concentración de cloruro férrico y sulfato férrico al 1% (ver anexo 1).

a) Prepare como base la concentración de sulfato férrico y cloruro férrico al 1%, de esta solución madre prepare su programa de dosificación para los diferentes coagulantes, señalando para cada jarra la dosificación correspondiente. Etiquetar las jarras de la 1 a la 6, siendo la No. 1 la jarra testigo.

b) Determine la temperatura, alcalinidad y pH iniciales y finales, según corresponda, así como la concentración de arsénico y fluor a una muestra de agua cruda de 10 lts y anote los datos en el formato correspondiente del anexo 1.

c) Coloque 1.5 lt de agua de la muestra de cada una de las 6 jarras.

d) Coloque las jarras debajo de los agitadores del aparato.

e) Inicie la mezcla rápida a 100 rpm durante 1 min (medir el tiempo con un cronómetro y en forma simultánea proceda a la inyección de los coagulantes (ver anexo 1), el tiempo de inyección debe de ser de 5 seg como máximo.

f) Terminado el tiempo de mezcla rápida, disminuir la velocidad de rotación de las paletas a 40 rpm, durante 20 min. Realice observaciones minuciosas de las características del flóculo producido, controlando tiempo de aparición y calificación con el índice de Wilcoob para cada jarra, anotando los datos en el formato correspondiente del anexo 1.

g) Terminado el tiempo de floculación, disminuya la velocidad de rotación de las paletas a 20 rpm, durante 10 min. y realice las mismas observaciones del punto anterior, anotando en el formato correspondiente del anexo 1.

h) Levante con cuidado las paletas de cada jarra, iniciándose en ese momento el proceso de sedimentación, dejando reposar las jarras por 30 min. Una vez alcanzado este tiempo anote en el formato del anexo 1, las observaciones físicas presentadas en cada jarra y separe una alícuota de 200 ml, para los mismos análisis del punto b, preparando las etiquetas correspondientes a: muestras decantadas, muestras filtradas, lodos y así respectivamente para las 6 jarras.

i) Finalmente para las muestras filtradas, esta se realizará utilizando un medio de filtración con el que se cuente, de esta solución tome la muestra correspondiente de 100 ml, de cada jarra realice los análisis del punto b, para la muestra de lodos diluya al volumen requerido y realice el análisis del punto b, hacer esto para las 6 jarras.

#### Criterios Básicos.

##### Calidad del Agua de Pozos.

La calidad fisicoquímica del agua en los pozos, permitirá establecer el rango de dosificación de coagulante.

Con la preparación de 3 tipos de agua problema similar a las condiciones en la Comarca Lagunera, con un ensaye preliminar, determinar y corroborar las experiencias realizadas por diferentes autores y seleccionar aquella (s) corrida (s) en la que la formación del flóculo sea estable y disminuya la concentración de arsénico a niveles por debajo de  $0.01 \geq As \text{ residual} \geq 0.05 \text{ mg/l}$ , siendo el permisible de  $0.05 \text{ mg/l}$ , para repetirse en campo en condiciones reales.

Para dosificaciones bajas:

CORRIDA	DOSIS DE COAGULANTE EN mg/l.	ml DE SOLUCION AL 1% DE SULFATO Y CLORURO FERRICO A DOSIFICAR PARA 1.5 Lt. (VER ANEXO 1)	ml DE SOLUCION AL 1% DE SULFATO Y CLORURO FERRICO A DOSIFICAR PARA - 1 Lt. (VER ANEXO 1)
1	20	3.0	2.0
2	25	2.5	2.5
3	30	4.5	3.0
7	32	4.8	3.2
8	34	5.1	3.4
9	36	5.4	3.6

Para dosificaciones altas:

4	38	5.7	3.8
5	40	6.0	4.0
6	42	6.3	4.2
10	44	6.6	4.4
11	46	6.9	4.6
12	48	7.2	4.8

PROGRAMA DE PRUEBAS PARA CLORURO Y SULFATO FERRICO.

Coagulante:  $FeCl_3$ .

ENSAYE	CORRIDA	CONC. As EN MG/L	pH	OBSERVACIONES.
1	1	0.1 As (III)	NORMAL	
	2		5.0	
	3		8	ACIDULAR CON HCL 1:1
2	4	0.35 As (V)	NORMAL	
	5		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	6		8	
3	7	0.4 50% As(III) 50% As(V)	NORMAL	
	8		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	9		8	
4	10	0.5 As(III)	NORMAL	
	11		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	12		8	
5	13	0.8 As(V)	NORMAL	
	14		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	15		8	
6	16	1.0 50% As(III) 50% As (V)	NORMAL	
	17		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	18		8	

\* Si el pH de la solución es alcalina adicionar HCL 1:1, en el caso de que sea demasiado acida adicionar CaO para ajustar el pH de la solución.

Coagulante  $Fe_2(SO_4)_3$ .

ENSAYE	CORRIDA	CONC. As EN MG/L.	pH	OBSERVACIONES.
7	19	0.1 As (III)	NORMAL	
	20		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	21		6	
8	22	0.35 As (V)	NORMAL	
	23		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	24		6	
9	25	0.4 50% As(III) 50% As ( V )	NORMAL	
	26		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	27		6	
10	28	0.5 As (III)	NORMAL	
	29		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	30		6	
11	31	0.8 As (V)	NORMAL	
	32		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	33		6	
12	34	1.0 50% As(III) 50% As (V)	NORMAL	
	35		5.0	ACIDULAR CON HCL 1:1
	36		6	

## CAPITULO IV

### DISTINTOS ENSAYOS DE LAS PRUEBAS DE JARRAS A NIVEL LABORATORIO.

El presente capítulo contiene los distintos ensayos de las pruebas de jarras a escala laboratorio, los resultados obtenidos, su discusión y conclusiones.

#### OBJETIVOS.

Evaluar el proceso de coagulación-floculación mediante pruebas de jarras a escala laboratorio para remover arsénico en agua hasta alcanzar un nivel satisfactorio para consumo humano de 0.05 mg/l como máximo tolerable y 0.01 mg/l como límite recomendable.

Determinar los parámetros que más afectan el proceso de remoción, pH, alcalinidad, dosis de coagulante, ayuda coagulante, adecuado orden de adición de los dos últimos tiempo de mezclado rápido, floculación y coagulación cantidad de lodos producidos, temperatura del agua, etc.

#### METAS

Realizar ensayos con:

- 1.- Sulfato férrico comercial (primera etapa).  
Sulfato férrico comercial (segunda etapa).  
Sulfato férrico y cloro (tercera etapa).
- 2.- Alcanzar las mejores eficiencias de remoción de arsénico.
- 3.- Estabilización del flóculo a través de dosificaciones crecientes de cloro.



## DESCRIPCION DE LOS MODELOS FISICOS

Las mediciones de los diferentes parámetros físicos fueron realizados en el laboratorio del instituto SEDUE, utilizando para ello los siguientes instrumentos:

- Potenciómetro Beckman, Zeromatic, Mod. 55-3.
- Espectrofotómetro de doble haz marca Perkin Elmer Mod. Hitachi 200 UV-visible.
- Nefelómetro Monitek, mod. 21 digital.
- Agitador de 6 unidades con agitación simultánea con motor de 1/3 H.P con control de velocidad de 0 a 100 RPM y tacómetro para operar 115V., 60 HZ Mca. Phipps and Bird cat PHB-7790-30.
- Planta desaladora/purifier 007, mod. no. 007-70P.
- Agitador reversible con control de circuito transistorizado torque de 0 a 6000 rpm, y de 0 a 300 rpm catálogo S79-80-1.
- Balanza analítica marca Mettler mod. H80.
- Conductímetro electrónico marca Leeds & Northrup mod.. 4959.
- Equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer mod. 5000, con generador de hidruros, mod. MHS-20, utilizando lámpara de descarga y corrector de fondos (1ra y 2da etapa). De acuerdo al Manual de Procedimientos de Perkin Elmer. (4)
- Equipo de Absorción Atómica marca Perkin Elmer mod. 2380, con generador de hidruros mod. MHS-10, utilizando lámpara de descarga y corrector de fondos, (3ra etapa). (4).
- Material de Uso Común de Laboratorio.
- Equipo y membranas (HA de 0.45 micras marca Millipore).
- Reactivos: grado analítico, excepto el sulfato férrico que fue de grado comercial.

## CONDICIONES DE OPERACION.

Se operó en condiciones normales de laboratorio en cada ensayo se registraron los parámetros de control de pH, temperatura, conductividad, turbiedad, al inicio y al finalizar cada ensayo, cada corrida constó de 6 jarras.

Las pruebas de coagulación se efectuaron de la forma siguiente:

	Primera y Segunda Etapa.	
	Tiempo (min)	Vel. (rpm)
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación	30	-

#### TERCERA ETAPA.

Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación.	30	-

Para la prueba en columna de sedimentación; con altura de 2.20 m y un volumen de 4l lt.

Mezcla rápida.	1	100
Floculación	20	30

#### DETERMINACIONES ANALITICAS Y PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO.

El alto costo de reactivos obligaron a que los primeros ensayos se efectuaran de manera seleccionada.

## DETERMINACIONES ANALITICAS.

Las características fisicoquímicas del agua se reprodujeron a partir de agua desalada conforme las características del anexo 3 y de acuerdo a las concentraciones del pozo 1ro de Mayo, Municipio de Francisco I. Madero, Coah., que fue el que se eligió como modelo ya que se aproxima a las condiciones del agua de pozo en la Comarca Lagunera, (concentración promedio de sales), con los resultados de las determinaciones indicadas en las tablas para cada etapa.

Se evalúan las eficiencias de remoción para valores del factor F, definido por la relación dosis de coagulante, concentración de arsénico, y condiciones de tratamiento con filtración y sin ella.

### PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.

En la preparación del agua para la realización de las pruebas se cuidó que la concentración total de arsénico fuera de 0.3 mg/lit en una proporción de 25% de As (III), y 75% de As (V).

Los ensayos se realizaron inmediatamente después de preparar el agua, empleando el método de jarras, sin variar las condiciones experimentales de temperatura, pH, conductividad, turbiedad, alcalinidad y concentración de sales obteniendo congruencia en los resultados.

Se determinaron cualitativamente en forma visual el índice de floculación de Willcoob (15) y en forma cuantitativa siguiendo la técnica analítica que señalan las normas oficiales mexicanas y el Estandar Methods for the Examination of Water and Wastwater (Ref 16 ), para la determinación de cloruros, fluoruros, sulfatos y alcalinidad a la fenolftaleína y alcalinidad total.

Para la determinación de arsénico fue de acuerdo al manual de Perkin Elmer a través de la técnica de generación de hidruros (Ref 17 ).

La medición de cantidad de lodos producidos fue de acuerdo al método establecido para sólidos sedimentables (Ref 16 ).

La técnica para determinar coeficiente de fangos (3ra etapa) se realizó de acuerdo al Manual Técnico del Agua Degremont descrito en el anexo III.

Para la concentración total inicial de arsénico fue medido en el influente para las corridas 8-1 y 8-2 (3ra etapa) que se exponen en el programa realizado de ensayos. Los parámetros como pH final, turbiedad y cloro residual se midieron después del tiempo de sedimentación de 30 min. para tener mediciones exactas.

Las soluciones de coagulante y ayuda coagulante (cal) se prepararon de acuerdo a la metodología desarrollada.

En el caso de la solución de cloro se valoraba antes de ser usada y de acuerdo a la cantidad de cloro activo presente se preparaban las concentraciones a dosificar.

#### PROGRAMA DE ENSAYOS REALIZADOS.

Los ensayos de pruebas de jarras constaron de 3 etapas:

##### Primera Etapa.

Se integró de cinco ensayos preliminares con un total de 45 corridas, cada corrida con 6 jarras, de las cuales se optimizaron las cantidades de coagulante, efecto de pH, tiempo de mezclado rápido, floculación, así como la cantidad y volumen de lodos producidos, estos midiéndose en conos imhoff, después del tiempo de sedimentación, se midió el tiempo de aparición del flóculo y se calificó su tamaño seleccionándose las mejores jarras de cada corrida.

inicialmente se tuvo una jarra testigo a la cual no se le dosifico coagulante, a fin de verificar si existia adsorción de arsénico en las paredes de la jarra y las paletas de agitación, observándose que no hubo en ningún caso, por lo que en las siguientes etapas se eliminó.

La cuantificación de arsénico en jarras se realizó para los ensayos 3 y 4, presentandose los resultados obtenidos en las tablas 4.1, 4.2 y graficas 4.3, 4.4 para eficiencias calculadas; realizandose de la misma forma para todas las corridas que se presentan de la siguiente forma:

$C_i$  = Concentración inicial en el influente mg/lit.

$E = C_i - C_e / C_i$

$C_e$  = Concentración final en el efluente en mg/l.

E = Eficiencia.

#### ALCANCES Y LIMITACIONES.

Las pruebas se realizaron con agua previamente preparada en el laboratorio para simular las condiciones del agua del pozo de la región en estudio.

Se agregó fluor sin cuantificarlos en el agua procesada, debido a falta de reactivos. La cuantificación volumétrica de lodos se obtuvo mediante la prueba de sedimentación de conos imhoff.

#### ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El tratamiento de agua de pozos para consumo humano mediante el proceso utilizando sulfato férrico, es atractivo técnicamente por los siguientes aspectos: permite alcanzar una concentración final de arsénico de 0.0001 mg/l a 0.0007 mg/l por abajo de la norma, la cantidad de lodos producidos durante el tratamiento es mínima, representando el 0.4% en volumen del agua tratada, la dosificación del coagulante de tipo comercial no representa dificultades por ser un producto económico, de fabricación nacional y requerido en cantidades mínimas.

Dentro de las variables medidas el pH permaneció constante obteniéndose la mayor eficiencia del 99.96% para el ensayo 4, con una concentración total inicial de arsénico de 0.3 mg/l, las altas eficiencias alcanzadas con y sin dosis de cal nos permiten evidenciar que el mecanismo que se lleva a cabo en el agua preparada no requiere de una ayuda coagulante, por lo que habrá que plantearse en los próximos ensayos.

TABLA No 4.1 EFICIENCIAS CALCULADAS (ENSAYO No 3 )

JARRA No	SULFATO FERRICO DOSIS mg/l	CAL DOSIS mg/l	ARSENICO EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %	LODOS SEDIMEN* ml/l	pH
1	26.07	0.0	0.010	96.0	1.4	6.41
2	29.91	0.0	0.009	96.4	1.5	6.32
3	27.75	0.0	0.007	97.2	---	6.37
4	28.59	0.0	0.020	92.0	3.5	6.32
5	29.43	0.0	0.012	95.2	3.5	6.34
6	30.27	0.0	0.013	94.8	3.5	6.22
7	26.07	28.0	0.014	94.4	2.5	6.50
8	28.59	28.0	0.009	96.4	4.0	6.41
9	29.43	28.0	0.010	96.0	3.0	6.41
10	30.27	28.0	0.009	96.4	3.0	6.40
11	26.91	30.0	0.013	94.8	3.3	6.40
12	27.75	30.0	0.11	95.6	3.5	6.40
13	28.59	30.0	0.010	96.0	2.7	6.30
14	29.43	30.0	0.011	95.6	2.7	6.30
15	30.27	30.0	0.007	97.2	3.5	6.36

DATOS GENERALES: As. (total) = 0.30 mg/l  
 As. (III) = 0.030 mg/l, (10%)  
 As ( V ) = 0.027 mg/l, (90%)  
 \* Medición a las 24 hrs.

TABLA No 4.2 EFICIENCIAS CALCULADAS (ENSAYO No. 4 )

JARRA No	SULFATO FERRICO mg/l	CAL DOSIS mg/l	ARSENICO EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %	LODOS SEDIMEN* ml/l	pH
1	26.07	0.0	0.0042	98.6	2.2	6.38
2	26.91	0.0	0.0026	99.13	2.5	6.39
3	27.75	0.0	0.0028	99.06	2.6	6.54
4	35.32	0.0	0.0024	99.20	---	6.23
5	37.00	0.0	0.0001	99.96	3.7	6.24
6	38.68	0.0	0.0046	98.46	---	6.16
7	40.36	0.0	0.0051	98.30	---	6.20
8	42.04	0.0	0.0053	98.23	---	6.17
9	26.07	28.0	0.0080	97.33	2.5	6.37
10	25.23	30.0	0.0042	98.60	---	6.46
11	26.07	30.0	0.0028	99.06	---	6.61
12	26.91	30.0	0.0046	98.48	3.0	6.51
13	27.75	30.0	0.0049	98.36	---	6.51
14	28.59	30.0	0.0062	97.93	3.5	6.48
15	33.64	30.0	0.0007	99.76	3.6	6.24

DATOS GENERALES: As (total) = 0.3 mg/l

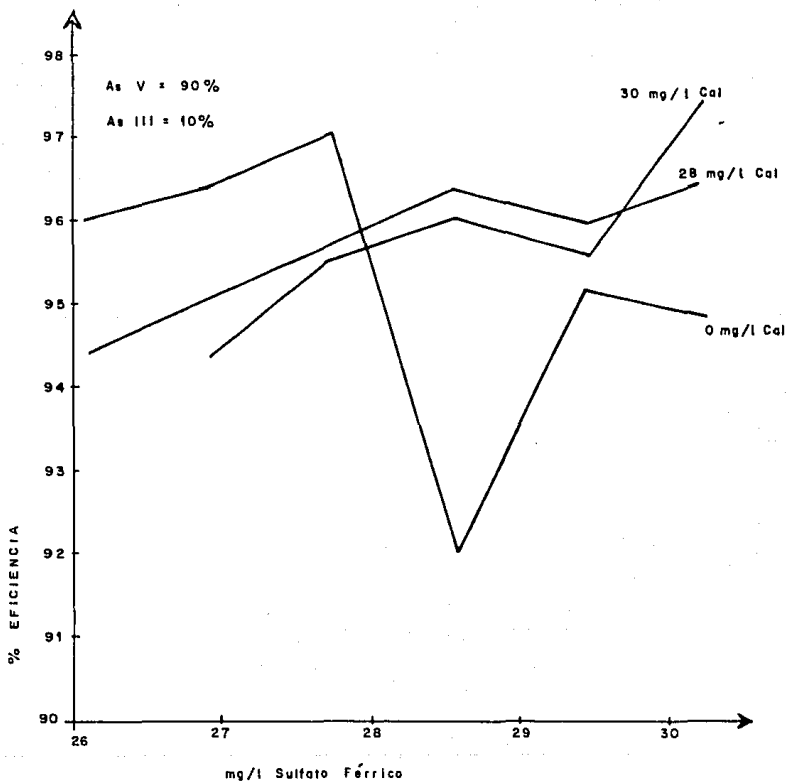
As ( III ) = 0.075 mg/l (25%)

As ( V ) = 0.225 mg/l (75%)

\* Medición a las 24 hrs.

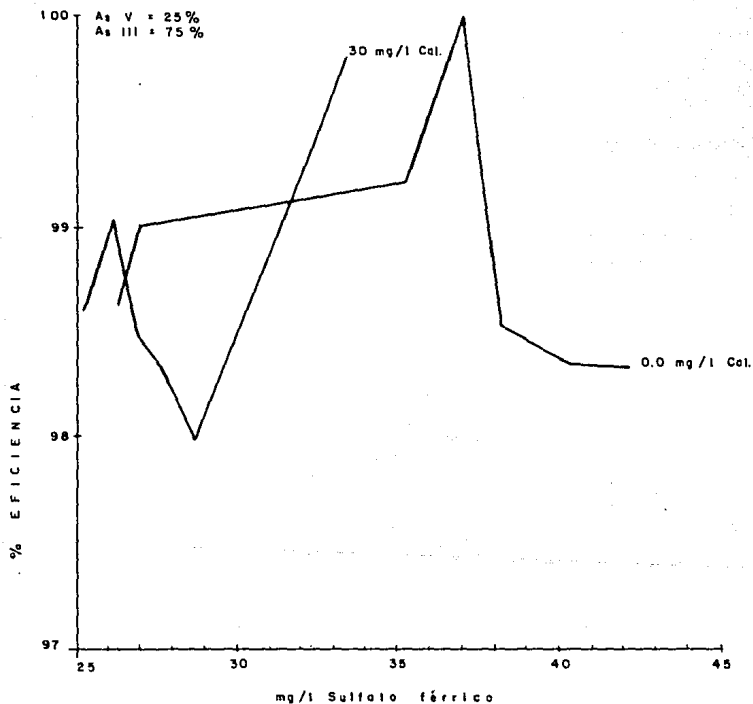
#### Segunda Etapa.

Se integró del quinto ensayo con cuatro corridas. La metodología fue la misma que la desarrollada en la primera etapa, preparándose en este caso el agua con una proporción de 75% de As (V) y 25% de As (III) para tener un total de 0.3 mg/lit de As. Optimizando la cantidad de coagulante, efecto de pH, tiempo de mezclado rápido, floculación y sedimentación, así como los efectos producidos en la alcalinidad total y eficiencias de remoción, estas son mostradas en la tabla 4.5 y en las gráficas 4.6,4.7,4.8,4.9 de igual forma que en la primera etapa, en la en la tabla 4.10 se resumen.



GRAFICA No. 4.3 Dosificación de Sulfato Férrico VS. eficiencia de remoción de Arsenico total para diferentes concentraciones de Carbonato de Calcio. (Ensayo No. 3)





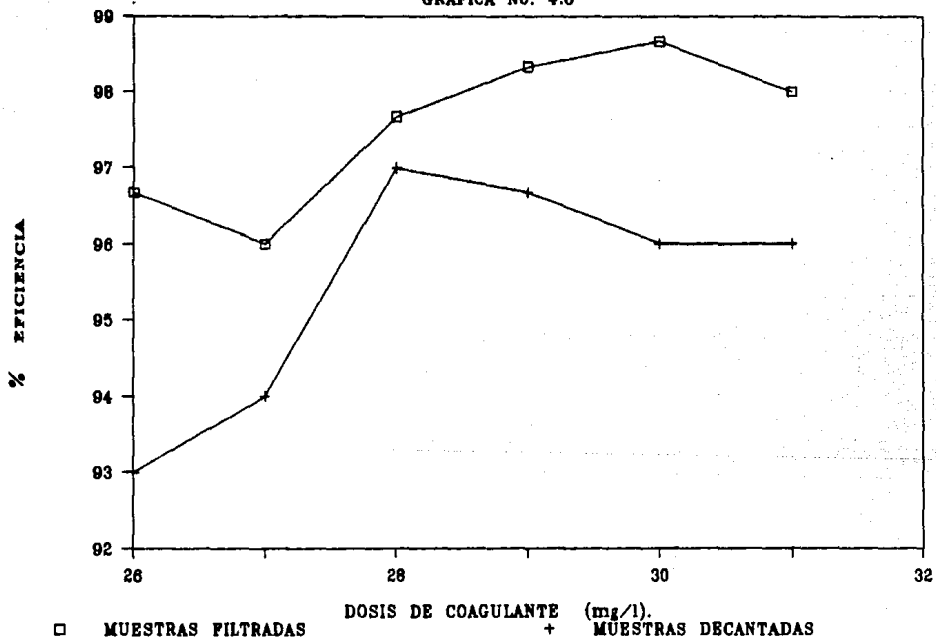
GRAFICA No 4.4 Dosificación de Sulfato Férrico VS. eficiencia de remoción de Arsenico total para diferentes concentraciones de Carbonato de Calcio (Ensayo No 4)

**TABLA No. 4.5 EFICIENCIAS CALCULADAS (ENSAYO No. 5 )**  
**CORRIDAS 1,2,3 Y 4.**

JARRA No.	SULFATO	CAL	ARSENICO		EN EFLUENTE	
	FERRICO	DOSIS	DECANTADO	EFIC.	FILTRADO	EFIC.
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%	(mg/l)	%
1	26.0	0.0	0.021	93.0	0.010	96.67
2	27.0	0.0	0.018	94.0	0.012	96.00
3	28.0	0.0	0.009	97.0	0.007	97.67
4	29.0	0.0	0.010	96.67	0.005	98.33
5	30.0	0.0	0.012	96.0	0.004	98.67
6	31.0	0.0	0.012	96.0	0.006	98.00
7	32.0	0.0	0.013	95.67	0.009	97.00
8	33.0	0.0	0.014	95.33	0.005	98.33
9	34.0	0.0	0.012	96.0	0.005	98.33
10	35.0	0.0	0.018	94.0	0.006	98.00
11	36.0	0.0	0.010	96.67	0.005	98.33
12	37.0	0.0	0.015	95.0	0.004	98.67
13	26.0	30.0	0.040	86.67	0.034	88.67
14	27.0	30.0	0.031	89.67	0.036	88.00
15	28.0	30.0	0.031	89.67	0.030	90.00
16	29.0	30.0	0.030	90.00	0.025	91.67
17	30.0	30.0	0.028	90.67	0.027	91.00
18	31.0	30.0	0.025	91.67	0.022	92.67
19	32.0	30.0	0.025	91.67	0.023	92.33
20	33.0	30.0	0.022	92.67	0.020	93.33
21	34.0	30.0	0.023	92.33	0.016	94.67
22	35.0	30.0	0.022	92.67	0.018	94.00
23	36.0	30.0	0.021	93.00	0.020	93.33
24	37.0	30.0	0.020	93.33	0.015	95.00

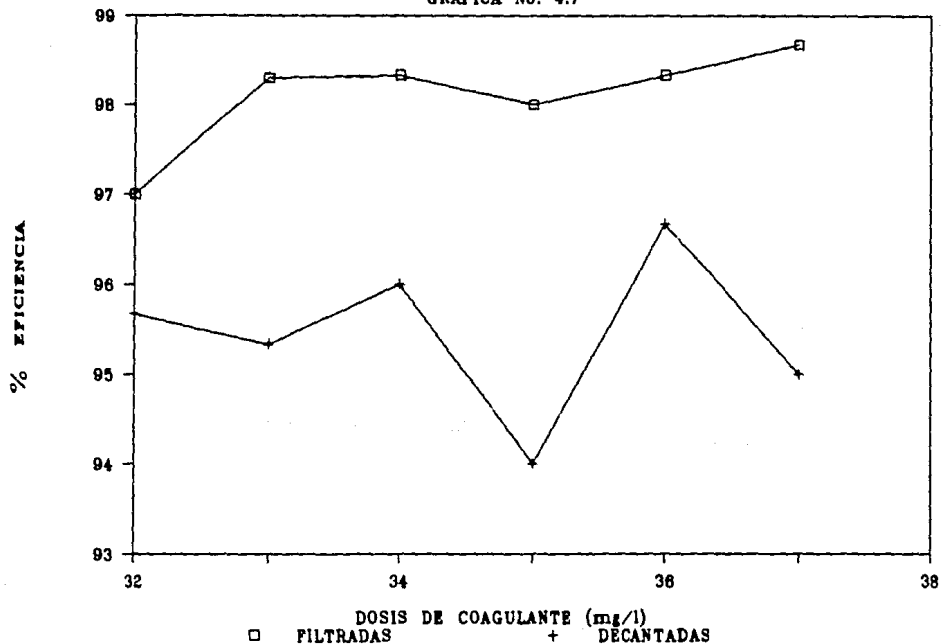
# DOSIS DE COAGULANTE Vs. EFICIENCIA

GRAFICA No. 4.6



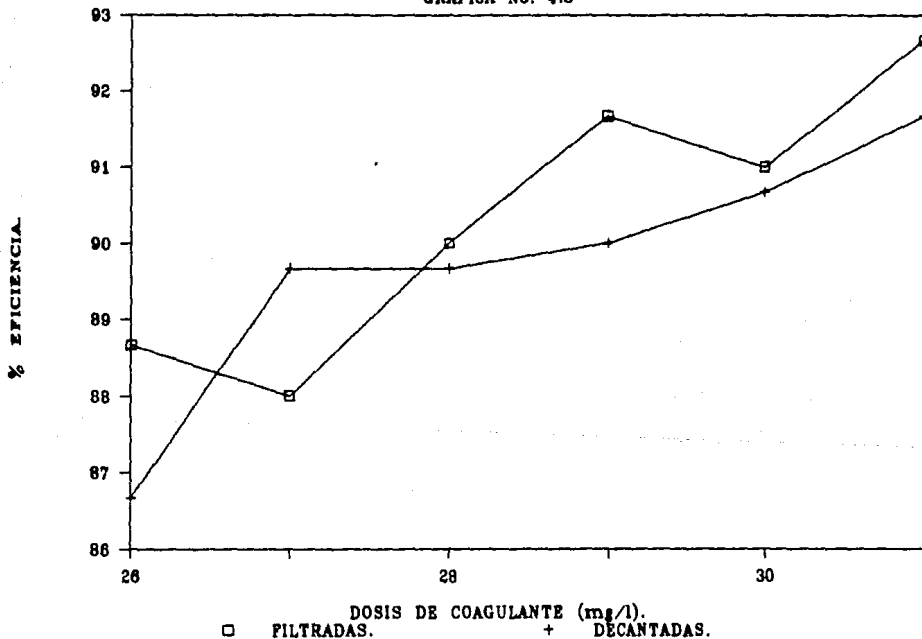
# DOSIS DE COAGULANTE Vs. EFICIENCIA

GRAFICA No. 4.7



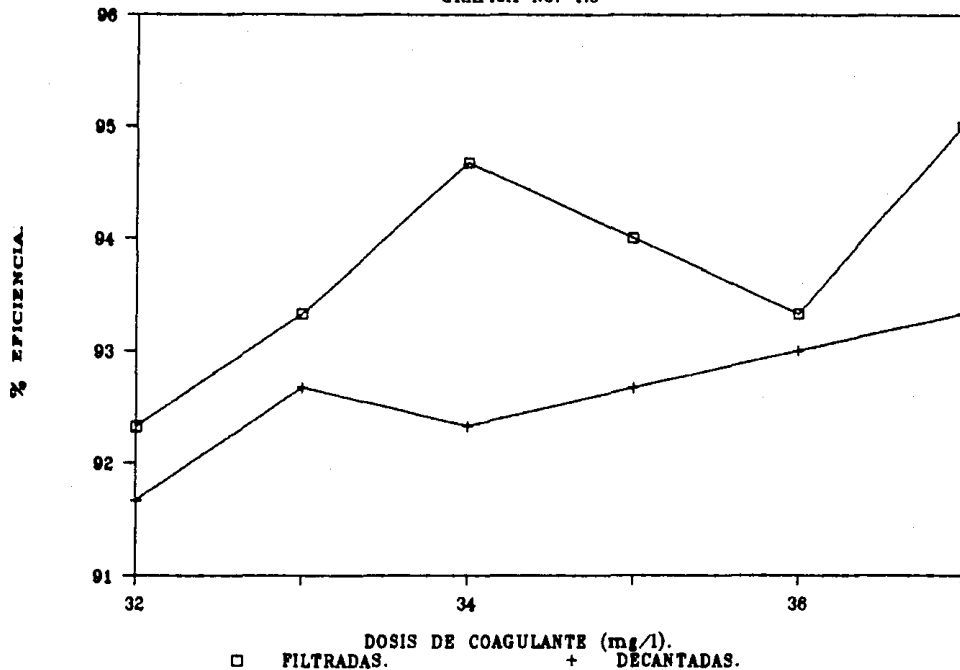
# DOSIS DE COAGULANTE Vs. EFICIENCIA.

GRAFICA No. 4.8



# DOSIS DE COAGULANTE Vs. EFICIENCIA.

GRAFICA No. 4.9



## Análisis de Resultados.

Las características de máxima eficiencia para dicho ensayo, en donde se aprecia que la máxima eficiencia de remoción de arsénico (98.67%) ver tabla 4.10 se obtienen bajo las siguientes características del efluente; baja dosificación de coagulante (30 mg/l), pH = 6.35, T=21°C. alcalinidad total = 97.05 mg/l como carbonato de calcio, y una producción de lodos de 4 ml/l con una eficiencia de coagulante del 94.67%, esta eficiencia que se alcanzó con dosis altas (37 mg/l) de coagulante y pH de 6.34 no así la alcalinidad, que aumenta y disminuye la eficiencia de fierro, por lo que se tiene una sobredosis de coagulante, debido probablemente al aumento de iones sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), en el medio, saturando los sitios que ocuparía el ión metálico ( $Fe^{3+}$ ).

En lo referente a las 4 corridas del ensayo No 5, el proceso de coagulación se lleva a cabo mediante el flóculo de barrido existiendo sobrenadante (hojas de control, anexo 1) posiblemente debido a un tiempo excesivo de mezcla rápida. Las pruebas de sedimentación no se pudieron realizar en probetas de 1 litro ya que el flóculo se rompía al traspasarlo de los vasos de precipitados, realizándose distintos ensayos para determinar la altura de la interfase, entre ellos se puede mencionar el de colorear las partículas, determinándose finalmente la turbidez a distintas alturas.

Se observó que los parámetros que más afectan el proceso de remoción de arsénico son: el pH y la alcalinidad producida en el proceso, debido esto quizá a la concentración de sulfatos que deberán ser medidos en los próximos ensayos así como la técnica de la estabilización de flóculo. En esta etapa se alcanza una concentración final de 0.004 mg/l de arsénico total en el efluente para muestras filtradas por abajo del permisible obteniéndose con una dosis de coagulante de 30 mg/l siendo el pH óptimo de 6.35, la cantidad de lodos producidos representa el 0.4 % en volumen del agua tratada, la dosificación de cal aumenta la alcalinidad total disminuyendo la eficiencia de remoción.

## RECOMENDACIONES.

Evaluar los parámetros determinados con agua de la Comarca Lagunera en un prototipo a flujo continuo.

Realizar pruebas de estabilización del flóculo tanto para el diseño como dentro del proceso de sedimentación a flujo continuo.

### Tercera Etapa.

En esta etapa finaliza las experiencias de la fase laboratorio, en la cual se establecieron los parámetros que afectan el proceso de remoción de arsénico, las altas eficiencias obtenidas con el coagulante y con el cloro como ayuda coagulante.

Se incluye una cuantificación completa de los parámetros establecidos que no se realizaron en etapas anteriores, por economía de reactivos de laboratorio. (borohidruro de sodio), mismos que son presentados en tablas que a continuación se describe: la tabla 4.11 contiene las dosificaciones crecientes de cloro en las cuales se evaluaron la eficiencia de remoción y estabilización del flóculo medida a través del coeficiente de fangos. De este conjunto de datos se seleccionaron las concentraciones de 0.25 ppm de cloro por tener las más altas eficiencias las mismas que se repiten en forma similar en las corridas B-1 y B-2, en las cuales los datos obtenidos de eficiencia de remoción de arsénico fueron tratados estadísticamente, y que son presentados en las tablas 4.12 y 4.13; las tablas 4.15 y 4.16, resumen las condiciones de máxima eficiencia para el coagulante, asimismo el % de remoción para fluor para las mismas corridas. La tabla 4.17 muestra el coeficiente de fangos obtenido en las corridas que integran esta etapa. El anexo 1, comprende las hojas de control de los datos, el anexo 2 la metodología de prueba del coeficiente de fangos, el anexo 3, contiene las concentraciones de sales del agua preparada en el laboratorio. El anexo 4 contiene el resumen del análisis estadístico de los datos obtenidos de la prueba de jarras para arsénico. El anexo 5 contiene un resumen de programa propuestos para el diseño de la planta piloto.



#### Alcances y Limitaciones.

Al igual que los anteriores ensayos el agua fue preparada, en el laboratorio simulando las condiciones del agua de pozo. Se agregó fluor cuantificándose en los ensayos 8-1 y 8-2.

Los análisis de arsénico se llevaron a cabo utilizando equipo de absorción atómica para muestras filtradas, (en estas últimas en membrana milliporo tipo HA de 0.45 micras).

La cuantificación volumétrica se realizó en probetas de 250 ml para cada una de las 6 jarras que contenía la misma dosis de coagulante y ayuda coagulante (cloro) medida esta las 24 horas y promediándose para cada una de las 6 jarras.

Metodología.- Al igual que los otros ensayos el agua se preparó agregando la proporción 25%: 75% de As (III), As (V) respectivamente, para tener un total de 0.3 mg/lit, las características fisicoquímicas se reprodujeron a partir de agua desalada, (ver anexo 3).

Debido a la inestabilidad de las soluciones de cloro activo, éste se valoraba antes de ser usado y así se preparaban las concentraciones a dosificar, las condiciones de floculación son mostradas en el anexo 1 las características de los flóculos se determinaron de acuerdo al índice de Millcomb (Ref 15 ).

Los parámetros como el pH final, turbiedad y cloro residual, se midieron después del tiempo de sedimentación, la medición de los diferentes parámetros se realizaron en el laboratorio del Instituto BEDUE.

La concentración total inicial de arsénico fue medida en el influente para la corrida 8-1 y 8-2, dando valores de 0.30 mg/l , de arsénico y de 0.43 mg/l respectivamente, esta tercera etapa contiene los resultados obtenidos del ensayo 7 que consistió de 7 corridas y del ensayo 8 con 2 corridas.

Las eficiencias de remoción de arsénico se muestran en la tabla 4.11,4.12,4.13 y grafica 4.14 para fluor y fierro en la tabla 4.15,4.16 respectivamente, así mismo la tabla 4.17 contiene los valores del coeficiente de fangos medido para las dos corridas.

Las máximas eficiencias para las muestras decantadas y filtradas fueron:

Corrida	Eficiencia (%)	
	Decantada	Filtrada
B-1	95.27	98.83
B-2	93.96	97.24

#### Análisis de Resultados.

Los datos mostrados en la tabla 4.11 de eficiencia de remoción de arsénico, resumen el desarrollo experimental que abarcó la optimización de dosis creciente de cloro para la corrida 7. Estableciéndose dos intervalos dónde las eficiencias para muestras filtradas son máximas, el primero se establece a una dosis de 0.25 ppm con un % de remoción de As del 99.11, la segunda con una dosis alta de 0.50 ppm con un % de remoción de As del 99.58, mostrando las siguientes características:

	Corrida/Ensayo 7-2	Corrida/Ensayo 7-7
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub> en mg/l	58.2	58.2
pH final del efluente	6.72	6.75
Temperatura en °c	22.0	24.0
Coefficiente de cohesión de fangos	0.674	0.751

Estos parámetros se seleccionaron por ser los que mayormente afectan el proceso de remoción, las condiciones generales se muestran en el anexo 1, como se puede observar las condiciones en ambos ensayos son muy semejantes, excepto en el coeficiente de fangos. La selección de dosis de cloro correspondió de 0.25 ppm, por economía de reactivo, mismas que se reprodujeron en la corrida B-1 y B-2.

Las altas eficiencias promedio alcanzadas de 98.83% de remoción de As para (B-1) y de 97.24% para (B-2) son debidas en parte a la diferencia en la concentración inicial del efluente mostrado en la siguiente tabla.

	Corrida B-1	Corrida B-2
Concentración de As total en el influente en mg/l.	0.30	0.43
Alcalinidad total como $\text{CaCO}_3$ en mg/l.	62.08	65.96
pH final del efluente.	6.65	6.78
Coefficiente de cohesión de fangos (K)	1.62	1.29
Producción de lodos en el efluente ml/l.	2.0	3.0

La cuantificación del coeficiente (k) permitió medir la estabilidad del flóculo observándose que los valores experimentales obtenidos caen dentro de lo que marca la literatura (anexo 2) que para un fango bien constituido el coeficiente k puede alcanzar valores de 0.8 a 1.2. Por el contrario, un fango constituido por un flóculo frágil ligero y rico en agua, el valor del coeficiente puede no sobrepasar de 0.3, esta medida de coeficiente es importante para establecer el comportamiento de los precipitados en un "decantador de contacto de fango", y para determinar la influencia de una ayuda coagulante.

La producción de lodos representa el 0.2 y 0.3% del agua tratada respectivamente, con alcalinidades bajas, pH constante produciéndose altas eficiencias de remoción de arsénico y baja producción de lodos del agua tratada.

## Conclusiones.

Queda demostrado que los parámetros medidos que más afectan siguen siendo el pH de trabajo del coagulante (sulfato férrico) y la alcalinidad producida durante el proceso de remoción. Por lo que el tratamiento de aguas de pozos para la Comarca Lagunera por medio de la coagulación-floculación es factible técnicamente según lo demuestran las pruebas de laboratorio realizadas a la fecha ya que permite alcanzar eficiencias entre el 97 y 98% lo que permite asegurar un agua apta para consumo humano por abajo de 0.05 mg/l., que establece la organización mundial de la salud.

De acuerdo a las características del flóculo el diseño del sistema de tratamiento deberá ser orientado hacia un clarifloculador por lo que existirían 2 opciones.

- 1.- Verificar los clarifloculadores comerciales que se adapten a las necesidades locales que resulten técnicamente económicas.
- 2.- Diseñar todo el sistema de acuerdo a la problemática de la Comarca Lagunera determinando la capacidad rentable, lo que probablemente aumente su costo inicial de operación.

## Recomendaciones.

§Diseñar en oficinas centrales un prototipo para pruebas de tratabilidad a flujo continuo.

§Iniciar los diseños a escala piloto de un prototipo a flujo continuo en la Comarca Lagunera.

§Determinar el escalamiento de plantas de acuerdo a su viabilidad técnica y económica.

§Formar un paquete tecnológico de plantas de tratamiento de agua de pozos.

Evaluar y controlar el desarrollo de las plantas que se lleguen a poner en operación.

TABLA No. 4.10

CARACTERISTICAS DE MAXIMA EFICIENCIA PARA EL ENSAYO 5

CORRIDA	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	DOSIS DE CAL mg/l	ARSENICO INFLUYENTE mg/l	ARSENICO III mg/l	ARSENICO V mg/l	ARSENICO EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %	pH	LODOS mg/l	ALCALINIDAD TOTAL mg/l	Fe TOTAL INFLUYENTE mg/l	Fe TOTAL EFLUYENTE mg/l	EFICIENCIA %
1	30	0	0.30	0.075	0.225	0.004	98.67	6.35	4	97.05	6.95	0.37	94.67
2	37	0	0.30	0.075	0.225	0.004	98.67	6.34	3.3	116.4	8.57	1.57	81.68
3	31	30	0.30	0.075	0.225	0.022	92.67	6.54	3.5	112.52	7.18	1.58	78.0
4	37	30	0.30	0.075	0.225	0.015	95.0	6.48	3.0	120.28	8.57	0.97	88.68

# DOSIS DE CLORO Vs EFICIENCIA

GRAFICA 4.14

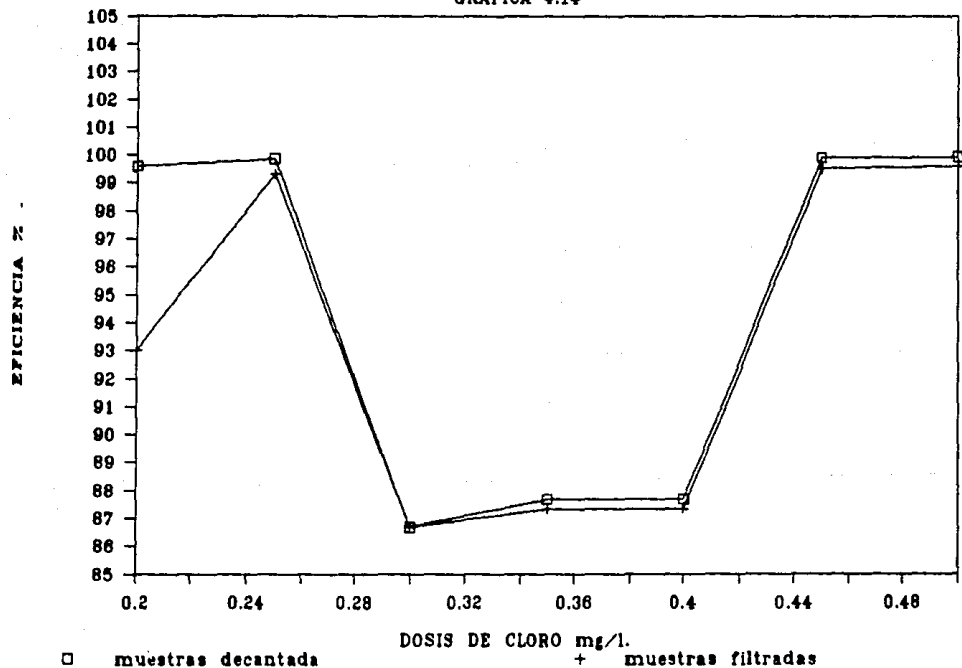


TABLA No 4.11

EFICIENCIA DE REMOCION DE ARSENICO.

CORRIDA/ENSAYE	JARRA NO.	DOSIS DE SULFATO FERRICO mg/l	DOSIS DE CLORO mg/l	ARSENICO EN EL EFLENTE			
				DECANTADO mg/l	EFICIENCIA %	FILTRADO mg/l	EFICIENCIA %
7/1	1	30.0	0.20	0.032	89.33	0.0012	99.6
	2	30.0	0.20	0.021	93.00	0.0028	99.0
7/2	1	30.0	0.25	0.0032	98.93	0.00099	99.67
	6	30.0	0.25	0.0021	99.30	0.00045	99.85
7/3	2	30.0	0.30	0.0042	86.00	0.041	86.33
	5	30.0	0.30	0.040	86.66	0.040	86.66
7/4	1	30.0	0.35	0.043	85.66	0.038	87.33
	5	30.0	0.35	0.038	87.33	0.037	87.66
7/5	2	30.0	0.40	0.038	87.33	0.037	87.66
	4	30.0	0.40	0.039	87.00	0.037	87.66
7/6	3	30.0	0.45	0.0014	99.53	0.00026	99.91
	6	30.0	0.45	0.0015	99.50	0.00035	99.88
7/7	1	30.0	0.50	0.0012	99.60	0.0008	99.73
	2	30.0	0.50	0.0013	99.56	0.0002	99.92

TABLA No 4.12

## EFICIENCIA DE REMOCION DE ARSENICO.

CORRIDA/ENSAYE	JARRA NO.	DOSIS DE SULFATO FERRICO mg/l	DOSIS DE CLORO mg/l	ARSENICO EN EL EFLUENTE.			
				DECANADO mg/l	EFICIENCIA %	FILTRADO mg/l	EFICIENCIA %
B/1	1	30	0.25	0.0177	94.14	---	---
B/1	2	30	0.25	0.020	93.38	0.0043	98.57
B/1	3	30	0.25	0.0135	95.70	0.0011	99.63
B/1	4	30	0.25	0.014	95.37	0.0011	99.63
B/1	5	30	0.25	0.009	97.02	---	---
B/1	6	30	0.25	0.012	96.03	0.0075	97.51
					95.27 promedio		98.835 promedio



TABLA No 4.13

EFICIENCIA DE REMOCION DE ARSENICO.

CORRIDA/ENSAYE	JARRA NO.	DOSIS DE SULFATO FERRICO mg/l	DOSIS DE CLORO mg/l	ARSENICO EN EL EFLUENTE.			
				DECANTADO mg/l	EFICIENCIA %	FILTRADO mg/l	EFICIENCIA %
8/2	1	30.0	0.25	0.0192	95.54	0.0143	96.68
8/2	2	30.0	0.25	0.0247	94.27	0.0109	97.47
8/2	3	30.0	0.25	0.0326	92.43	0.0123	97.14
8/2	4	30.0	0.25	0.0272	93.69	0.0125	97.10
8/2	5	30.0	0.25	0.0284	93.41	0.0074	98.28
8/2	6	30.0	0.25	0.0240	94.43	0.0138	96.79
					93.96 promedio		97.24 promedio

TABLA No 4.15

## CONDICIONES DE MAXIMA EFICIENCIA DE COACULANTE.

CORRIDA/ ENSAYE	JARRA NO.	DOSIS DE SULFATO FERRICO mg/l	DOSIS DE CLORO mg/l	FIERRO TOTAL INFLUENTE mg/l	FIERRO TOTAL EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %	FLUOR INFLUENTE mg/l	FLUOR EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %
B/1	1	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.254	1.18	5.90
B/1	2	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.254	1.19	6.40
B/1	3	30.0	0.25	6.95	0.047	99.32	1.254	1.16	9.40
J/1	4	30.0	0.25	6.95	0.115	98.34	1.254	1.22	3.40
J/1	5	30.0	0.25	6.95	0.071	98.97	1.254	1.17	8.47
d/1	6	30.0	0.25	6.95	0.042	99.39	1.254	1.19	6.40

TABLA No 4.16

CONDICIONES DE MAXIMA EFICIENCIA DE COACULANTE.

CORRIDA/ ENSAYE	JARRA NO.	DOSIS DE SULFATO FERRICO mg/l	DOSIS DE CLORO mg/l	FIERRO TOTAL INFLUENTE mg/l	FIERRO TOTAL EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %	FLUOR INFLUENTE mg/l	FLUOR EFLUENTE mg/l	EFICIENCIA %
8/2	1	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.20	1.16	3.33
8/2	2	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.20	1.17	2.50
8/2	3	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.20	1.17	2.50
8/2	4	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.20	1.16	3.33
8/2	5	30.0	0.25	6.95	0.0	100	1.20	1.20	---
8/2	6	30.0	0.25	6.95	0.017	99.75	1.20	1.22	---

TABLA No. 4.17

## COEFICIENTE DE FANGOS.

CURVA/ENSAYE	JARRA NO.	DOSES DE COAGULANTE mg/l	DOSES DE CLORO mg/l	As EFICIENCIA %	COEFICIENTE DE COHESION DE FANGO	OBSERVACIONES
7/1	1	30	0.20	99.6	1.30	fango bien constituido.
	2	30	0.20	99.0		
7/2	1	30	0.15	99.67	0.674	fango fuera de rango.
	6	30	0.15	99.85		
7/3	2	30	0.30	86.33	0.812	fango bien constituido
	5	30	0.30	86.68		
7/4	1	30	0.35	87.33	0.839	fango bien constituido
	5	30	0.35	87.66		
7/5	2	30	0.40	87.66	0.671	fango por abajo del valor establecido.
	4	30	0.40	87.60		
7/6	3	30	0.45	99.91	1.00	fango bien constituido.
	6	30	0.45	99.88		
7/7	1	30	0.50	99.73	0.751	fango por abajo del valor establecido.
	2	30	0.50	99.92		
8/1	1	30	0.25	---	1.621	fango bien constituido
	2	30	0.25	98.57		
	3	30	0.25	99.63		
	4	30	0.25	99.63		
	5	30	0.25	---		
	6	30	0.25	97.51		
8/2	1	30	0.25	96.68	1.294	fango bien constituido
	2	30	0.25	97.47		
	3	30	0.25	97.14		
	4	30	0.25	97.10		
	5	30	0.25	98.28		
	6	30	0.25	98.79		

## CAPITULO V

### DISEÑO DE PROTOTIPO

Las características o impurezas del agua están sujetas a cambios constantes, que pueden ser debidas a condiciones naturales (lluvias, sequías, calidad mineral de los diferentes terrenos por los cuales circula etc), alteraciones producidas por el hombre ( descarga de efluentes industriales en los ríos, lagos, mares etc., así como la descarga de desechos domésticos, entre otros), y la proliferación de microorganismos patógenos que traen como consecuencia grandes cambios en las características del agua.

La tecnología del agua dejó de ser un conjunto de reglas empíricas y se convirtió en una ciencia multidisciplinaria, con teorías básicas que explican la complejidad de los procesos analizados.

Por consiguiente el tratamiento de aguas es un análisis de los fenómenos, para extraer de allí el conjunto de operaciones unitarias que tiene como finalidad producir en ellas los cambios físicoquímicos y biológicos necesarios para acondicionarla al consumo, asegurando su clarificación eliminando impurezas que se encuentran en ella, ya sea en estado molecular disuelto, coloidal o suspendido.

Los procesos básicos del tratamiento del agua, pueden dividirse en cuatro grupos :

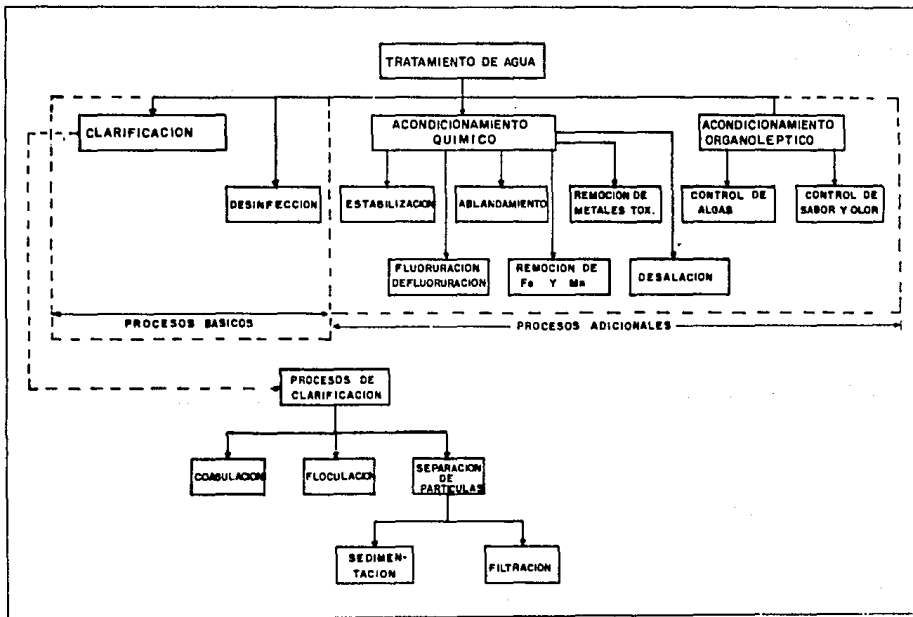
- 1.-Proceso de Clarificación
- 2.-Proceso de Desinfección
- 3.-Proceso de Acondicionamiento Químico y
- 4.-Proceso de Acondicionamiento Organoléptico.

La tabla 5.1 describe en forma esquemática los procesos del tratamiento de agua.

Los procesos de clarificación básicamente son tres:

- a) Coagulación.
- b) Floculación.
- c) Separación de partículas.

**TABLA 5.1**  
**DESCRIPCION ESQUEMATICA DE LOS PROCESOS**  
**DEL TRATAMIENTO DE AGUA**



Los dos primeros son solamente procesos preparatorios para el tercero que puede hacerse por sedimentación, por filtración, o ambas consecutivamente que es lo mas común.

La calidad del agua que se produce en la planta no necesariamente es la misma que la que se distribuye en la red, puede presentarse contaminaciones en ella.

Básicamente el agua que se suministra debe cumplir dos condiciones :

a) No debe ser peligrosa para la salud o la vida de los consumidores, el agua no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud, condición imprescindible.

b) El sistema debe operarse a un costo razonable, es decir el agua no debe producir daño, a la red de distribución, a las industrias, ni a la economía privada y que se pueda llegar a esto sin tener que hacer al agua un tratamiento altamente costoso.

Es por esto que cada país establece sus propias normas de acuerdo con la calidad de agua cruda que suele obtener y la relación costo-beneficio que puede producir en la región.

#### NORMAS SOBRE POTABILIDAD DEL AGUA.

##### Normas Bacteriológicas.

En esta norma se establece que toda agua para consumo humano no debe mostrar la presencia de gérmenes coliformes ejem. E. Coli, en ninguna de las muestras de 100 ml.

Si E.coli está ausente, la presencia de 3 gérmenes coliformes por 100 ml puede tolerarse en muestras ocasionales.

En abastecimientos individuales para pequeñas comunidades, el recuento de coliformes debe ser menor de 19 por 100 ml. Esta regla no tiene en cuenta los virus entéricos, que pueden existir en el agua y que son potencialmente peligrosos.

## **Normas Químicas Sobre Potabilización.**

Las sustancias que no debe contener el agua se clasifican en:

- 1.- Sustancias Químicas.
- 2.- Sustancias que pueden producir determinadas enfermedades.

La tabla No 5.2 nos muestra los valores máximos recomendables y permisibles establecidos en las Normas de la Organización Mundial de la Salud de 1971, y el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos (U.S.P.H.S), de 1962.

## **Normas Fisicoquímicas del agua.**

Son normas que están regidas por consideraciones puramente económicas.

Según sea el destino que se le dé al agua, además del uso doméstico, tienen que establecerse los límites de pureza en hierro, manganeso, pH alcalinidad, etc.

La tabla 5.3 presenta las normas de la OMS de 1971 y la del U.S.P.H.S. de los Estados Unidos de 1962 sobre las principales características fisicoquímicas del agua de consumo humano.

Cualquiera que sea la fuente, el agua siempre contiene impurezas, en solución o suspensión, lo que hace necesario un análisis y control de esas impurezas, lo que hace esencial el acondicionamiento del agua. El agua pura es insípida, incolora e inodora y es uno de los solventes casi universal.

Nuestros suministros de agua, se clasifican en dos grandes grupos:

- aguas superficiales (ríos, lagos, arroyos, lagunas y depósitos).
- aguas subterráneas (pozos y manantiales).



TABLA 5.2

SUBSTANCIAS QUIMICAS QUE INFLUYEN SOBRE LA POTABILIDAD DEL AGUA.

S U B S T A N C I A .	NORMAS OMS (1971)		NORMAS USPHS (1962)	
	máxima recomendable	máxima permisible	máxima recomendable	máxima permisible
<b>1.- SUBSTANCIAS TOXICAS.</b>				
. Arsénico (como As)mg/l	-	0.05	0.01	0.05
. Bario (como Ba)mg/l (a)	-	-	-	1.0
. Cadmio (como Cd)mg/l	-	0.01	-	0.01
. Cromo hexavalente (Cr <sup>+6</sup> ),mg/l(a)	-	-	-	0.05
. Cianuro (como CN)mg/l	-	0.05	0.01	0.2
. Plata (como Ag)mg/l (a)	-	-	-	0.05
. Plomo (como Pb)mg/l	-	0.1	-	0.05
. Mercurio (como Hg)mg/l	-	0.001	-	-
. Selenio (como Se)mg/l	-	0.01	-	0.01
. Cobre (como Cu)mg/l	0.05	1.5	1.0	-
<b>2.- COMPUESTOS ORGANICOS.</b>				
. Hidrocarburos plinucleares aromáticos, mg/l (b)	-	0.2	-	-
. Compuestos fenólicos orgánicos como fenoles mg/l (c).	-	-	0.001	-
. Extracto en carbón cloroformado (ECC) mg/l (d)	-	-	0.2	-
<b>3.- SALES</b>				
. Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )mg/l (e)	200	600	250	-
. Fluoruros (como F <sup>-</sup> )mg/l (f)	0.6-1.7	-	0.8 - 1.7	1.4 - 2.4
. Nitratos (como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (g)	-	45	45	-
. Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) (e)	200	400	250	-

TABLA 5.3

## NORMAS DE CALIDAD FISICO-QUIMICA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO.

S U B S T A N C I A	NORMAS OMS (1971)		NORMAS USPHS (1962)	
	máxima recomendable	máxima permisible	máxima recomendable	máxima permisible
<b>1.- CARACTERISTICAS FISICAS.</b>				
. Turbiedad U.J. (a)	5 U.J.	25 U.J.	5	-
. Color - Unidades	5	50 U.J.	15	-
. Olor y sabor. N. Incipiente	ninguno.	ninguno	3	-
. Sólidos totales-mg/l	500	1.500	-	-
<b>2.- CARACTERISTICAS QUIMICAS.</b>				
a) Generales.				
. Rango de pH	7.0 - 8.5	6.5 - 9.0	-	-
. Dureza total, mg/l	100	500	-	-
b) Metales.				
. Calcio (como Ca), mg/l	75	200	-	-
. Hierro (total como Fe)mg/l	0.1	1.0	0.3	-
. Manganeso (como Mn), mg/l	0.05	0.5	0.05	-
. Magnesio (como Mg), mg/l (b)	30	150	-	-
. Zinc (como Zn), mg/l	5.0	15.0	5.0	-
. Boro (como B) (c).	-	-	-	-

Las aguas superficiales son más susceptibles de contaminación a diferencia de las subterráneas, los pozos profundos generalmente están más mineralizados que los pozos superficiales, y a pesar de su mayor contenido disuelto (piedra caliza, yeso, sílice, cuarzo, fierro, manganeso), las aguas de pozos son más claras y más libres de contaminación bacterial, haciéndolas más adecuadas para beber, su composición química es más constante, aunque estas aguas pueden ser duras o blandas, dependiendo de las características minerales de las áreas que le rodean y de su profundidad.

#### Control Del Proceso De Coagulación-Floculación

La coagulación-floculación del agua, es el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. De aquella depende casi por completo la mayor o menor eficiencia del proceso subsiguiente: La separación de sólidos por sedimentación y filtración. La remoción de turbiedad en los sedimentadores y en los filtros así como la calidad que se obtenga de ellos.

Los aspectos fisicoquímicos no son suficientes en la práctica diaria de operación de plantas, se debe analizar las características hidráulicas de las unidades, para determinar el tiempo real que el agua queda retenida en los tanques y la extensión y gravedad de los cortos circuitos. Lo dicho anteriormente dependerá de la cantidad de coagulante que se use, esto es importante tanto para la eficiencia como para la economía de la operación y mantenimiento.

#### SEDIMENTACION

Los tanques de sedimentación se utilizan en el tratamiento de aguas y aguas residuales para reducir la cantidad de sólidos suspendidos sedimentables. Es uno de los procesos más usados en el tratamiento de aguas y aguas residuales, segundo quizás a la cloración.

Esta comprende los principios y la práctica de remover sólidos de suspensiones mediante la sedimentación y posteriormente, la concentración de la materia sedimentada.

La sedimentación se lleva a cabo, normalmente en tanques que utilizan la fuerza ejercida por la gravedad exclusivamente.

La sedimentación floculenta ocurre en el tanque de sedimentación primaria cuando la velocidad de sedimentación de la partícula se incrementa a medida que sedimenta a través de la profundidad del tanque, debido a la coalescencia con otras partículas. Esto incrementa la tasa de sedimentación, produciendo una trayectoria de sedimentación curvilínea. Por lo tanto, siempre que la floculación ocurra la tasa de derrame y el tiempo de retención llegan a ser significantes.

SEDIMENTACION

Partículas discretas .-Los sólidos no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido.

Partículas aglomeradas.-Los sólidos se adhieren entre sí, cambiando de tamaño forma y peso específico durante la caída.

Sedimentación de partículas discretas en un líquido en reposo.

Cuando las partículas en un fluido estático está sometido a dos fuerzas; la fuerza boyante ( $F_B = \rho g V$ ) y la gravitacional ( $F_G = sg v$ ). la fuerza que impulsa a la partícula hacia abajo es la diferencia de estas fuerzas  $F_G - F_B = F_i$  por lo tanto  $F_i = sg v - g V = g V (sg - )$  fuerza impulsora.

$$F_R = C_D A$$

Fuerza de roce

## Sedimentación de Partículas aglomerables.

La velocidad límite  $V_s$  o de asentamiento no es constante, sino creciente con el tiempo ya que estos aumentan de tamaño con la profundidad. Por tanto la eficiencia es función tanto de la carga superficial como del periodo de detención (por métodos experimentales).

## Clasificación De Los Sedimentadores De Acuerdo A la Carga Superficial.

### BAJA VELOCIDAD

-Flujo Horizontal (circular,rectangulares). masa líquida con  $V_o$  de un punto a otro las partículas caen con  $V_s$ .

No se presentan condiciones de sedimentación auto interferida en zona sedimentable.

- Flujo Vertical o santo de lodos siempre sedimentación autointerferida.

### ALTA VELOCIDAD

Pantallas o celdas.

## TANQUES DE SEDIMENTACION

Zonas en que Se Dividen Los Tanques De Sedimentación.

Los tanques de sedimentación se han dividido, tradicionalmente, en cuatro zonas para su análisis, cada una con sus características propias siendo las siguientes:

-Zona de entrada.- Proporciona una transición suave del gasto influente, de tal forma, que se obtenga el flujo estable deseado en la zona de sedimentación.

-Zona de salida.- Facilita una transición suave de la zona de sedimentación al flujo del efluente.

-Zona de lodos.- Las partículas se apoyan unas sobre otras formando mallas que se van compactando por lo tanto la velocidad de sedimentación se reduce considerablemente, así mismo recibe el material sedimentado y previene su interferencia con la sedimentación de las partículas en la zona de sedimentación.

-Zona de sedimentación.- Proporciona el volumen de tanque requerido para la sedimentación, sin interferir con la operación de las otras zonas.

En la zona de sedimentación las partículas sedimentan independientemente unas de otras. Camp. considera que cuando la concentración volumétrica de sólidos excede en un 5% (5000 ppm ) se presenta una reducción apreciable en la velocidad de asentamiento, (velocidad de sedimentación autointerferida) según Bond no hay fórmula general para caracterizar el inicio de la interferencia, depende de las características de la suspensión.

El funcionamiento de estas zonas son ideales en naturaleza. en algunos tanques pobremente diseñados, las zonas de entrada y salida toman demasiado volumen, coincidiendo parcialmente con la zona de sedimentación. Por lo cual, la zona efectiva de sedimentación es mucho más pequeña que la pretendida en el diseño.

#### Tipos De Tanques De Sedimentación.

La efectividad de un tanque de sedimentación depende de las características de sedimentabilidad de los sólidos suspendidos que se van a remover y de las características hidráulicas del tanque de sedimentación.

Estas últimas dependerán de la geometría y del flujo a través del tanque. Los tanques de sedimentación se diseñan para operar continuamente, generalmente son de flujo horizontal y que pueden ser rectangulares o circulares en planta. Los tanques circulares de flujo horizontal que pueden, a su vez ser alimentados centralmente con flujo radial, periféricamente con flujo radial y/o espiral; sin embargo, en la práctica el primero es el de mayor uso. Estos están equipados con tolvas para la recolección del lodo, la mayoría de los tanques de sedimentación cuentan con dispositivos mecánicos para la recolección del lodo. Los pisos del fondo de dichos tanques son sustancialmente planos y cuentan con tolvas de lodos de paredes con grados de inclinación relativamente altos. Así cuando el lodo sedimenta en el fondo del tanque, se mueve con el auxilio de rastras mecánicas hasta las tolvas para su subsecuente remoción.

Las ventajas que presentan los tanques rectangulares es que requieren menos área que los tanques circulares, es por esto que dichos tanques rectangulares se usan cuando existen limitaciones en la disponibilidad de la tierra, se pueden acoplar con los tanques de preaeración y de aeración en las plantas de tratamiento de lodos activados y cuando se requiere que los tanques de sedimentación estén cubiertos.

Generalmente, los tanques de sedimentación primaria se diseñan para proveer de 90 a 150 min de detención basados en el caudal promedio de las aguas residuales. Tanques que proporcionan períodos de retención menores de (30 a 60 min), con una remoción de sólidos suspendidos menor, se usan frecuentemente en el tratamiento preliminar antes de las unidades de tratamiento biológico.

## FACTORES QUE INFLUENCIAN EL DISEÑO.

Existe un cierto número de factores que afectan el funcionamiento de los tanques de sedimentación, consecuentemente, el diseño se influencia por la extensión a la cual, cualquiera de estos factores probablemente, tienen una influencia directa sobre los resultados. Como son ; Las Corrientes de Densidad (térmicas, concentración), Corrientes debidas al viento y Corrientes Cinéticas (alteraciones en la entrada, o la salida y obstrucciones de la sedimentación). Entre otros se tienen:

### Variación del flujo

En el diseño se le tiene que dar atención cuidadosa a la selección del flujo máximo. Este puede variar de tres veces el flujo promedio, en plantas pequeñas, a 1.5 veces el flujo promedio, en plantas grandes.

### Corrientes De Densidad.

Una corriente de densidad es un flujo por gravedad producido en un fluido por otro fluido de ligeramente mayor o menor densidad que se hunde, respectivamente a niveles menores o mayores. Esto sucede cuando el licor mezclado del influente se hunde hasta encontrar una densidad semejante y fluye a lo largo del tanque hasta que es forzado hacia arriba por alguna obstrucción. Usualmente, esto sucede al otro extremo del tanque, induciendo como consecuencia una contracorriente en los niveles superiores. Esto es, en sentido opuesto, o sea hacia el influente. La velocidad debida a la corriente de densidad parece ser afectada por las proporciones del tanque y la velocidad del influente. Las corrientes de densidad son más severas en los tanques profundos y menos severas en los tanques poco profundos con altas velocidades horizontales. La localización de los vertedores del efluente con respecto al volcamiento hacia arriba de las corrientes de densidad tiene influencia en el diseño de los vertedores de derrame.



#### Carga De Sólidos.

La carga de sólidos suspendidos varía, aproximadamente, de 1.7 a 3.4 Kg/m<sup>2</sup> x día. Dentro de este ámbito, el factor controlante es la tasa de derrame.

#### Concentración De Sólidos.

La concentración máxima de los lodos dentro del tanque de sedimentación, evitando las condiciones sépticas; es el objetivo de muchos operadores de plantas. En los tanques de sedimentación primaria, el deseo de retener el lodo para obtener una mayor concentración se equilibra contra el deterioro en la eficiencia de la sedimentación.

#### Licor Sobrenadante.

El sobrenadante de los tanques de digestión de lodos impone una carga adicional sobre los tanques de sedimentación y sobre el proceso total. Práctica común es agregar el sobrenadante directamente al proceso secundario a tasas bajas controladas, donde no ejerce efectos perjudiciales. La adición del filtrado procedente de los filtros al vacío y del sobrenadante procedente del proceso de elutriación a los tanques de sedimentación, aparentemente, no presenta problemas serios debido a que la proporción del flujo procedente de estos procesos al flujo total es muy bajo generalmente.

#### Tasa De Derrame o Tasa De Carga Hidráulica.

La selección de la tasa de derrame que se usará en el diseño en cuestión de análisis y experiencia.

## Recomendaciones para el diseño.

Tanques de sedimentación primaria: Los tanques de sedimentación primaria sin tratamiento secundario no deben de exceder tasas de carga superficial de  $24.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$  para gastos de diseño de  $3.78 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$  o menores. Tasas mayores pueden permitirse en plantas más grandes.

El efecto de la tasa de derrame de carga superficial y el tiempo de retención en la remoción de los sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de: las características del agua, proporción de sólidos sedimentables, la concentración de sólidos y otros factores. Debe enfatizarse que las tasas de derrame deben ser fijadas lo bastante bajas para asegurar un buen funcionamiento a tasas de flujo pico.

El asentamiento de partículas discretas en un decantador de flujo continuo, el área superficial  $A$  y la carga superficial  $Q/A$  son parámetros más importantes que la profundidad y el periodo de detención. La sedimentación depende de la floculación.

Para determinar la eficiencia del decantador se realiza en forma práctica o con modelos con ayuda de trazadores.

### Profundidad.

Debido a que el funcionamiento de los tanques de sedimentación dependen de la floculación de los sólidos suspendidos y el grado de floculación depende del tiempo de retención, el funcionamiento del tanque, con respecto a la remoción de partículas floculentas dependerá de su profundidad. Por economía se diseñan para la profundidad mínima practicable que se determina de acuerdo a los requerimientos de espacio necesarios para el equipo de remoción de lodos o a la necesidad de evitar la resuspensión de los lodos depositados en el fondo del tanque.

Una profundidad mínima del agua de 2.1 m se recomienda para todo tipo de aplicaciones.

#### Periodo De Retención.

La tasa de derrame combinada con la profundidad provee, de un cierto tiempo de retención, en horas, para profundidades dadas. Generalmente se diseñan para satisfacer las necesidades para algún tiempo en el futuro, consecuentemente, el periodo de retención real durante los primeros años de operación será mayor.

#### Tasa Del Vertedor.

En tanques de sedimentación primaria, no existen evidencias de que la tasa del vertedor tenga algún efecto significativo en la remoción.

Fundamentalmente, factores tales como la tasa de derrame tienen mayor efecto. Mas importante es la localización del vertedor y el diseño de los tanques.

#### Velocidad a través del tanque de sedimentación.

La velocidad del flujo a través del tanque de sedimentación no será uniforme en la sección perpendicular al flujo aunque las entradas y salidas se diseñen para proporcionar una distribución uniforme. La velocidad no será estable debido a las corrientes de densidad, a las corrientes formadas por los "eddy's" y a la operación del mecanismo removedor del lodo. Con el objeto de minimizar estas perturbaciones, la velocidad a través del tanque de sedimentación debe conservarse entre 15.2 y 91.5 cm/min. No obstante, existen evidencias de que ámbitos de velocidades tan altas como 3.7- 5.5. m/min pueden usarse en tanques adecuadamente proporcionados sin causar la resuspensión de lodos del fondo.

#### Velocidad de resuspensión de los lodos del fondo.

La velocidad de resuspensión es importante en la operación de los tanques de sedimentación.

Las fuerzas actúan sobre las partículas sedimentadas y son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las partículas. Aquí, las velocidades horizontales deben mantenerse lo suficientemente bajas para que las partículas ya sedimentadas no se resuspendan. La velocidad crítica está dada por la Ec. 1, la cual fué desarrollada por Camp., utilizando los resultados de los estudios de Shields.

$$s V_H = \frac{S \times K (S - 1) g d^{1/2}}{f}$$

$V_H$  = velocidad horizontal que empezará a producir resuspensión.

$S$  = gravedad específica de las partículas.

$d$  = diámetro de la partícula.

$K$ =constante que depende del tipo de material que está siendo resuspendido.

$s$ = se puede utilizar cualquier sistema de unidades, siempre y cuando exista consistencia.

Valores típicos de  $K$  son 0.04 para arena granular y 0.06 ó mayor para materia mas viscosa. El término  $f$  es el factor de fricción de Darcy- Weisbach, que depende de las características de la superficie sobre la cual se lleva acabo el flujo y del número de Reynolds valores típicos de  $f$  varían de 0.02 a 0.03.

Cantidad y manejo del lodo esperado.

El volumen del lodo producido dependerá de : 1) las características del agua residual cruda, incluyendo carga orgánica y fresca. 2) el tiempo de sedimentación y el grado de tratamiento esperado, de acuerdo con el diseño, 3) las condiciones de los lodos sedimentados, incluyendo : la gravedad específica, el contenido de humedad y los cambios en el volumen esperado bajo la influencia de la profundidad del tanque o del mecanismo de recolección de lodos 4) el periodo entre las operaciones de recolección del lodo.

## SEDIMENTACION FLOCULENTO.

Tiene lugar cuando la velocidad de asentamiento de las partículas se incrementa debido a la coalescencia con otras partículas. La sedimentación floculenta muestra que la trayectoria de sedimentación de estas partículas son curvas, a diferencia que las líneas rectas para sedimentación discreta.

El criterio de diseño para exhibición de sistemas de sedimentación floculenta son establecidos en el laboratorio por medio de una columna de sedimentación típica.

La concentración de los sólidos suspendidos es uniforme a través de toda la columna empezando la prueba por medio de un mezclador portátil. La profundidad de la columna es aproximadamente la misma que el tanque de sedimentación diseñado. La temperatura debe permanecer constante durante la prueba. Un diseño práctico de una columna de sedimentación es de 8ft de profundidad con porta muestras a profundidades de 2, 4, 6 y 8 ft.

Los datos tomados a 2, 4 y 6ft son utilizados para determinar la velocidad de asentamiento y las relaciones de tiempo de detención. Los datos de 8ft son usados para la concentración de lodos y las determinaciones de compactación.

A continuación se describen los datos obtenidos experimentalmente en una columna de sedimentación que son resumidos en la tabla 5.4.

TABLA 5.4  
DATOS DE SEDIMENTACION OBTENIDOS EN LABORATORIO.

CONCENTRACION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS (MG/L) A LAS ALTURAS EXPERIMENTADAS		
TIEMPO (min)	1.2 M	1.8 M
0	147.0	147.0
1	138.5	137.5
2	131.5	127.5
3	127.0	101.0
4	99.95	121.0
5	92.0	131.5
6	67.5	158.0
7	81.0	105.5
8	62.0	152.5
9	74.0	120.5
10	---	84.5
11	7.0	30.5
12	62.5	74.5
13	59.5	69.5

Con los datos obtenidos de la tabla 5.4 se llevará a cabo el tratamiento de los datos experimentales para realizar las siguientes curvas: a) % de sólidos suspendidos removidos Vs. tiempo de detención (min). b) % de sólidos suspendidos removidos Vs. tasa de derrame ( $m^3/día \times m^2$ ), y c) % de sólidos remanentes (fracción de partículas con baja estado de velocidad) Vs. velocidad de asentamiento (m/hr).

Cálculo para la fracción de sólidos remanentes en la suspensión para cada muestra:

$$x = \frac{ss}{ss_0} \quad \% Y = \frac{ss}{ss_0} \times 100$$

$ss$  = concentración de sólidos suspendidos en la muestra (mg/l).  
 $ss_0$  = concentración de sólidos suspendidos iniciales (mg/l).  
 $x$  = fracción de sólidos remanentes en cada muestra.  
 $y$  = % de sólidos remanentes.

Cálculo de la fracción de sólidos removidos para cada muestra:

$$1-x = \text{fracción de sólidos removidos.}$$

$$\%z = 100-y.$$

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 5.5:

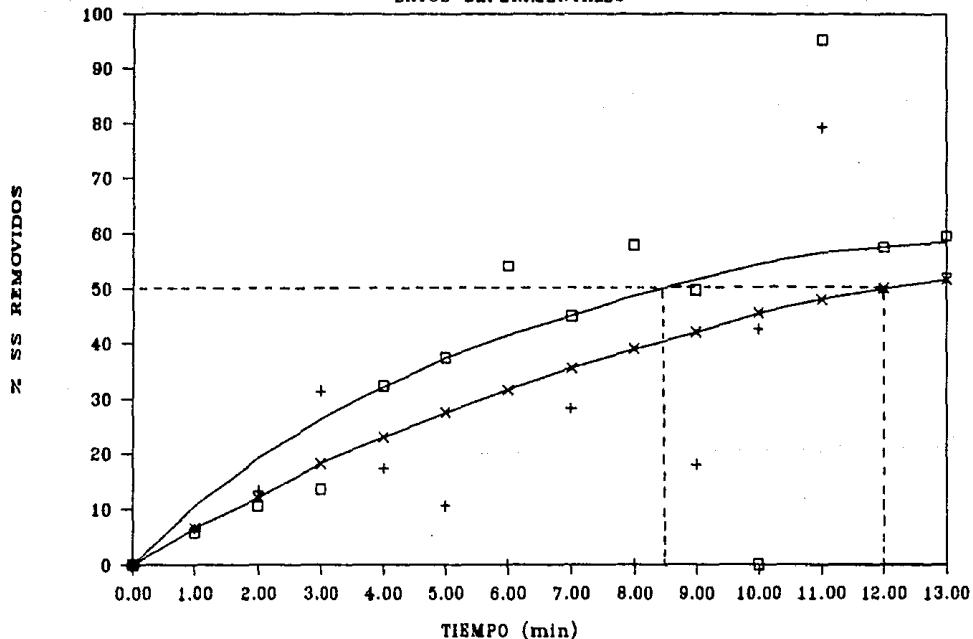
TABLA 5.5  
 CALCULO DE LA FRACCION DE SOLIDOS REMANENTES REMOVIDOS PARA  
 1.20M. 1.80M DE ALTURA DE MUESTREO.

TIEMPO (MIN)	SS. REMANENTES		(%) SOL. REMANENTES		(%) SOL. REMOVIDOS		
	1.20 m	1.80 m	Y=(SS/SS <sub>0</sub> ) X100		Z=100-Y		
			SS <sub>0</sub> =147 MG/L				
				1.20m	1.80m	1.20m	1.80m
0	147.0	147.0	--	--	--	--	--
1	138.5	137.5	94.22	93.54	5.78	6.46	
2	131.5	127.5	90.46	86.79	10.54	13.27	
3	127.0	101.0	86.90	68.71	19.00	31.29	
4	90.5	121.0	67.00	82.00	32.91	17.95	
5	92.0	131.5	62.90	90.46	37.41	10.54	
6	67.5	158.0	45.92	---	54.08	---	
7	81.0	105.5	55.10	71.76	44.90	28.28	
8	62.0	152.5	42.18	---	57.82	---	
9	74.0	120.5	50.34	81.97	49.00	18.03	
10	---	84.5	---	57.48	---	42.52	
11	7.0	80.5	4.76	20.75	95.24	79.25	
12	62.5	74.5	42.52	50.68	57.48	49.32	
13	59.5	69.5	40.48	47.28	59.52	52.72	

CON LOS DATOS DE LA TABLA 5.5 SE GRAFICA N SS REMOVIDOS VS TIEMPO QUE  
 SE PRESENTA EN LA FIG 5.1.

# FIG 5.1 TIEMPO Vs % SS REMOVIDOS

DATOS EXPERIMENTALES



□ EXP A 1.20 M.    + EXP A 1.80 M.    — OPT A 1.20 M.    x OPT A 1.80 M.



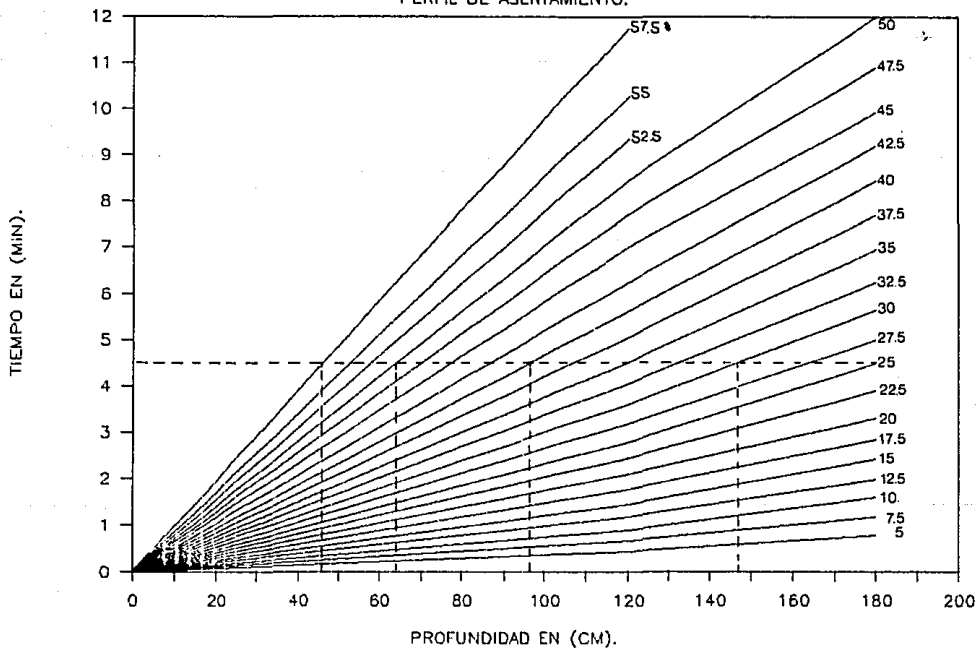
De la figura 5.1 se construye una gráfica del perfil de asentamiento fig. 5.2, ésta se obtiene leyendo los valores de las curvas en el eje de las X, (t min) para cada valor seleccionado de % ss removidos para cada una de las profundidades. Estos valores son tabulados en la tabla 5.6 y utilizados para la construcción de la fig. 5.2

TABLA 5.6 VALORES OBTENIDOS DE LA FIG. 5.1

% SS removidos	t(min)		Velocidad de Sedimentación (m/hr) Ve= H/t = 1.8/t (hr/100 min). H=1.8 m.
	1.2m	1.8m	
5.0	0.43	0.78	138.46
7.5	0.47	1.17	92.31
10.0	0.60	1.60	67.50
12.5	1.18	1.98	54.55
15.0	1.45	2.42	44.63
17.5	1.77	2.85	37.89
20.0	2.10	3.32	32.53
22.5	2.45	3.90	27.69
25.0	2.80	4.50	24.00
27.5	3.20	5.0	21.60
30.0	3.60	5.60	19.12
32.5	4.05	6.25	17.28
35.0	4.52	6.95	15.54
37.5	5.05	7.70	14.03
40.0	5.60	8.45	12.78
42.5	6.25	9.20	11.74
45.0	7.0	9.95	10.98
47.5	7.72	10.90	9.91
50.0	8.45	12.0	9.00
52.5	9.25	---	---
55.0	10.27	---	---
57.5	11.75	---	---
60.0	---	---	---

FIG. 5.2 % SS REMOVIDO Vs. TIEMPO

PERFIL DE ASENTAMIENTO.



De la figura 5.2 para una altura de 1.8m se tienen los valores de tiempo en minutos, correspondientes a 5, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5, 35.0, 37.5, 40.0, 42.5, 45.0, 47.5, 50.0, 52.5, 55.0, 57.5, % de sólidos removidos y se calcula la velocidad de asentamiento correspondiente  $V_s$  (m/hr), y fueron tabulados en la tabla 5.1

Para el cálculo de % de remoción de sólidos suspendidos y tasa de derrame, se ejemplifica para un tiempo de sedimentación de 4.5 min para una altura de asentamiento  $H=1.8m$ , 25% de los sólidos suspendidos son completamente removidos. Considerando que las partículas más próximas lo hacen con un 10% adicional de rango. Se consideró el rango de prueba de 20 a 30% de remoción.

Las partículas en este rango son removidas en proporción  $V_1/V_s$  o en la proporción de asentamiento más bajo promedio ( $h$ ) hasta el total del asentamiento logrado ( $H$ ). El asentamiento más bajo promedio ( $h$ ) se calcula por interpolación de la curva promedio a 25% de remoción constante de la fig. 5.2, y leyendo la profundidad  $h$  correspondiente a 4.5 min se tiene:

	Remoción	25.0%
	$h_1$ (m)	$h_1/H \times .10 =$
1er intervalo (30%)	146.4	$(146.4/1.80) \times .10 = 8.13\%$
2do intervalo (40%)	96.4	$(96.4/1.80) \times .10 = 5.36\%$
3er intervalo (50%)	64.2	$(64.2/1.80) \times .10 = 3.57\%$
4to intervalo (57.5%)	46.8	$(46.8/1.80) \times .10 = 1.95\%$

Total removido después de 4.5 min = 19.01%

en una forma similar se realiza para los intervalos de 10% subsecuentes para las curvas con % de remoción constante de 5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5, 32.5, 37.5, 42.5, 47.5, 52.5 y 57.5, con los tiempos de la tabla 5.6 y son tabulados en la tabla 5.7 y resumidos en la 5.8.

TABLA No. 5.7

% SS	Ø = 0.75 mil.		Ø = 1.50 mil.		Ø = 2.42 mil.		Ø = 3.32 mil.		Ø = 4.5 mil.		Ø = 5.65 mil.		Ø = 6.95 mil.		Ø = 8.45 mil.		Ø = 9.95 mil.		Ø = 12.0 mil.	
	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS	h (cm.)	% SS REMOVIDOS
3.0	H1.8m	3.0																		
7.5	127.8	3.55																		
10.0			H1.8m	10.0																
12.5	74.4	2.07	150.0	4.17																
15.0					H1.8m	15.0														
17.5	30.4	1.40	106.8	2.97	156.0	4.33														
20.0							H1.8m	20.0												
22.8	36.0	1.00	78.0	2.17	118.8	3.30	154.8	4.30												
25.0									H1.8m	25.0										
27.5	28.2	0.78	60.0	1.67	90.0	2.50	123.0	3.42	163.2	4.53										
30.0										H1.8m	30.0									
32.5	22.2	0.62	47.4	1.32	72.0	2.0	98.4	2.73	132.0	3.67	163.2	4.53								
35.0											H1.8m	35.0								
37.5	18.0	0.50	36.4	1.07	54.2	1.62	78.8	2.16	106.8	2.87	133.8	3.72	163.2	4.53						
40.0												H1.8m	40.0							
42.5	14.4	0.40	32.2	0.87	48.8	1.30	63.8	1.17	86.4	2.40	108.0	3.00	134.4	3.73	164.4	4.57				
45.0													H1.8m	45.0						
47.5	12.0	0.33	25.2	0.70	38.4	1.07	51.8	1.43	70.2	1.95	88.2	2.45	108.0	3.0	133.8	3.72	162.0	4.50		
50.0														H1.8m	50.0					
52.5	10.2	0.28	21.0	0.58	31.8	0.88	42.8	1.18	57.6	1.60	62.6	2.02	83.4	2.48	108.0	3.0	129.6	3.90	165.6	4.60
55.0															H1.8m	55.0				
57.5	6.4	0.23	16.8	0.47	25.2	0.70	34.2	0.95	46.2	1.28	58.2	1.62	71.4	1.98	88.4	2.40	108.0	2.83	134.2	3.45
TOTAL:	16.16		26.89		32.70		37.96		43.4		47.34		50.72		53.69		55.93		58.09	

TABLA 5.8 SS REMOVIDOS VS. TIEMPO DE DETENCION.

t(MIN)	N SS REMOVIDOS.
0.78	16.16
1.00	25.00
2.42	32.70
3.32	37.00
4.50	48.40
5.00	47.34
6.00	50.72
8.45	58.00
9.00	55.00
12.0	58.05

Con la tabla 5.8 se elabora la gráfica correspondiente en la fig. 5.8 de N ss removidos vs. tiempo detención, asimismo la tabla 5.9 y fig. 5.4 presenta el cálculo sólidos suspendidos removidos contra la tasa de derrame, para los tiempos, N de sólidos removidos.

TABLA 5.9  
N DE SS REMOVIDOS VS. TASA DE DERRAME.

t (MIN)	Vs (m/hr)	TASA DE DERRAME ( $M^3/DIA M^2$ ) Vs (m/hr) 24hr/día m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> = Vs 24 x 1 = 24 Vs.	N SS REMOVIDO
0.78	139.40	3329.04	16.16
1.00	17.50	1020.0	25.00
2.42	44.00	1071.12	32.70
3.32	32.50	780.72	37.00
4.50	24.0	576.0	48.40
5.00	19.12	458.88	47.34
6.00	15.34	372.00	50.72
8.45	12.78	306.72	58.00
9.00	10.80	264.12	55.00
12.0	9.0	216.0	58.05

FIG.5.3 GRAF % SS Vs TPO DE DENTENCION.

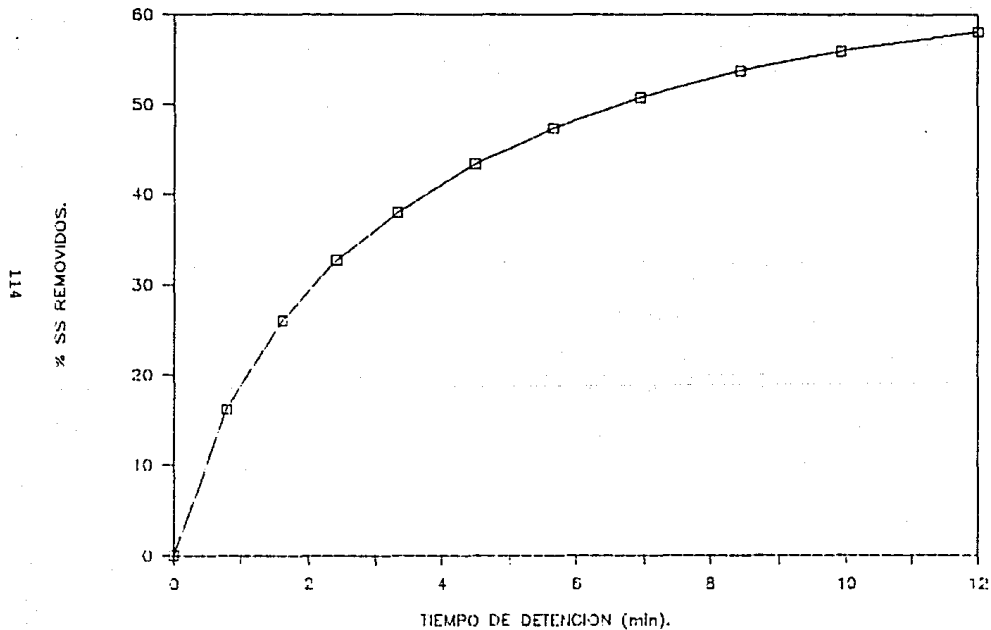
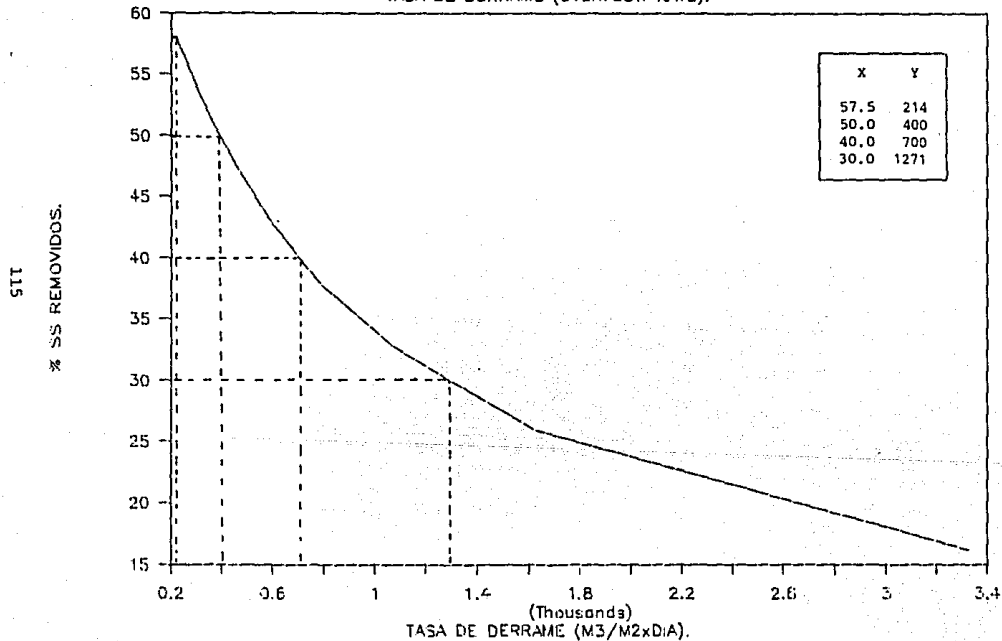
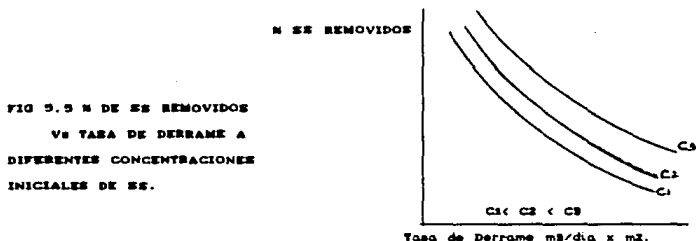


FIG 5.4 % SS REMOVIDOS Vs VEL DERRAME

TASA DE DERRAME (OVERFLOW RATE).



Todos los cálculos son realizados para la concentración de sólidos suspendidos iniciales de 147 mg/l y cálculos similares pueden ser realizados para otros valores de concentración produciéndose una familia de curvas para las gráficas similares de % ss removidos vs. tasa de derrame como se indica en la figura siguiente:



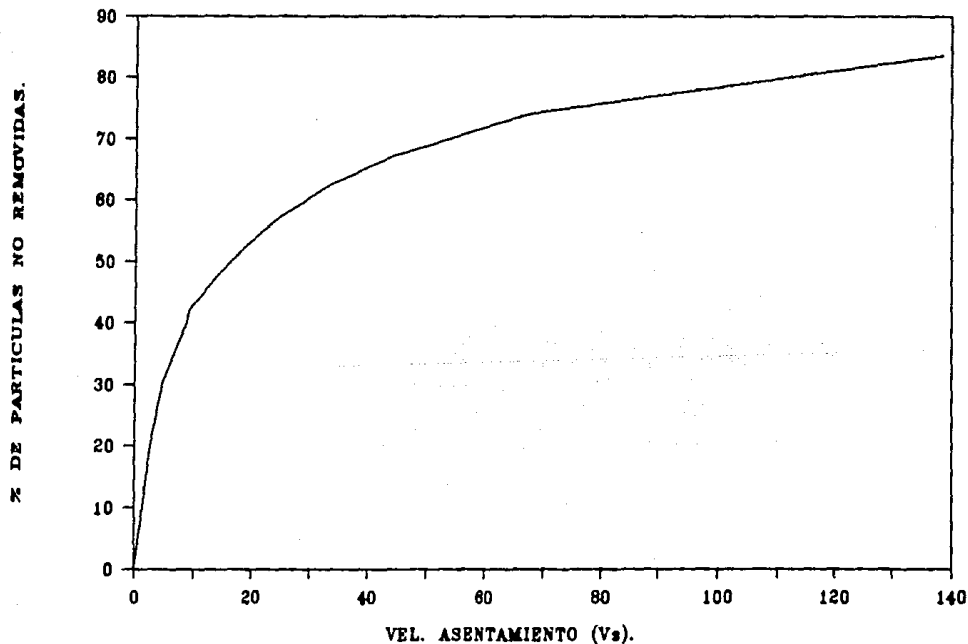
Con los datos obtenidos se prepara la tabla 5.10 de porcentaje de partículas con estado de velocidad menor (porcentaje no removido) vs. velocidad de asentamiento (m/hr). Mismo que se presenta en la figura 5.6. Esta última tabla no es necesaria para los cálculos de diseño

tabla 5.10.  
PORCENTAJE DE PARTICULAS CON ESTADO DE VELOCIDAD MENOR QUE VS.  
(VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO.)

t (MIN)	Vs (m/hr)	N SS REMOVIDO	PORCENTAJE NO REMOVIDO 100-N SS.
0.78	138.46	10.16	89.84
1.00	97.50	25.00	75.00
2.42	44.08	32.70	67.30
3.82	32.98	37.00	63.00
4.90	24.00	49.40	50.60
5.05	19.12	47.34	52.66
6.05	15.34	50.72	49.28
8.45	12.78	58.00	42.00
9.08	10.88	55.08	44.92
12.00	9.00	58.05	41.95
	8.00		40.00
	4.00		90.00
	2.00		30.00
	1.00		10.00



FIG 5. % DE PARTICULAS NO REMOVIDAS



Para efectos de escalamiento, el factor de eficiencia del proceso en un tanque de sedimentación es reducido debido a efecto de los parámetros tales como la turbulencia, corto circuito y las interferencias de entrada y salida pueden ser tomadas en cuenta. El efecto neto de estos factores resulta en un decreciente de la tasa de derrame y un incremento en el tiempo de detención sobre valores derivados del análisis de laboratorio. Para los propósitos de diseño, es costumbre dividir la tasa de derrame obtenida de análisis entre 1.25 y 1.75 y multiplicando el tiempo de detención por un factor en el mismo rango.

#### PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

##### BALANCE DE MATERIALES PARA SOLIDOS SUSPENDIDOS (SS):

a) Eficiencia del 57.5%.

Influyente: 147 mg/l.

Remoción:  $(0.575)(147) = 84.52$  mg/l.

Efluyente:  $147 - 84.52 = 62.47$  mg/l.

##### DETERMINACION DE TASA DE DERRAME.

De la gráfica trazada fig. 5.4, tasa de derrame vs. % de sólidos removidos se obtiene la tasa correspondiente para esta eficiencia:

$$T.D. = \frac{214 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}}{1.75} = 122.44 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$$

1.75 = factor de escalamiento.

### DETERMINACION DE TIEMPO DE RETENCION.

De la figura 5.3 % se reevidos vs. tiempo (min) y con el porcentaje seleccionado de 57.5% se obtiene el tiempo = 11.25 min.

$$t = (11.25) (1.75) = 19.68 \text{ min.}$$

$$t = 0.3281 \text{ hr.}$$

### CALCULO DEL AREA DE SECCION TRANSVERSAL REQUERIDA.

$$A = Q/T.D.$$

$$Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/día} = 60 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$A = \frac{60 \text{ m}^3/\text{día}}{122.44 \text{ m}^3/\text{día m}^2} = 0.490 \text{ m}^2$$

$$D = (4 \times A/3.1416)^{1/2} = (4 \times 0.490/3.1416)^{1/2} = 0.7892 \text{ m.}$$

$$Q = \text{gasto en ( m}^3/\text{día).}$$

$$T.D = \text{tasa de derrame (m}^3/\text{día} \times \text{m}^2)$$

### CALCULO DE ALTURA EFECTIVA DE CLARIFICADOR

$$H = \frac{\text{VOLUMEN}}{\text{AREA}} = \frac{Q \times t}{A}$$

$$H = \frac{60 \text{ m}^3/\text{día} \times 1 \text{ día}/24 \text{ hr} \times 0.3281 \text{ hr}}{0.49 \text{ m}^2} = 1.67 \text{ m.}$$

La siguiente tabla No 11 resume los datos obtenidos mediante la secuencia de calculos anteriormente descrita, para las eficiencias seleccionadas.

Tabla No 5.11. Parametros Calculados

PARAMETROS	EFICIENCIA %	
	57.5	50.0
Conc en el Influyente mg/l.	147.0	147.0
Conc. en el Efluente mg/l.	62.47	73.5
T.D (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día )	122.44	288.57
Tiempo de detención (min).	19.69	11.46
Area de sección transversal (m <sup>2</sup> )	0.490	0.262
Altura Total en (m )	1.67	1.81

Si la tasa de derame se duplica para la misma area el nuevo flujo seria:

$$(2) (122.44) = 244.88 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{día.}$$

de la figura 5.4 le corresponde un 55.6% de reaccion de sólidos suspendidos

ACUMULACION DE LODOS / DIA .

Concentración de solidos suspendidos = 84.52 mg/l.;  $8.452 \times 10^{-5}$  Kg<sub>ss</sub>/litro de agua tratada.

$$8.452 \times 10^{-5} \text{ Kg}_{ss} / \text{l} \times 1000 \text{ l} / \text{m}^3 = 0.08452 \text{ Kg}_{ss} / \text{m}^3$$

$$L \text{ min} = 61.68 \text{ m}^3 / \text{día} \times 0.08452 \text{ Kg}_{ss} / \text{m}^3 = 5.086 \text{ Kg}_{ss} / \text{día.}$$

$$L \text{ máx} = 10.17 \text{ kg}_{ss} / \text{día.}$$

CALCULO DEL PROMEDIO DE TASA DE BOMBEO DE LODOS

Tomando como base que el 1.5 % de sólidos corresponde a 1.5 g<sub>ss</sub>/ l. = 15 g<sub>ss</sub>/ 1000 g<sub>licor</sub> = 15 g<sub>ss</sub> / l.:

$$15 \text{ g}_{ss} / \text{l} \times 1000 \text{ l} / \text{m}^3 = 15 \text{ Kg}_{ss} / \text{m}^3.$$

$$5.086 \text{ kg} / \text{día} / 15 \text{ Kg}_{ss} / \text{m}^3 = 0.339 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

$$10.17 \text{ Kg} / \text{día} / 15 \text{ Kg}_{ss} / \text{m}^3 = 0.678 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

ss

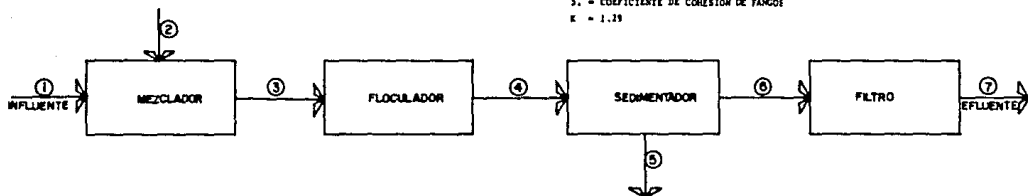
## DIAGRAMA DE PROCESO

1-  $Q_{min} = 60 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.694 l /seg)  
 $Q_{máx} = 120 \text{ m}^3/\text{día}$  (1.388 l /seg)  
 $T = 13^\circ\text{C}$   
 $\tau = 6-6$   
 $SS = 0.3 \text{ kgss/día}$   
 $AS^{+3} \text{ TOTAL} = 0.4311 \text{ ppm}$   
 $AFAT = 7.5/100 \text{ ppm}$   
 $T = 733 \text{ mg/g}$

2- DOSIS DE QUIMICO (D.O.)  
 $Q_{min} \text{ Fe}^{+3} = 0.18 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.125 l /min)  
 $Q_{máx} \text{ Fe}^{+3} = 0.36 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.25 l /min)  
 $Q_{min} \text{ Cl}_2 = 0.0015 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.00164 l /min)  
 $Q_{máx} \text{ Cl}_2 = 0.003 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.00208 l /min)

5- 1. = VOLUMEN DE LODOS PRODUCIDOS  
 $Vol_{min} = 0.1805 \text{ m}^3/\text{día}$   
 $Vol_{máx} = 0.361 \text{ m}^3/\text{día}$   
 2. = ACUMULACION DE LODOS/día  
 $L_{min} = 5.086 \text{ kg ss/día}$   
 $L_{máx} = 10.17 \text{ kg ss/día}$   
 3. = RELACION MASA/VOLUMEN  
 $R_{min} = 28.07 \text{ kg ss/día}$   
 $R_{máx} = 28.01 \text{ kg ss/día}$   
 4. = AGUA DE ARRASTRE  
 $Q_{min} = 0.1815 \text{ m}^3/\text{día}$   
 $Q_{máx} = 0.363 \text{ m}^3/\text{día}$   
 5. = COEFICIENTE DE COHESION DE TANGOS  
 $K = 1.25$

7-  $Q_{min} = 60 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.694 l /seg)  
 $Q_{máx} = 120 \text{ m}^3/\text{día}$  (1.388 l /seg)  
 $SS_{min} = 0 \text{ kg/día}$   
 $SS_{máx} = 0 \text{ kg/día}$  (máx 5 NTU)  
 $EN \text{ BASE CORRIIDA } 8-2:$   
 $\text{-pH promedio} = 6.76$   
 $AS^{+3} \text{ TOTAL PROMEDIO} = 0.011 \text{ p.p.m.}$   
 $Turbiedad Promedio = 0.98 \text{ NTU}$   
 $AFAT = 0/65.96$



3-  $Q_{min} = 60.1815 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.695 l /seg)  
 $Q_{máx} = 120.363 \text{ m}^3/\text{día}$  (1.392 l /seg)  
 $SS_{min} = 9.14 \text{ kgss/día}$   
 $SS_{máx} = 18.0 \text{ kgss/día}$

4-  $Q_{min} = 60.1815 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.713 l /seg)  
 $Q_{máx} = 120.363 \text{ m}^3/\text{día}$  (1.42 l /seg)  
 $SS_{min} = 9.14 \text{ kgss/día}$   
 $SS_{máx} = 18.0 \text{ kgss/día}$

6-  $Q_{min} = 60 \text{ m}^3/\text{día}$  (0.694 l /seg)  
 $Q_{máx} = 120 \text{ m}^3/\text{día}$  (1.388 l /seg)  
 $SS_{min} = 3.33 \text{ kgss/día}$   
 $SS_{máx} = 7.75 \text{ kgss/día}$   
 $T = 23^\circ\text{C}$   
 $\text{pH Promedio} = 6.76$   
 $AS^{+3} \text{ Promedio} = 0.025 \text{ p.p.m.}$   
 $\text{Cloro residual} = 0.10 \text{ p.p.m.}$

### I. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

TEMPERATURA BULBO SECO (°C )  
TEMPERATURA BULBO HUMEDO (°C )    VER TABLA No I  
VELOCIDAD DE VIENTO ( m /seg )  
PRECIPITACIÓN PLUVIAL ( mm )

### II. REQUERIMIENTOS DEL AGUA PRODUCTO.

GASTO : 60 ms / día.  
ORIGEN: POZO  
OPERACION: CONTINUA.  
TRATAMIENTO: COAGULACION - FLOCULACION.  
DESTINO: AGUA POTABLE.

### III. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA POR EQUIPO.

MEZCLADOR

$$V = Q / t$$

En donde :

Q = GASTO en ( ms / min ) ;    t = TIEMPO DE RESIDENCIA ( min ) ;  
V = VOLUMEN ( ms ).

VOL. mín. = 0.041 ms.

VOL. máx = 0.083 ms.

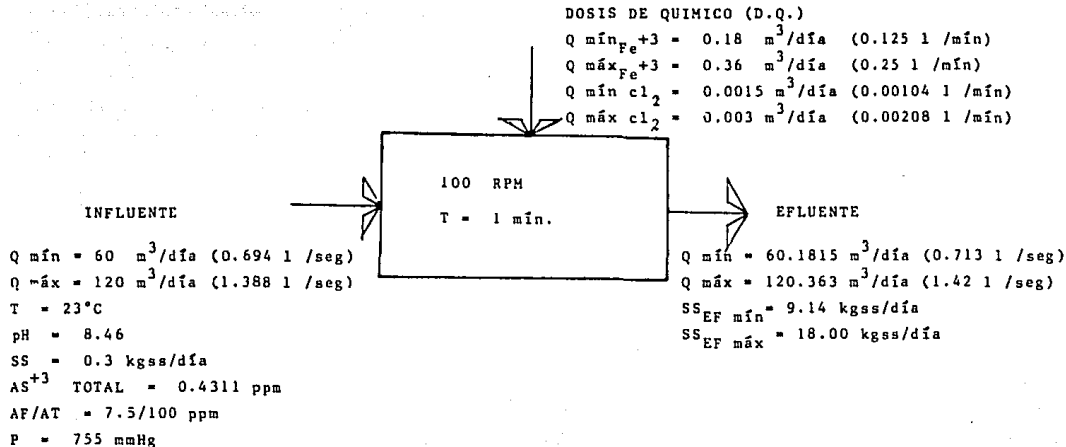
FORMA DEL EQUIPO : CUADRADO.

AREA : 0.36 m x 0.36 m

ALTURA : 0.80 m.

VOLUMEN : 0.103 ms.

## DIAGRAMA DE PROCESO DE MEZCLADOR



SS = Sólidos suspendidos.

AGITACION (SEGUN LIGTHNIN DE MEXICO S.A. de C.V. ).

MOTOR : 1 /30 H.P

R.P.M : 0 - 1750.

LONGITUD DE FLECHA : 18 in.

IMPULSOR DIAMETRO : 2.5 in.

#### CONDICIONES DE ENTRADA.

Q min = 60 ms / día. (0.694 l / seg ).

Q máx = 120 ms / día (1.388 l / seg ).

#### SOLIDOS SUSPENDIDOS. (SS)

SS = 5 mg/ l x 60 ms/día x 1000 l/ ms x 1 g/ 1000 mg x 1 Kgas/ 1000 g

SS min = 0.3 Kgas / día.

SS máx = 0.6 Kgas / día.

#### DOSIFICACION DE QUIMICOS.

COAGULANTE : SULFATO FERRICO COMERCIAL. 66.27 % DE PUREZA.

CONCENTRACION : SOLUCION AL 1 % .

DOSIS : 30 mg / l .

Q min Fe+s = 0.003 l / l a.c / día x 1 ms / 1000 l = 0.18 ms / día .

Q máx Fe+s = 0.36 ms/ día.

a. c = agua cruda.

CONCENTRACION DE SOLUCION DE CLORO PREPARACION DE SOLUCION DE HIPOCLORITO A PARTIR DE SOLUCION AL 13 % DE CLORO ACTIVO.

LA TABLA No A PRSENTA DATOS DE UN HIPOCLORADOR MARCA WALLACE & TIERNAN MOD A-745.



TABLA No A HIPOCLORADOR MCA WALLACE & TIERNAN MOD. A-745.

CAUDAL DE AGUA AGUA (l / hr)	CAPACIDAD DEL HIPOCLORADOR l / día de solución al 1 %		
	1 ppm	2 ppm	3 ppm
4,500	11.25	22.0	33.0
6,000	15.0	30.0	45.0
7,500	20.0	40.0	60.0
9,000	22.5	45.0	67.5
10,500	25.0	50.0	75.0
12,000	30.0	60.0	90.0

PARA PREPARAR 10 LITROS DE SOLUCION DE HIPOCLORITO AL 1 % DILUYA ALREDEDOR DE 900 cc DE SOLUCION AL 13 % CON AGUA HASTA COMPLETAR.

SE TIENE QUE PARA DOSIFICAR UNA CONCENTRACION DE 0.25 % DE CLORO SE TIENE

CAUDAL DE AGUA (l/hr)	CAPACIDAD DEL HIPOCLORADOR EN l / día de solución al 0.25 %	
	0.25 ppm	para 5 días.
2,500	1.5	7.5
5,000	3.0	15.0

Q min Cl<sub>2</sub> = 1.5 l / día ( 0.00104 l / min ); 0.0015 ms / día.

Q máx Cl<sub>2</sub> = 3.0 l / día ( 0.00208 l / min ); 0.003 ms / día.

HIPOCLORADOR ( DOSIFICADOR DE LIQUIDOS, MARCA WBT, TIPO DIAFRAGMA, MODELO A-745.)

CONTRA PRESION = 100 psig.

CAPACIDAD TOTAL = 1.3 GPM. ( 31 GPD).

MOTOR ELECTRICO = 1 / 4 H.P., 115 Volts , 60 ciclos .

SUSPENSION DE SULFATO FERRICO (DOSIFICADOR DE LIQUIDOS ).

CONTRA PRESION MAXIMA = 125 psig.

CAPACIDAD TOTAL = 1.83 GPM.

FLECHA = 3 / 16 de in.

MOTOR ELECTRICO = 1 / 4 H.P., 115 Volts, 1 fase ,50 / 60 Hz.

SOLUCION DE POLIELECTROLITO.

CONTRA PRESION MAX = 150 psig.

CAPACIDAD TOTAL = 1.83 GPM ( 43 GPD ).

MOTOR ELECTRICO = 1 / 4 H.P., 115 Volts, 1 fase, 50 / 60 Hz.

CONDICIONES DEL EFLUENTE

GASTO :

Q min = 60 ms / día + 0.1815 ms / día. = 60. 1815 ms / día.

Q máx = 120 ms/ día + 0.363 ms / día. = 120. 363 ms /día.

SOLIDOS SUSPENDIDOS. (SS)

SS<sub>min</sub> = 147 mg/ l x 60.1815 ms/ día x 1000 l / 1as = 8846680.5 mg/día

8846680.5 mg/día x 1 g / 1000 mg x 1 Kg / 1000 g = 8.84 kgas/día.

SS máx = 17.69 Kg<sub>as</sub>/día.

SS min = 8.84 + 0.3 = 9.14 Kg<sub>as</sub> / día.

SS máx = 17.69 + 0.3 = 18.0 kg<sub>as</sub> / día.

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

SOLICITADO POR .....	Fecha .....
Localidad .....	Estado .....
Fuente <u>AGUA CRUDA (INFLUENTE)</u>	Costo \$ .....

CARACTERES FÍSICOS			
Temperatura (10 - 15 °C) <u>23</u>	pH (5.0 - 8.0) <u>5.46</u>		
Color (Max. 10 U. Pt - Co) .....	Turbiedad (Max. 5 U.T.F.) <u>1.06</u>	NTU	
Conductividad superficial (µmhos/cm) <u>880</u>	ppm NaCl .....		
Sólidos totales (500 - 1000 ppm) <u>785</u>	Sólidos disueltos (ppm) <u>790</u>		

### DETERMINACIONES NORMAS EN ppm l

	ppm	mEq/L		ppm	mEq/L
Dureza de calcio [Ca CO <sub>3</sub> ]	30.0	0.60	Alcalinidad fenolftaleína [Ca CO <sub>3</sub> 200]	7.0	0.14
Dureza total [Ca CO <sub>3</sub> ]	33.0	0.66	Alcalinidad total [Ca CO <sub>3</sub> 100]	100.0	2.00

Cloruro [Cl <sup>-</sup> ]	85.07	2.33	Calcio [Ca <sup>++</sup> ]	12.0	0.60
Sulfato [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	331.18	6.90	Magnesio [Mg <sup>++</sup> ]	0.72	0.06
Fosfato [PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]			Sodio [Na <sup>+</sup> ]	244.03	10.61
Fluoruro [F <sup>-</sup> ]	1.2	0.06	Potasio [K <sup>+</sup> ]	1.95	0.05
Silice [SiO <sub>2</sub> ]	104.92	3.72	Hierro [Fe <sup>++</sup> ]		
Bicarbonato [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	8.4	0.28	Cobre [Cu <sup>++</sup> ]		
Carbonato [CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]	0		Plomo [Pb <sup>++</sup> ]		
Dihidrógeno [OH <sup>-</sup> ]			Amoníaco [NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]		
Nitrato [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]			OTROS		
Nitrato [NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ]					
OTROS					
<b>AS<sup>3</sup> TOTAL</b>	<b>0.4311</b>	<b>0.017</b>			

Oxígeno disuelto [O <sub>2</sub> ]			Materia orgánica		
Bicloro de carbono [CO <sub>2</sub> ]			Demanda de Cloro [Cl <sub>2</sub> ]		
Acido sulfúrico [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]			Cloro residual [Cl <sub>2</sub> ]		

pH 5.46      °C 23      ls .....

**OBSERVACIONES** .....  
 .....  
 .....

# DIAGRAMA DE PROCESO DE FLOCULADOR

R.P.M = 30

t = 27 min.

INFLUENTE

Q mín = 60.1815 m<sup>3</sup>/día (0.713 l /seg)

Q máx = 120.363 m<sup>3</sup>/día (1.42 l /seg)

SS mín = 9.14 Kgss/día

SS máx = 18.0 Kgss/día



EFLUENTE

Q mín = 60.1815 m<sup>3</sup>/día (0.713 l /seg)

Q máx = 120.363 m<sup>3</sup>/día (1.42 l /seg)

SS mín = 9.14 Kgss/día

SS máx = 18.0 Kgss/día

FLOCULADOR (MEZCLADO LENTO )

CONDICIONES DE ENTRADA.

Q min = 60.1815 m<sup>3</sup> / día.

Q máx = 120.363 m<sup>3</sup> / día.

EFLUENTE

SS min = 9.14 Kgs / día.

SS máx = 18.0 Kgs / día.

TIEMPO DE RESIDENCIA = 27 min.

RPM = 30 EXPERIMENTALES.

VOLUMEN DE RECIPIENTE

VOL min = 60.1815 m<sup>3</sup> / día x 1 día / 24 hr x 1 hr / 60 min x 27 min  
= 1.12 m<sup>3</sup>.

VOL.máx = 2.25 m<sup>3</sup>.

FORMA DE EQUIPO : CUADRADA CON TERMINACION TIPO TOLVA.

AREA = 1.25 m x 1.25 m.

ALTURA = 1.60 m.

VOLUMEN = 2.5 m<sup>3</sup>.

AGITACION (SEGUN LIGHTIN DE MEXICO S.A DE C.V )

MODELO = 71- Q- 0.5 SCR.

MOTOR = 1 / 2 H.P.

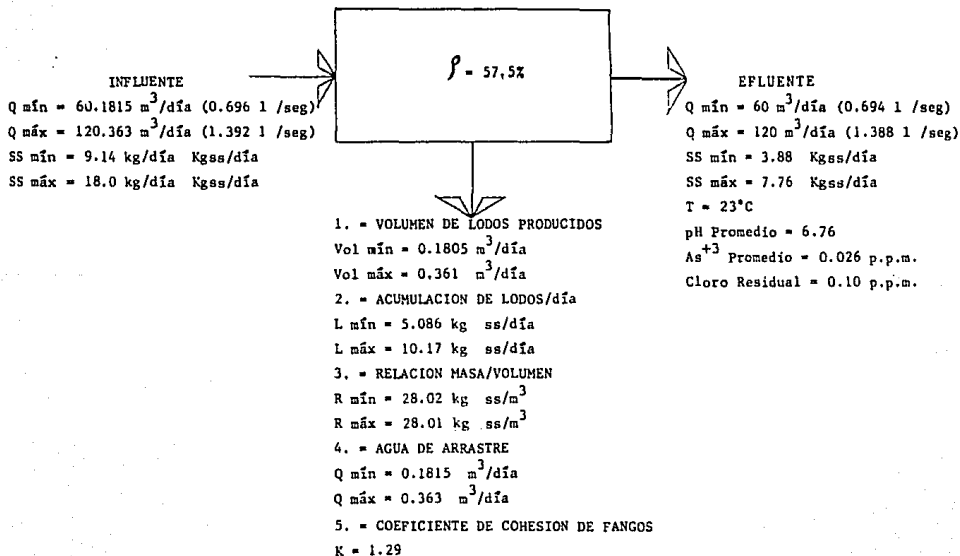
RPM = 36.5

LONGITUD DE FLECHA = 60.0 in.

DIAMETRO DE FLECHA = 2.0 in.

DIAMETRO DE IMPULSOR = 48 in.

## DIAGRAMA DE PROCESO SEDIMENTADOR



## SEDIMENTADOR

### CONDICIONES DE ENTRADA.

SS min = 9.14 Kgs / día.

SS máx = 18.0 Kgs / día.

SS = sólidos suspendidos totales (mg/ l).

Q min = 60.1815 m<sup>3</sup> / día. (0.696 l / seg ).

Q máx = 120.363 m<sup>3</sup> / día. (1.392 l / seg ).

### CONDICIONES DE SALIDA.

Q min = 60.0 m<sup>3</sup> / día. (0.694 l / seg ).

Q máx = 120.0 m<sup>3</sup> / día. (1.388 l / seg ).

SS min = 62.47 mg / l = 3.88 Kgs / día.

SS máx = 7.76 Kgs / día.

### EN BASE CORRIDA 8-2 .

pH promedio = 6.76

As total promedio = 0.026 ppm.

Temperatura = 23 °C.

### ACUMULACION DE Lodos / DIA.

SS = 84.52 mg / l. a remover.

Lodos min = 84.52 mg / l. x 1 g / 1000 mg x 1 Kg / 1000 g x 1000 l/día.

x 60.1815 m<sup>3</sup> / día = 5.086 Kgs / día.

Lodos máx = 10.17 Kgs / día.

AGUA DE ARRASTRES.

$Q_{\min} = 0.1815 \text{ ms} / \text{día}.$

$Q_{\max} = 0.363 \text{ ms} / \text{día}.$

VOLUMEN DE LODO: EN BASE ENSAYO B-2 REALIZADO EN CONOS INHOFF MEDIDO A LAS 24 hr.

$V = 3 \text{ ml} / \text{l}$

$V_{\min} = 0.003 \text{ l} / \text{l de agua tratada} \times 60181.5 \text{ l} / \text{día} \times 1 \text{ ms} / 1000 \text{ l}$

$V_{\min} = 0.1805 \text{ ms} / \text{día}.$

$V_{\max} = 0.003 \text{ l} / \text{l} \times 120,363 \times 1 \text{ ms} / 1000 \text{ l} = 0.361 \text{ ms} / \text{día}.$

RELACION : MASA / VOLUMEN.

$K_{\text{gas}} = \text{Kg de sólidos suspendidos} (K_{\text{gas}} / \text{día}).$

$V = \text{volumen de lodos} ( \text{ms} / \text{día} )$

$R_{\min} = 5.086 K_{\text{gas}} / \text{día} / 0.1815 \text{ ms} / \text{día} = 28.02 K_{\text{gas}} / \text{ms}$

$R_{\max} = 10.17 K_{\text{gas}} / \text{día} / 0.363 \text{ ms} / \text{día} = 28.01 K_{\text{gas}} / \text{ms}$

$V_{\text{lodos}} + Q_{\text{arastre}} = \text{VOLUMEN TOTAL}.$

FORMA DE EQUIPO: RECTANGULAR.

LARGO: 0.40 m.

ANCHO: 1.25 m.

ALTURA: 1.67 m.

TIPO : DE ALTA TASA.

## FILTRO

CONDICIONES DE ENTRADA.

$Q_{\min} = 60 \text{ ms} / \text{día} = 61.11 \text{ GPM}.$

$Q_{\max} = 120 \text{ ms} / \text{día} = 22.23 \text{ GPM}.$



## CONDICIONES DE PROCESO DE FILTRO

INFLUENTE

$Q_{\text{mín}} = 60 \text{ m}^3/\text{día} (0.6941 \text{ /seg})$   
 $Q_{\text{máx}} = 120 \text{ m}^3/\text{día} (1.388 \text{ l /seg})$   
SS mín = 3.88 kg/día  
SS máx = 7.76 kg/día  
 $\text{As}^{+3} \text{ Total Promedio} = 0.026 \text{ p.p.m.}$   
 $T = 23^\circ\text{C}$   
Cloro Residual = 0.10 p.p.m.



EFLUENTE

$Q_{\text{mín}} = 60 \text{ m}^3/\text{día} (0.694 \text{ l /seg})$   
 $Q_{\text{máx}} = 120 \text{ m}^3/\text{día} (1.388 \text{ l /seg})$   
SS mín = 0  $\text{Kg}_{\text{SS}}/\text{día}$   
SS máx = 0  $\text{Kg}_{\text{SS}}/\text{día}$  (máx 5 NTU)  
EN BASE CORRIDA 8-2:  
-pH promedio = 6.76  
 $\text{As}^{+3} \text{ Total Promedio} = 0.011 \text{ p.p.m.}$   
Turbiedad Promedio = 0.98 NTU  
AF/AT = 0/65.96

SS mín = 3.88 Kg / día

SS máx = 7.76 Kg / día

CONDICIONES A GRAVEDAD.

CARGA SUPERFICIAL DE FILTRACION MINIMA = 3 GPM / ft<sup>2</sup>

CARGA SUPERFICIAL DE FILTRACION MAXIMA = 4 GPM / ft<sup>2</sup>

AREA REQUERIDA MINIMA = 3.70 ft<sup>2</sup> = 0.3437 m<sup>2</sup>

AREA REQUERIDA MAXIMA = 5.6 ft<sup>2</sup> =

PROFUNDIDAD Y TAMAÑO DE PARTICULAS DEL LECHO FILTRANTE :

12 in ARENA ; 18 in ANTRACITA.

CAPA	ESPEJOR ( in )	TAMAÑO ( mm )
ARENA	6 ( 15 cm )	0.45-0.5 ( EFECTIVO )
ANTRACITA	12 ( 30 cm )	0.6 -0.8 ( EFECTIVO )

CARGA HIDRAULICA DISPONIBLE = 2 m.

ALTURA TOTAL = 3.95 m.

RETROLAVADO.

VELOCIDAD DE LAVADO = 15 GPM / ft<sup>2</sup> ; 55.5 GPM.

TIEMPO = 10 - 15 min.

BOMBA = 1 H.P.

CONDICIONES DE SALIDA.

Q mín = 11.11 GPM.

Q máx = 22.23 GPM.

As TOTAL PROMEDIO = 0.011 ppm.

TURBIEDAD PROMEDIO = 0.98 NTU.

pH PROMEDIO = 6.76

AF / AT = 0 / 65.96 ppm

NOTA: LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS DEBERAN SER ELEMNADOS EN SU MAYOR PARTE YA QUE SOLO SE PERMITEN 5 UNIDADES NEFELOMETRICAS DE TURBIDEZ ( NTU ) A LA SALIDA COMO MAXIMO.

**ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA**

SOLICITADO POR .....	Fecha .....
Localidad .....	Estado .....
Fuente ..... <b>AGUA TRATADA (EFLUENTE)</b>	Costo \$ .....

CARACTERES FISICOS	
Temperatura (10 - 15 °C) ..... <b>23.0</b>	pH (6.0 - 8.0) ..... <b>6.76</b>
Color (Max. 10 U Pt - Co) .....	Turbiedad (Max. 5 UFT) ..... <b>0.98 NTU</b>
Conductividad específica (µmhos/cm) .....	ppm NaCl .....
Sólidos totales (500 - 1000 ppm) .....	Sólidos disueltos (ppm) .....

**DETERMINACIONES (NORMAS EN ppm)**

	ppm	mEq/L		ppm	mEq/L
Dureza de calcio (CaCO <sub>3</sub> )			Alcalinidad fenolftaleína (CaCO <sub>3</sub> )	0	
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )			Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	65.96	1.32

Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	83.07	2.34	Calcio (Ca <sup>++</sup> )		
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	351.5	7.32	Magnesio (Mg <sup>++</sup> )		
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )			Sodio (Na <sup>+</sup> )	244.03	10.61
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	1.18	0.06	Potasio (K <sup>+</sup> )		
Silice (SiO <sub>2</sub> )			Hierro (Fe <sup>+++</sup> )	0.0	
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	60.52	1.32	Cobre (Cu <sup>++</sup> )		
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0		Plomo (Pb <sup>++</sup> )		
Oxidrilos (OH <sup>-</sup> )	0		Amoníaco (NH <sub>3</sub> )		
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )			OTROS		
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )			AS <sup>2+</sup> TOTAL	0.01	

Origen disuelto (Cl <sup>-</sup> )		Materia orgánica	
Bóxido de carbono (CO <sub>2</sub> )		Demanda de Cloro (Cl <sup>-</sup> )	
Acido sulfúrico (H <sub>2</sub> S)		Cloro residual (Cl <sup>-</sup> )	0.10

pH ..... °C .....

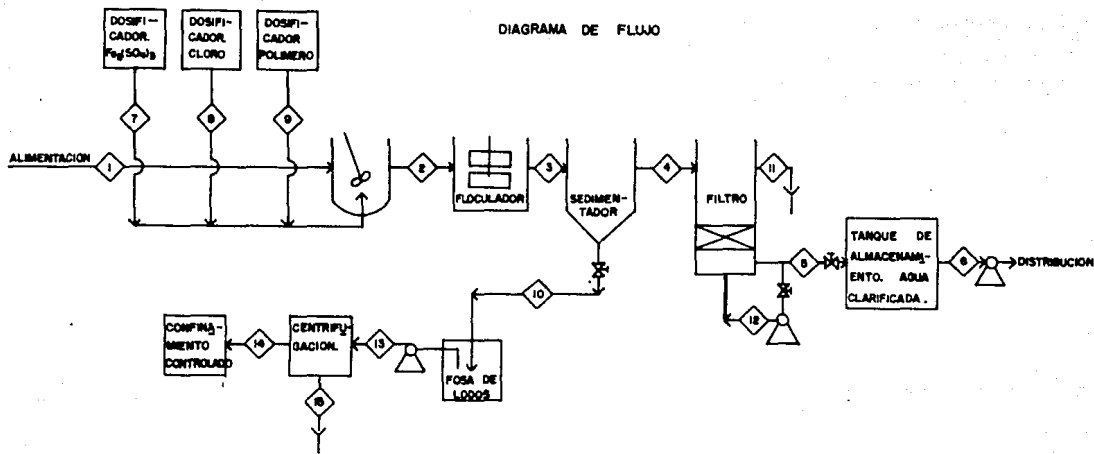
**OBSERVACIONES**

.....

.....

.....

### DIAGRAMA DE FLUJO



CONDICIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
C.P.N. GACTUAL	11.81	11.86	11.86	11.81	11.81	0.930	$2.75 \times 10^2$				10.3	10.50	10.17	
C.P.N. OPTIMO	22.82	22.28	22.82	22.82	22.82	0.000	$3.36 \times 10^2$							
TEMPERATURA °C	22.0			22										
VOLUCIOS DESINFECCION (L/S) Agua/100 GACTUAL	0.3	0.34	0.25	0.28	0					5.063				
VOLUCIOS DESINFECCION (L/S) Agua/100 OPTIMO	10.0	10.0	7.74	0						10.17				
As <sup>3+</sup> (p.p.m.)	0.0313			0.032										
pH	6.46			6.78										
CONDICIONES DE FANGOS											1.25			
AF/AT 300	0.5/0.50			0.5/1.50										
NORMA POME GSP	1/30	1/2			1/4	1/4	1/4		1					
REN	0.2403	0.2729			0.104	0.104	0.104		0.1437					
REN	AC	AC	AF	AC	AF	AT	P.P.	P.C.	P.F.	LP	AR	AL	SL	S.A.

P.C. = SOLUCION DE CLORO (Cl<sub>2</sub>)  
 AF = SOLUCION DE POLIMEROS (OPTIMO)  
 LP = LOROS PRODUCCION  
 AR = AGUA DE DISTRIBUCION  
 AL = AGUA DE LANTAR  
 SL = BARRIO DE LOROS  
 SA = LOROS ACUMULADO

AC = AGUA CRUDA  
 AF = FLOCCULACION  
 AL = AGUA FILTRADA  
 AF = AGUA FILTRADA  
 AT = AGUA TRATADA  
 PP = SOLUCION DE FANGOS (P.P.)

TESIS PROFESIONAL U.N.A.M.  
 FACULTAD DE QUIMICA 1990  
 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE:  
 COAGULACION-FLOCCULACION

Estación Meteorológica Durango Dgo. para los meses de Enero a Julio de 1989.

TABLA No. 1

---

PROMEDIO DE TEMPERATURA MINIMA	( TBS )	8.6 °C
PROMEDIO DE TEMPERATURA MEDIA	( TBS )	18.5 °C
PROMEDIO DE TEMPERATURA MAXIMA	( TBS )	26.7 °C
PROMEDIO DE TEMPERATURA MEDIA	( TBH )	12.6 °C
PRESION MEDIA ( mili barios ,mb )		15.0
HUMEDAD RELATIVA % MEDIA		56.57
PRECIPITACION TOTAL ( mm ) MEDIA		17.27

---

VIENTOS DOMINANTES Y SU VELOCIDAD MEDIA ( m / seg ):

EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
4.2	4.8	5.6	4.8	3.8	2.7	2.3
WNN	WNN	WNN	WNN	WNN	EN	ESE

VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO Y SU DIRECCION ( m / seg ):

13.6	19.0	20.2	14.0	14.0	13.8	12.1
WSW	W	W	WNN	SE	WSW	SW

VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO ( m / seg ):

3.2	3.0	3.7	3.0	2.9	2.6	2.2
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

---

Fuente : Servicio Meteorológico Nacional. ( 1989 ).

## CAPITULO V I

### CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el desarrollo experimental de laboratorio para la problemática de la Comarca Lagunera; dan pie a las siguientes conclusiones :
- La coagulación-floculación es factible técnicamente por las eficiencias encontradas en la fase laboratorio, para la remoción de arsénico como contaminante principal, que entra en competencia con otros procesos fisicoquímicos como; Ósmosis Inversa, Resinas de Intercambio Iónico y Alúmina - activada, diferenciándose de estos por su capacidad de manejar un mayor volumen.
  - Con el proceso desarrollado se cumple con el objetivo de remover el arsénico por abajo de la norma nacional e internacional que es de 0.05 mg /l , a concentraciones de 0.01 mg/l de de arsénico que es la máxima recomendada por la organización mundial de la salud (OMS).
  - El sistema de remoción de arsénico es similar al tren de tratamiento para agua potable (coagulación, sedimentación - filtración y desinfección).
  - Con este tipo de proceso se tiene una ventaja potencial por escalamiento que puede permitir un disminución en el costo de agua tratada.

- Una de las principales características del agua de los pozos es la variación fisicoquímica, siendo los principales contaminantes el arsénico, sulfatos, cloruros, carbonatos, calcio y magnesio, por lo que el uso de este proceso deberá realizarse con estudios específicos locales.
- La primera etapa permitió optimizar los parámetros pH, Temperatura, Turbiedad, Alcalinidad, Tamaño de flóculo, tiempo de mezclado, de floculación y sedimentación.
- En la etapa dos del desarrollo se encontró que el aumento de la alcalinidad disminuía la eficiencia del coagulante, debido a las dosificaciones de cal, causando un aumento de iones sulfato en el medio, saturando los sitios del ión metálico con una reducción en la remoción del contaminante.
- Con la eficiencia del coagulante alcanzada en la tercera etapa del orden del 99.3 % para el sulfato férrico comercial con un grado de pureza del 66.27 % y con un pH de trabajo de 6.75 a 6.79 con una dosis de 30 mg/l.
- Mediante el proceso de la coagulación-floculación se obtuvieron eficiencias estadísticas promedio del orden 97.4% al 98.83 % de remoción de arsénico total para concentraciones en el influente de 0.30 a 0.43 mg/l de As respectivamente.
- La dosificación de cloro en concentraciones de 0.25 mg/l en el mezclado permitió, obtener un flóculo más estable medido a través del coeficiente de cohesión de fangos de 1.2 .



- La eficiencia calculada durante el proceso de sedimentación fue del 57.5 %. Con una tasa de derrame de 122.44 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.x día, un área de sección transversal de 0.490 m<sup>2</sup> y una altura total de 1.67 m. Por lo que el sedimentador a considerar es de alta tasa de derrame.
- La cantidad de lodos producidos, durante la etapa de sedimentación es de 3 ml/l de agua tratada, con una acumulación de lodos mínima calculada de 5.0 Kg<sub>ss</sub> /día y una máxima de 10.17 Kg<sub>ss</sub> / día .
- La disposición final de los lodos estará sujeta a tipo de acondicionamiento que se realice en el proceso, esta adecuación se puede realizar mediante la dosificación de un polímero que facilite su manejo en una centrífuga para posteriormente contenerse en tambores y disponerse en un confinamiento controlado.
- Actualmente la tecnología comercial disponible varía principalmente en precio y escalamiento no adaptándose en su mayoría a las necesidades del proceso, requiriéndose para esto continuar con el diseño y pruebas del prototipo en campo de acuerdo a las necesidades del proceso.
- En México generalmente no se da acondicionamiento a los lodos, debido al alto costo que en algunos procesos llega hacer hasta el 50 % del costo de la planta.
- Con la capacidad de producción mínima de 60 m<sup>3</sup> / día, es suficiente para satisfacer la demanda de agua requerida por 200 familias con 5 integrantes promedio (considerando 60 l/ habitante ) consumiendo un total de 300 l / familia / día , esto equivaldría a 0.3 m<sup>3</sup> /fam / día, que suministraría la planta a la población.

Algunos de los beneficio esperados con la operación del prototipo:

- Eliminación del peligro a la salud de los habitantes por enfermedad crónica que padecen actualmente las localidades de la Región Lagunera.
- Dotación de agua de calidad y cantidad necesaria para la vida diaria de las familias ubicadas en los municipios - de Francisco I Madero, San Pedro de las Colonias, Coahuila y Tlahualilo en Durango.

## RECOMENDACIONES

- Debido a que las poblaciones en la región se encuentran dispersas, se recomienda el almacenamiento en un depósito superficial para distribuirse por medio de "pipas".
- Evaluar la posibilidad Técnica-Económica de suministrarse a través de la red de agua potable.
- Continuar con la caracterización de los lodos producidos así como el acondicionamiento del polímero para su disposición final propuesta.
- Desarrollar el diagrama pH Vs potencial (Eh) para determinar los equilibrios y especies que coexisten durante el proceso.
- Continuar con el desarrollo del prototipo y su evaluación en campo.
- Evaluar el uso de filtros cartucho como medio pulidor en el proceso, así como el de tubos sedimentadores que incrementen la eficiencia del sedimentador, disminuyendo la carga de material suspendido a los filtros.

## CAPITULO VII

### BIBLIOGRAFIA

#### CAPITULO I

- INSTITUTO SEDUE: Proyecto Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera, Instituto de Ciencia y Tecnología de la Laguna, A.C. 1984.
- INSTITUTO SEDUE: Proyecto Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera Instituto de Ingeniería, UNAM. 1984.
- INSTITUTO SEDUE: Proyecto Alternativa de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera. Universidad Autónoma de Coahuila. 1985.

#### CAPITULO II

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua, serie técnica 13, 1981.
- Weber Walter J. Jr. Control de la Calidad del Agua Procesos Fisicoquímicos, Edit Reverte, S.A. España, 1979.
- Landeros Caballero José. Metodología para el Cálculo de Flocculadores, Tesis Facultad de Química, 1980.

## CAPITULO III

### REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

#### REFERENCIAS

- 1.- Lee J. Y and Rosehart R. G.; "Arsenic Removal by Sorption Process from Waste Waters". The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin; pp 33- 37; Nov. 1972.
- 2.- Shen Y. B. ; " Study of Arsenic Removal from Drinking Water" Journal American Water Works Association ; Vol. 165, No 8. pp 543 - 548; Agosto 1973.
- 3.- Sorg Thomas I. and Logsdon Gary S ; " Treatment Technology to Meet the Interim Primary Drinking Water Regulation for Inorganic";Part 2 . Journal American Water Works Association ; Vol 70 No 7 ; pp 379 - 393; Julio 1978.
- 4.- Bellack Ervin; "Arsenic Removal from Potable Water " ; Journal American Water Works Association ; Vol 63 , No 7 , pp 454 - 458,Julio 1971.
- 5.- Gullidge John H and O' Connor John T; " Removal of Arsenic (V) from Water by Adsorption on Aluminum and Ferric Hidroxides"; Journal American Water Works Association ; Vol. 65, No 8 ; pp 548 - 552; Agos. 1973.
- 6.- Brupta S. K. and Shen K. Y. ; " Arsenic Removal by Adsorption Water Polution Control Federation; Vol 50. No 3 ; pp 493 - 506 ; 1978.

- 7.- Mendoza G3mez Gast3n y G3mez Sales David; "Remoci3n de Ars3nico de las Aguas Naturales " ; Instituto de Ingenieria (373) UNAM ;M3xico, Junio 1976.
- 8.- Rubel Frederick Jr. ; Rubel and Hager, Inc. "Pilot Study of Fluoride and Arsenic Removal from Potable Water " U. S. Environmental Protection Agency; EPA - 600/ 2- 80- 100 Aqs. 1980.
- 9.- Ruibel Frederick Jr. and Hathaway Steven W. ; "Pilot Study for Removal of Arsenic from Drinking Water at the Fallon, Nevada Naval Air Station " (Proyecto Summary ) ; U.S. Environmental Protection Agency ; EPA - 600 / 52 - 85 / 094 ; Sep. 1985.
- 10.- Kanbar Bertil Ali ; "Arsenic Removal from Drinking Water in the Presence on Iron"; A Dissertation Submitted to the Graduate School in partial fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Philosophy ; New M3xico State University; Las Cruces, New M3xico; Dic. 1983.
- 11.- Kunin Robert; " The Removal of Arsenic from Water Supplies " Roha and Hess, Co. ; Philadelphia, Pa.
- 12 - Martinez Palacios Jos3 Luis; " Alternativas de Manejo de Agua en la Comarca Lagunera" , Informe final de la Primera Etapa; INSTITUTO SEDUE - Instituto de Ingenieria , UNAM ; M3xico 1985.
- 13.- O'Connor J. T. ; " Removal of Trace Inorganic Constituents by Conventional Water Treatment Processes "; Journal : P. Water Quality Conferences; Vol 16 pp 99 - 110 ; Univ. Illinois, Urbana, I. 11 ; 1974
- 14.- Pierce Matthew L. and Moore Carleton b. ; "Adsorption of Arsenite and Arsenate on Amorphous Iron Hidroxide " ; Water Res. ; Vol 16. pp. 1247 - 1253 ; Great Britain,1982.

- 15.- Landeros Caballero José ; " Metodología para el Cálculo de Floculadores " ; Tesis , Facultad de Química , UNAM ; 1980
- 16.- APHA, AWWA and WPCF ; "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater " ; 15 th., Edition ; U.S.A. 1980.
- 17.- Perkin Elmer " MMS - 20 Mercury / Hydride System Operator's Manual".
- 18.- Cebrian E. Mariano, Albores Arnulfo, Aguilar Manuel y Blakely Enrique; "Chronic Arsenic Poisoning in the North of Mexico" ; Human Toxicol (1983),pp 121 - 133.

#### BIBLIOGRAFIA

- Charlot Gaston ; " Química, Analítica General ", Soluciones Acuosas y no Acuosas; Ed. Tory - Masson, S. A. Barcelona 1971.
- Charlot Gaston ;" Chemie Analytique Qualitative ";Vol 2 pp 338 - 340, 1974.
- Cotton F.A. Wilkinson G. ; "Química Inorgánica Avanzada " 7a Reimpresión ; Ed. Limusa, 1978.
- Delahay Paul, Pourbaix Marceland Van Rysselberghe Pierre, "Journal of Chemical Education " ; pp 683 - 688; Dic. 1950.
- Matissoff Gerald, Khourey Christopher J., Hall John F. Varnes Arthur W. and Strain William H. ; " The Nature and Source of Arsenic in Northeastern Ohio Ground Water " ; Ground - Water , Vol 20, No 4 ; Julio - Agosto 1982; pp 446 - 456.

- Mendoza Gámez Gastón ; "Coagulación, Tratamiento y Disposición de aguas Residuales e industriales "; Centro de Educación Continua, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería UNAM ; Nov. 1976.
- Pourbaix Marcel; "Atlas de Electroquímica, Equilibria in Aqueous Solutions" ;Pergamon Press; First English Edition, 1966.
- Rubel Frederick Jr. ; Rubel and Hager, Inc.; "Design Manual Removal of Fluoride from Drinking Water Supplies by Activated Alumina"; U.S. Environmental Protection Agency EPA-600/2-84-134; Agos. 1984.
- Sánchez Cruz Miguel Angel; "Determinación y Selección de los Parámetros Físicoquímicos Óptimos para el Proceso de Coagulación-Floculación de la Planta Potabilizadora Piloto Necaxa", Tesis Facultad de Química ,UNAM; 1986.
- Stumm N. and Morgan J. I. ; "Aquatic Chemistry and Introduction Emphasizing Chemical Equilibrio in Natural Waters" ; Wiley-Interscience; John Wiley & Sons, Inc. ; 1970.
- Vázquez López Julio; "Cálculo y Selección de Sistema de Tratamiento por Medio de Resinas de Intercambio Iónico" , Tesis, Facultad de Química, UNAM; 1976.
- Weber W. J. Jr. ; "Physicochemical Processes for Water Quality Control" ; Wiley ; New York, 1972.
- World Health Organization; " Arsenic"; Environmental Health Criterio (18); Génova, 1981.



#### CAPITULO IV.

- INSTITUTO SEDUE: Pruebas de Tratabilidad con Sulfato Férrico para la remoción de Arsénico de la Cosarca Lagunera; Reportes Técnicos: 1ro.- Octubre de 1987, 2do.-Mayo de 1988 y 3ro.-Noviembre de 1988.

#### CAPITULO V.

- RAMALHO, RUBENS SETTE, Introduction to Wastewater Treatment Academic Press, Inc., New York. 1977
- SANK ROBERT L. Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer Edited by Robert L. Sank Ann Arbor Science, 1978.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Criterio Ecológico de la Calidad del Agua CE-CCA-001/89, Diario Oficial 13 de Diciembre de 1989.
- Olivares de la Chica Lydia Criterios Generales para el Diseño de Equipo de Tratamiento de Agua, Tesis, 1982, Facultad de Química UNAM.
- Arboleda Vargas Jorge; Manual de Tratamiento de Aguas Potables. Caracas 1969.
- Fair Mackew Gordon, Geyer y Okun ; Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Vol.II Edit. Limusa, 1984.
- Bo Forsell and Bength Hedstrom. Journal Water Pollution Control, F., Vol. 4, Abril 1975, pp,834-842.

- CAPITULO VI.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, October 1974.
- Vesilind, P. AARNE; "Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, Ann Arbor Michigan, Ann Arbor, 1979.
- John F. Ferguson and Jerome Davis ; A. Review of the Arsenic Cycle in Natural Waters, Water Research, Pergamon Press 1972. Vol. 6, pp. 1259-1274, Great Britain.
- R. Magesann; Some Theoretical Aspects of Stability and Solubility of Inorganic Arsenic in the Fresh Water Environmental, Water Research, Vol. 12, pp. 139-145 Pergamon Press, 1973.
- Sandra Gámez Eternod; "Evaluación del Comportamiento del Arsénico en Agua, Suelo y Plantas en la Comarca Lagunera; Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacala, UNAM.; México 1988.
- Red Nacional de Formación Ambiental, México; Cuaderno de la Red No. 7, Octubre 1988.
- Degreont; "Manual de Tratamiento de Agua", versión en Español 1978.

**A N E X O 1**

**HOJAS DE CONTROL DE PRUEBAS DE JARRAS**

**SISTEMA DE ADICION DE REACTIVO**

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Sulfato Férrico  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>90% As V</sup> <sub>10% As III</sub>  
 CONC. DE F: \_\_\_\_\_  
 pH: 7.27

POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 25 AGOSTO 1987  
 CONDUCTIVIDAD: 770 mhos/cm ENSAYE: 3  
 TEMPERATURA: 21°C CORRIDA NO. 1

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLENTE.									
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LODOS		Fe mg/l	F mg/l	S.O. <sub>4</sub> mg/l	S.D. mg/l	AF/AT.	
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **						
1	26.07	31	5	28	6.50		0.014	2.5							
2	26.91	31	5	30	6.40		0.013	3.3							
3	27.75	31	5	30	6.40		0.011	3.5							
4	28.59	31	5	30	6.40		0.010	2.7							
5	29.43	31	5	30	6.30		0.011	2.7							
6	30.27	31	5	30	6.36		0.007	3.5							

- \* INDICE DE FLOCULACION DE NILLCOMB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SÓLIDOS DISUELTOS  
 \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación.	30	--

COAGULANTE SULFATO FERRICO COMERCIAL POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 25 AGOSTO 1987  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>90% As</sup> / 10% As/l CONDUCTIVIDAD: 770 mhos/cm ENSAYE: 3  
 CONC. DE F: \_\_\_\_\_ TEMPERATURA: 21°C. CORRIDA NO. 2  
 pH: 7.22

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.										
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	S.D. mg/l	AF/AT.		
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **							
1	26.07	32 seg	5	28	6.23		---	2.9								
2	26.91	32 seg	5	30	6.47		----	2.1								
3	27.75	32 seg	5	30	6.48		---	2.8								
4	26.07	60 seg	5	--	6.41		0.010	1.4								
5	26.91	60 seg	5	--	6.32		0.009	1.4								
6	27.75	60 seg	5	--	6.37		0.007	---								

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOHB  
AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
S.D. SOLIDOS DISUELTOS
- \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE SULFATO FERRICO COMERCIAL POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 27 AGOSTO 1987  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>90 % As V</sup> 10 % As III CONDUCTIVIDAD: 770 mhos/cm ENSAYE: 3  
 CONC. DE F: \_\_\_\_\_ TEMPERATURA: 21 °C. CORRIDA NO. 3  
 pH: 7.43

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.									
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LÓDOS		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	S.D. mg/l	AF / AT.	
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **						
1	28.59	30 seg	5	--	6.32		0.020	3.5							
2	29.43	30 seg	5	--	6.34		0.012	3.5							
3	30.27	30 seg	5	--	6.22		0.013	3.5							
4	28.59	32 seg	5	28	6.41		0.009	4.0							
5	29.43	32 seg	5	28	6.41		0.019	3.0							
6	30.27	32 seg	5	28	6.40		0.009	3.0							

\* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB

AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL

S.D. SOLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación.	30	--

COACULANTE SULFATO FERRICO COMERCIAL POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 27 AGOSTO 1987  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>75% As V</sup> <sub>25% As II</sub> CONDUCTIVIDAD: 820 mhos/cm ENSAYE: 4  
 CONC. DE F<sub>2</sub>: \_\_\_\_\_ TEMPERATURA: 23.5°C CORRIDA NO. 1  
 pH: 7.34

JARRA NO.	DOSIS DE COACULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.									
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	F mg/l	S.O. <sub>s</sub> mg/l	S.D. mg/l	AF/AT.	
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **						
1	33.64	5 seg	5	30	6.24		0.0007	3.6							
2	35.32	5 seg	5		6.23		0.0024	--							
3	37.0	5 seg	5		6.24		0.0001	3.7							
4	38.68	5 seg	5		6.16		0.0046								
5	40.36	5 seg	5		6.20		0.0051								
6	42.04	5 seg	5		6.17		0.0053								

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB
- AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL
- S.D. SÓLIDOS DISUELTOS
- \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (=in)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
Sedimentación.	10	20
	30	

COAGULANTE SULFATO FEERRICO COMERCIAL POZO NO. 1 FECHA: 28 AGOSTO 1987  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>75% As V</sup> 25% As III CONDUCTIVIDAD: 820  $\mu$ hos/cm ENSAYE: 4  
 CONC. DE Ft: \_\_\_\_\_ TEMPERATURA: 21 °C. CORRIDA NO. 2  
 pH: 7.43

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.									
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup> mg/l	S.D. mg/l	AF/ AT.	
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **						
1	26.07	5 seg	5	28	6.37		0.0080	2.5							
2	26.91	5 seg	5	30	6.40		0.0057	3.0							
3	27.75	5 seg	5	30	6.44		0.0062	3.5							
4	26.07	5 seg	5	--	6.38		0.0042	2.0							
5	26.91	5 seg	5	--	6.39		0.0026	2.5							
6	27.75	5 seg	5	--	6.54		0.0028	2.6							

- \* INDICE DE FLOCULACION DE MILLCOMB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS  
 \*\* DENSIDAD EN g/l.



PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación.	30	--

COAGULANTE SULFATO FERRICO COMERCIAL POZO NO. 1 \_\_\_\_\_ FECHA: 28 AGOSTO 1987  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>75 % As V</sup> <sub>25 % As III</sub> CONDUCTIVIDAD: 790  $\mu$ hos/cm ENSAYE: 4  
 CONC. DE F: \_\_\_\_\_ TEMPERATURA: 23.5°C. CORRIDA NO. 3  
 pH: 7.34

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LÓDOS		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	S.D. mg/l	AF/AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	28.59	5 seg	5	30	6.48		0.0062	3.5						
2	27.75	5 seg	5	30	6.53		0.0034							
3	27.75	5 seg	5	30	6.57		0.0051							
4	26.91	5 seg	5	30	6.62		0.0034							
5	26.07	5 seg	5	30	6.61		0.0028							
6	25.23	5 seg	5	30	6.46		0.0042							

\* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE  $Fe_2(SO_4)_3$  comercial

POZO NO. 1

FECHA: 3 DIC. 87

CONC. DE As: 0.3  $\frac{75\% \text{ As V}}{25\% \text{ As III}}$

CONDUCTIVIDAD: 478 mhos/cm

ENSAYE: 5

CONC. DE F: 0.3 mg/l

TEMPERATURA: 21° C

CORRIDA NO. 1

pH: 7.45

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA =			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	S.D. mg/l	AF/AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	26	1	8	0	6.47	0.021	0.010	3	120.9	0.62				0/116.4
2	27	1	8	0	6.47	0.018	0.012	3.5	88.7	0.355				0/97.05
3	28	1	8	0	6.46	0.0091	0.007	4.0	94.95	0.53				0/97.05
4	29	1	8	0	6.46	0.0098	0.005	3.7	95.51	0.305				0/97.05
5	30	1	8	0	6.35	0.012	0.004	4	73.9	0.37				0/97.05
6	31	1	8	0	6.36	0.012	0.006	3.5	119.1	0.22				0/97.05

\* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOMB

AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL

S.D. SOLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

OBSERVACIONES: AL AGREGARLE EL COAGULANTE SE ENTURBIA EL AGUA (FLOCULO COLLOIDAL) EN TODAS LAS JARRAS HAY SOBRENADANTE, EL FLOCULO ES UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDO, LA MAYOR PARTE SEDIMENTA A LOS 10 MIN.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> comercial  
 CONC. DE As: 0.3mg/l 75% As V  
25% As III  
 CONC. DE Fe: 0.3 mg/l  
 pH: 7.56

POZO NO. : \_\_\_\_\_  
 CONDUCTIVIDAD: 478  $\mu$ hos/cm  
 TEMPERATURA: 23°C

FECHA: 3 DIC. 87  
 ENSAYE: 5  
 CORRIDA NO. 2

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.									
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LÓDOS		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	S.D. mg/l	AF <sub>f</sub> AT.	
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD #						
1	32	1	8	0	6.30	0.013	0.009	3.6	107.1	1.45					0/116.4
2	33	1	8	0	6.30	0.014	0.005	3.5	104.7	1.51					0/116.4
3	34	1	8	0	6.30	0.012	0.005	3.0	120.8	1.34					0/116.4
4	35	1	8	0	6.30	0.018	0.006	3.0	92.1	2.26					0/116.4
5	36	1	8	0	6.28	0.010	0.005	3.7	120.18	0.97					0/116.4
6	37	1	8	0	6.34	0.015	0.004	3.3	160.8	1.57					0/116.4

\* INDICE DE FLOCULACIÓN DE MILLICOMB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SÓLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

OBSERVACIONES: EN TODAS LAS JARRAS EXISTE FLOCULO SOBRENADANTE, EXISTE MUY POCO EN LA ULTIMA JARRA, LA MAYORIA SEDIMENTA A LOS 10 MIN.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
Sedimentación	10	20
	30	--

COAGULANTE  $Fe_2(SO_4)_3$  comercial POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 4 DIC. 87  
 CONC. DE As: 0.3 <sup>75% As V</sup> 25% As III mg/l CONDUCTIVIDAD: 502.38 mhos/cm ENSAYE: 5  
 CONC. DE F: 0.3 mg/l TEMPERATURA: 22°C CORRIDA NO. 3  
 pH: 7.92

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LOOOS		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>o</sup> mg/l	S.D. mg/l	AF / AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	26	50 seg.	8	30	6.62	0.040	0.034	3.0	115.8	1.41				19.41/ 89.29
2	27	50 seg.	8	30	6.60	0.031	0.036	3.5	86.0	1.09				5.82/ 118.54
3	28	50 seg.	8	30	6.54	0.031	0.030	3.7	97.7	1.05				4.85/ 106.7
4	29	50 seg.	8	30	6.57	0.030	0.025	3.5	97.6	1.56				15.52/ 106.7
5	30	50 seg.	8	30	6.62	0.028	0.027	3.6	63.69	1.35				15.52/ 120.28
6	31	50 seg.	8	30	6.54	0.025	0.022	3.5	111.7	1.58				15.52/ 112.52

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOMB
- AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL
- S.D. SOLIDOS DISUELTOS

- \*\* DENSIDAD EN g/l.
- OBSERVACIONES: EXISTE POCO FLOCULO SOBRENADANTE, EXISTE FLOCULO EN EL MEDIO DESPUES DE TERMINADO EL TIEMPO DE SEDIMENTACION.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	17	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> comercial

POZO NO. : \_\_\_\_\_

FECHA: 4 DIC. 87

CONC. DE A<sub>5</sub>: 0.3 mg/l 75% As V.  
25% As III.

CONDUCTIVIDAD: 502.38 mhos/cm

ENSAYE: 5

CONC. DE F: 0.3 mg/l

TEMPERATURA: 23°C.

CORRIDA NO. 4

pH: 7.65

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CAL mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LOGOS		Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	S.D. mg/l	AF / AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	32	1	B	30	6.32	0.025	0.023	3.5	101.88	0.89				1552/ 120.28
2	33	1	B	30	6.46	0.022	0.020	3.4	101.17	1.06				9.70/ 120.28
3	34	1	B	30	6.50	0.023	0.016	3.2	90.6	0.99				17.47/ 106.7
4	35	1	B	30	6.45	0.022	0.018	3.0	89.03	1.21				13.58/ 120.28
5	36	1	B	30	6.40	0.021	0.020	3.0	120.8	1.35				17.47/ 120.28
6	37	1	B	30	6.48	0.020	0.015	3.0	98.3	0.97				13.58/ 120.28

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB  
AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
S.D. SÓLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

OBSERVACIONES: EXISTE POCO FLOCULO SOBRENADANTE. EXISTE FLOCULO EN EL MEDIO DESPUES DE TERMINADO EL TIEMPO DE SEDIMENTACION.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	

COAGULANTE  $Fe_2(SO_4)_3$  Comercial POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 26 SEPTIEMBRE 1988  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l  $\frac{75\% As V}{25\% As}$  III CONDUCTIVIDAD: 800 mhos/cm ENSAYE: 7  
 CONC. DE Fe: 1.71 mg/l TEMPERATURA: 22.0 °C. CORRIDA NO. 1  
 pH: 8.35 COEF. DE COHESION: 1.13J

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LIDOS		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	NTU	AF/AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	1	7	0.20	6.80	0.032	0.0012				0.32	316.12	1.73	0/58.2
2	30	1	7	0.20	6.75						0.32		1.84	
3	30	1	7	0.20	6.76	0.0028	0.0021				0.32	322.55	1.84	0/56.2
4	30	1	7	0.20	6.76						0.32		1.76	
5	30	1	7	0.20	6.77						0.32		0.89	
6	30	1	7	0.20	6.73						0.32		0.83	

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOMB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS  
 \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Comercial  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l <sup>75% As V</sup> <sub>25% As III</sub>  
 CONC. DE Fe: 1.71 mg/l  
 pH: 8.35

POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 26 SEPTIEMBRE 1988  
 CONDUCTIVIDAD: 800 mhos/cm ENSAYE: 7  
 TEMPERATURA: 29°C. CORRIDA NO. 2  
 COEF. DE COHESION: 0.674

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	NTU	AF/AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	1.30	7	0.25	6.72	0.0032	.00099				0.41	301.07	1.19	0/58.2
2	30	1.30	7	0.25	6.72						0.32		1.40	
3	30	1.30	7	0.25	6.70						0.27		0.97	
4	30	1.30	7	0.25	6.72						0.32		1.69	
5	30	1.30	7	0.25	6.72						0.32		1.45	
6	30	1.30	7	0.25	6.73	0.0021	0.00045				0.32	301.07	1.40	0/58.2

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS  
 \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Comercial  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l 75% As V. 25% As III  
 CONC. DE F: 1.71 mg/l  
 pH: 8.68

POZO NO. 1 \_\_\_\_\_ FECHA: 27 SEPTIEMBRE 1988  
 CONDUCTIVIDAD: 800 mhos/cm ENSAYE: 7  
 TEMPERATURA: 22.5°C. CORRIDA NO. 3  
 TURBIEDAD: 1.60 NTU COEF. DE COHESION: 0.812

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LÓDOS		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	NTU	AF / AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	1	7	0.30	6.81			2.33			0.10		1.80	
2	30	1	7	0.30	6.79	0.042	0.041	2.33			0.10	326.88	1.90	0/62.08
3	30	1	7	0.30	6.83			2.33			0.10		2.1	
4	30	1	7	0.30	6.83			2.33			0.10		2.1	
5	30	1	7	0.30	6.90	0.040	0.040	2.33			0.10	337.63	1.90	0/58.2
6	30	1	7	0.30	6.84			2.33			0.10		1.74	

\* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOMB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.



PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Comercial POZO NO. 1 \_\_\_\_\_ FECHA: 27 SEPTIEMBRE 1988  
 CONC. DE As: 0.30 mg/l <sup>75% As V</sup> <sub>25% As III</sub> CONDUCTIVIDAD: 800 mhos/cm ENSAYE: 7  
 CONC. DE F: 1.71 mg/l TEMPERATURA: 22.5°C CORRIDA NO. 4  
 pH: 8.68 TURBIEDAD: 2.6 N T U

COEF. DE COHESION: 0.839

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		LODOS		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	NTU	AF/ AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	1	8.0	0.35	6.81	0.043	0.038	1.83			0.16	322.58	3.2	0/58.2
2	30	1	8.0	0.35	6.81			1.83			0.16		3.1	
3	30	1	8.0	0.35	6.81			1.83			0.16		2.9	
4	30	1	8.0	0.35	6.81			1.83			0.16		2.4	
5	30	1	8.0	0.35	6.80	0.038	0.037	1.83			0.16	335.48	2.1	0/58.2
6	30	1	8.0	0.35	6.81			1.83			0.19		2.2	

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS
- \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Comercial POZO NO. : \_\_\_\_\_ FECHA: 28 SEPTIEMBRE 1988  
 CONC. DE As: 0,30 mg/l <sup>75% As V</sup> <sub>25% As III</sub> CONDUCTIVIDAD: 800 ehos/cm ENSAYE: 7  
 CONC. DE F: 1,71 mg/l TEMPERATURA: 22.5°C. CORRIDA NO. 5  
 pH: 8,59 TURBIEDAD: 1.06 N T U COEF. DE COHESION: 0,671

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	NTU	AF/ AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	1	7	0.40	6.72			2.08			0.10		2.5	
2	30	1	7	0.40	6.74	0.038	0.037	2.08			0.10	337.63	2.5	0/58.2
3	30	1	7	0.40	6.75			2.08			0.10		2.4	
4	30	1	7	0.40	6.74	0.039	0.037	2.08			0.10	324.73	2.3	0/54.32
5	30	1	7	0.40	6.74			2.08			0.10		1.45	
6	30	1	7	0.40	6.73			2.08			0.10		3.30	

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS  
 \*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Comercial

POZO NO. 1 \_\_\_\_\_

FECHA: 29 SEPTIEMBRE 1988

CONC. DE As: 0.3 mg/l

CONDUCTIVIDAD: 800 mhos/cm

ENSAYE: 7

CONC. DE Fe: 1.71 mg/l

TEMPERATURA: 23.0°C

CORRIDA NO. 6

pH: 8.55

TURBIEDAD: 2.8 NTU

COEF. DE COHESION: 1.00

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NTU	AF/AT.
						DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	1	8	0.45	6.75					0.22		2.2		
2	30	1	8	0.45	6.79					0.22		2.3		
3	30	1	8	0.45	6.78	0.0014	0.00026			0.22	324.73	1.44	0/58.2	
4	30	1	8	0.45	6.79					0.22		2.3		
5	30	1	8	0.45	6.79					0.22		2.5		
6	30	1	8	0.45	6.75	0.0015	0.00035			0.27	324.73	3.3	0/58.2	

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOMB  
AF/AT, ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
S.D. SOLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE  $Fe_2(SO_4)_3$  Comercial  
 CONC. DE As: 0.3 mg/l  $75\% As V$  25%  $As III$   
 CONC. DE F: 1.71 mg/l  
 pH: \_\_\_\_\_

POZO NO. : \_\_\_\_\_  
 FECHA: 29 SEPTIEMBRE 1988  
 CONDUCTIVIDAD: 800 mhos/cm  
 ENSAYE: 7  
 TEMPERATURA: 24.0°C.  
 CORRIDA NO. 7  
 TURBIEDAD: 2.8 NTU  
 COEF. DE COHESION: 0.751

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE Cl mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			As en mg/l		Lodos		Fe mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>m</sup> mg/l	NTU	AF/AT.
						DECAJANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	DENSIDAD **					
1	30	30 seg	8	0.50	6.85	0.0012	0.0008				0.10	337.63	2.1	0/58.2
2	30	30 seg	8	0.50	6.79	0.0013	0.0002				0.10	329.03	1.87	0/58.2
3	30	30 seg	8	0.50	6.75						0.10		2.0	
4	30	30 seg	8	0.50	6.75						0.10		1.63	
5	30	30 seg	8	0.50	6.75						0.22		1.60	
6	30	30 seg	8	0.50	6.70						0.37		1.61	

- \* INDICE DE FLOCULACION DE MILLCOHB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS

\*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	10	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE  $Fe_2(SO_4)_3$  Comercial

POZO NO: \_\_\_\_\_

FECHA: 20 DE ABRIL DE 1990

CONC. DE  $As_2$ : 0.3024  $\frac{75\% As_2}{25\% As_111}$

CONDUCTIVIDAD: 798 rhos/cm

ENSAYE 6

CONC. DE F: 1.254 mg/l

TEMPERATURA: 24.0°C.

CORRIDA NO. 1

pH: 8.34

TURBIDIDAD: 0.18 NTU

COEF. DE COHESION: 1.62

AF/AT: 7/100 mg/l

$SO_4$ : agua cruda 372.0 mg/l.

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CLORO mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			$As$ en mg/l		VOLUMEN ml/l	$Cl^-$ RESIDUAL mg/l	Fe mg/l	F mg/l	$SO_4^{m}$ mg/l	NTU	AT / AT.
						DECANTADO	FILTRADO							
1	30	1	8	0.25	6.65	0.0177	---	2.0	0.32	0	1.18	395.0	2.2	0/62.08
2	30	1	8	0.25	6.65	0.020	0.0043	2.0	0.12	0	1.19	398.4	1.56	0/62.08
3	30	1	8	0.25	6.67	0.0135	0.0011	2.0	0.31	0.047	1.16	406.4	1.32	0/62.08
4	30	1	8	0.25	6.65	0.0140	0.0011	2.0	0.30	0.115	1.22	397.0	1.54	0/62.08
5	30	1	8	0.25	6.65	0.009	--	2.0	0.31	0.071	1.17	382.0	1.49	0/62.08
6	30	1	8	0.25	6.68	0.012	0.0075	2.0	0.49	0.042	1.19	397.0	1.32	0/62.08

\* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOMB  
AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
S.D. SOLIDOS DISUELTOS.

\*\* DENSIDAD EN g/l.

PRUEBAS DE JARRAS		
ETAPA	TIEMPO (min)	VELOCIDAD r.p.m.
Mezcla rápida	1	100
Floculación	10	40
	12	20
Sedimentación	30	--

COAGULANTE Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Comercial  
 CONC. DE As: 0.4311 mg/l <sup>75% As V</sup> <sub>25% As III</sub>  
 CONC. DE F: 1.20 mg/l  
 pH: 8.46  
 AF/AT: 7./100 mg/l  
 SO<sub>4</sub>: 359.99 mg/l

POZO NO: \_\_\_\_\_ FECHA: 20 ABRIL DE 1990.  
 CONDUCTIVIDAD: 880 mhos/cm ENSAYE 8  
 TEMPERATURA: 23.0° C. CORRIDA NO. 2  
 TURBIEDAD: 1.06 NTU COEF. DE COHESION: 1.29

JARRA NO.	DOSIS DE COAGULANTE mg/l	FLOCULO		DOSIS DE CLORO mg/l	pH	CALIDAD DEL EFLUENTE.								
		TIEMPO DE INICIO min.	APARIENCIA *			DECANTADO	FILTRADO	VOLUMEN ml/l	Cl <sup>-</sup> RESIDUAL mg/l	Fe mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NTU	AT / AT.
1	30	1	7.5	0.25	6.73	0.0192	0.0143	3.0	0.10	0.0	1.16	384.2	0.97	0./65.96
2	30	1	7.5	0.25	6.77	0.0247	0.0109	3.0	0.10	0.0	1.17	385.0	0.98	0/65.96
3	30	1	7.5	0.25	6.78	0.0326	0.0123	3.0	0.10	0.0	1.17	386.3	0.98	0/65.96
4	30	1	7.5	0.25	6.79	0.0272	0.0125	3.0	0.10	0.0	1.16	385.5	0.99	0/65.96
5	30	1	7.5	0.25	6.76	0.0284	0.0074	3.0	0.10	0.0	1.20	385.4	0.97	0/65.96
6	30	1	7.5	0.25	6.77	0.0240	0.0138	3.0	0.10	0.017	1.22	386.4	0.99	0/65.96

- \* INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB  
 AF/AT. ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA/ALCALINIDAD TOTAL  
 S.D. SOLIDOS DISUELTOS.  
 \*\* DENSIDAD EN g/l.

## SISTEMA DE ADICION DE REACTIVO

Las unidades de agitación múltiple deben ser agrupadas con las facilidades necesarias para la adición de coagulantes químicos en forma rápida y simultánea a cada vaso o jarra.

La técnica que se propone para la dosificación del coagulante consistirá, en colocar en seis vasos de precipitados de 10 ml, por medio de una pipeta o bureta la dosis de reactivo que se van agregar. El contenido de cada vaso se succionará con una jeringa hipodérmica provista de su aguja, se retirará esta última y las dosis que contienen las jeringas se colocan junto a la jarra correspondiente en un soporte de madera especialmente acondicionado que va colocado en el puente superior del aparato en el cual se han horado seis o doce agujeros en los que se colocan las jeringas hipodérmicas.

Preparación de Sulfato ferrico al 1 %.

Peso por ciento = Unidades en peso de soluto contenidas en 100 unidades de peso de disolución.

$$\text{peso } \% = \text{gramos de soluto} / 100 \text{ g disolución}$$

Para el caso de solución al 1 % = 1 g de soluto / 100 ml de disolvente

tenemos que :  $1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$

$$1000 \text{ mg} / 100 \text{ ml} = 10 \text{ mg} / 1 \text{ ml}.$$

En donde para dosificaciones de la corrida 1, 2, 3, 7, 8 y 9 el calculo sería el mismo:

$$\begin{array}{r} 10 \text{ mg} \text{ ----- } 1 \text{ ml} \\ \text{dosis } 20 \text{ mg} \text{ ----- } x \text{ ml} \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ \text{(mililitros a agregar de} \\ \text{solución al 1\%)} \end{array}$$

$$x = 2 \text{ ml}.$$

Base 1 litro.

x = 2 ml / l de solución problema si cada jarra contiene 1.0 l de solución problema:

$$2 \text{ ml / l} \quad \times \quad 1.0 \text{ lt} \quad = \quad 2.0 \text{ ml}$$

DOSIS (mg/l)	Dosis para un lt de agua (ml)
20	2.0
25	2.5
30	3.0
32	3.2
34	3.4
36	3.6
38	3.8
40	4.0
42	4.2
44	4.4
46	4.6
48	4.8

El calculo para la cal (CaO), es tomando en cuenta las mismas consideraciones que para el sulfato férrico por lo que las dosificaciones son las mismas, pero estarán sujetas al pH óptimo.



## **A N E X O 2**

### **METODOLOGIA DE PRUEBA DEL COEFICIENTE DE FANGOS**

#### Determinación del coeficiente de fangos.

Se utiliza una probeta de 250 ml, en la que se introduce el fango recogido en diferentes vasos durante el ensayo de floculación, el cual se habrá añadido a cada vaso las mismas dosis de reactivo.

Se deja en reposo 10 minutos seguidamente se succiona el exceso de agua hasta un volumen aparente de fango de 50 ml proxímadamente.

Se introduce entonces en la probeta un pequeño embudo prolongado por un tubo cuyo extremo debiera encontrarse a unos 10 milímetros del fondo de la probeta. A continuación, por este embudo, que debe sumergirse ligeramente en la probeta en la parte superior de ésta con el fin de evitar el arrastre de burbujas de aire, se agrega el agua, que debe ser agua decantada procedente del ensayo de floculación, de tal manera que no varíe el pH, ni la temperatura. Se adiciona el agua en foras discontinuas, en pequeñas porciones, dejando que desborde el líquido el exceso por la parte superior de la probeta.

Con esto se consigue poner el fango en expansión, determinándose las velocidades ascensoriales del agua que corresponden a diferentes estados de expansión del fango.

Se mide el tiempo  $t$  (en segundos) que corresponde a la introducción de 100 ml de agua para volúmenes aparentes  $V$  ml del fango de 100, 125, 150, 175, 200 ml (distancia entre los trazos 100 y 200 ml en la probeta de 250 ml, la velocidad ascensional  $v$  es igual a ;

$$3.6 A / t = s/h$$

Se representa graficamente los resultados tomando  $v$  en ordenadas (eje  $y$ ) y  $V$  en abscisas (eje  $x$ ).

Se observa en la curva representativa de las variaciones de la velocidad en función del volumen del fango en expansión es una recta:

$$v = k ( V/V_0 - 1 )$$

$V$  = volumen aparente del fango en expansión.

$v$  = velocidad ascensional en la probeta, necesaria para obtener el volumen  $V$ .

$V_0$  = volumen del fango asentado correspondiente a una velocidad nula y medido sobre el gráfico.

El coeficiente "k" es la característica de la cohesión del fango y se denomina coeficiente de cohesión del fango. Depende de la temperatura que debe anotarse, por tanto cuidadosamente.

Para un fango bien constituido, de sedimentación rápida el coeficiente k puede alcanzar valores de 0.8 a 1.2 .

Por el contrario para un fango constituido por un flóculo frágil ligero y rico en agua, el valor del coeficiente "k" puede no sobre pasar de 0.3 . La medida de este coeficiente constituye por tanto un dato muy importante para conocer como se comportarán los precipitados en un decantador de " contacto de fango " y para determinar la influencia de un ayudante de floculación.

#### INDICE DE FLOCULACION DE WILLCOB.

Para la determinación del flóculo producido, se observa su tamaño y se evalúa cualitativamente según sus características:

No DEL INDICE	EVALUACION CUALITATIVA
0	Flóculo coloidal, ningún signo de aglutinamiento.
2	Visible, flóculo muy pequeño casi imperceptible.
4	Disperso, flóculo bien formado pero uniformemente bien distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro, flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud.
8	Bueno, flóculo que se deposita fácil pero completamente.
10	Excelente flóculo que se deposita todo dejando el agua transparente.

---

Generalmente se elige como dosis óptima, el ensayo donde la jarra

produce una partícula de mayor tamaño, aunque no siempre la partícula más grande produce la mayor velocidad de asentamiento aparente y deja ver el agua transparente entre los flóculos, debido principalmente a la formación de los espacios vacíos de las partículas, lo cual repercute en la obtención de una partícula no compacta que con el movimiento en el seno del líquido fácilmente se rompe.

En todos los ensayos y pruebas de jarras, durante el período de floculación y el tiempo de sedimentación, se debe considerar el tamaño del flóculo producido.

### **A N E X O 3**

#### **FORMULACION DEL AGUA PREPARADA EN LABORATORIO**

La siguiente tabla presenta la concentración agregada a 20 l de agua.

NOMBRE	COMPUESTOS	CONCENTRACION AGREGADA EN g.
Carbonato de Sodio	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0.318
Bicarbonato de Sodio.	$\text{NaHCO}_3$	2.856
Fluoruro de Sodio	$\text{Na F}$	0.0756
Cloruro de Sodio	$\text{Na Cl}$	1.9071
Cloruro de Magnesio.	$\text{Mg Cl}_2$	0.0608
Cloruro de Potasio	$\text{K Cl}$	0.0745
Cloruro de Calcio	$\text{Ca Cl}_2$	0.666
Arsenato de Sodio	$\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.0190068
Meta-Arsenito de Sodio	$\text{Na AsO}_2$	0.0026011
Sulfato de Sodio	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	6.7592

{  
 75% de As (V)  
 25% de As (III)  
 }

Para tener 0.3 ppm de As

## ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA

SOLICITADO POR _____	Fecha <b>AGOSTO 21-1986</b>
Localidad <b>MUNICIPIO FRANCISCO I. MADERO</b>	Estado <b>COAHUILA</b>
Fuente <b>POZO 1° DE MAYO, DEL MUNICIPIO</b>	Costo \$ _____
MUESTRA No. 5	

CARACTERES FISICOS			
Temperatura (10 - 16 °C) _____	23	pH (G.O.E.O.) _____	7.60
Color (Max. 10 U Pt - Cu) _____		Turbiedad (Max. 5 UTF) _____	
Conductividad específica (µmhos/cm) _____	526	ppm NaCl _____	264
Sólidos totales (500 - 1000 ppm) _____	595	Sólidos suspendidos (ppm) _____	590

### DETERMINACIONES INORMAS EN ppm l

	ppm	mg/L		ppm	mg/L
Dureza de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	30.0	0.60	Alcalinidad fenolftaleína (CaCO <sub>3</sub> Eq)	7.5	0.15
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> Eq)	31.5	0.63	Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> Eq)	100.0	2.00

Cloruro (Cl <sup>-</sup> mg)	72.0	2.03	Calcio (Ca <sup>++</sup> )	12.0	0.60
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>++</sup> mg)	228.5	4.76	Magnesio (Mg <sup>++</sup> mg)	0.4	0.03
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )			Sodio (Na <sup>+</sup> mg)	295.0	8.48
Fluoruro (F <sup>-</sup> mg)	1.7	0.09	Potasio (K <sup>+</sup> )	2.0	0.05
Silice (SiO <sub>2</sub> )			Hierro (Fe <sup>+++</sup> mg)	0.001	
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	103.7	1.70	Cobre (Cu <sup>++</sup> )	0.01	
Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	9.0	0.30	Plomo (Pb <sup>++</sup> mg)		
Dehidrilos (OH <sup>-</sup> )	0		Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg)		
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg)			OTKps		
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg)					
OTKps:					

Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> )			Materia orgánica		
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )			Demanda de Cloro		
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> S)			Cloro residual		

pH = 7.60     $\rho_c$  = 8.42     $\rho_s$  = 0.82

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**A N E X O 4**

**ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS CORRIDAS 8-1, 8-2.**



## ENSAYE 7.

$$y = mx + b$$

$$\text{Conc} [\mu\text{g}/\text{l}] = \frac{\text{abs} - 0.0108}{0.0103}$$

Muestra No.	Absorbancia	Concentración [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	$\bar{X} = [\mu\text{g}/\text{l}]$	mg/l
1	0.043 0.045	3.126 3.320	3.2232	0.0032
2	0.032 0.033	2.058 2.155	2.106	0.0021
3	0.025 0.022	1.378 1.087	1.232	0.0012
4	0.040 0.041	2.834 2.932	2.883	0.0028
5	0.046 0.043	3.417 3.126	3.271	0.0032
6	0.034 0.031	2.252 1.961	2.106	0.0021
7	0.021 0.021	0.990	0.990	0.0009
8	0.015 0.016	0.407 0.504	0.455	0.0004
9	0.447 0.444	42.349 42.058	42.203	0.0410
10	0.430 0.429	40.699 40.601	40.650	0.0400
11	0.439 0.433	41.572 40.990	41.281	0.0420
12	0.429 0.426	40.601 40.310	40.455	0.0404
13	0.451 0.460	42.737 43.611	43.174	0.0431
14	0.406 0.403	38.368 38.077	38.222	0.0382
15	0.405 0.415	38.271 39.242	38.756	0.0387

Muestra No.	Absorbancia	Concentración $\mu\text{g/l}$	$\bar{x} = \mu\text{g/l}$	mg/l
16	0.394 0.396	37.203 37.398	37.300	0.0373
17	0.403 0.407	38.077 38.466	38.271	0.0382
18	0.417 0.413	39.436 39.048	39.242	0.0392
19	0.391 0.396	36.902 37.398	37.150	0.0371
20	0.398 0.394	37.592 37.203	37.397	0.0373
21	0.027 0.024	1.572 1.281	1.426	0.0014
22	0.026 0.028	1.475 1.669	1.572	0.0015
23	0.013 0.014	0.213 0.310	0.2615	.0002
24	0.014 0.015	0.310 0.407	0.358	.0003
25	0.020 0.119	0.893 0.796	0.844	.0008
26	0.037 0.033	2.543 2.155	2.349	.0023
27	0.024 0.023	1.281 1.184	1.232	.0012
28	0.025 0.024	1.378 1.281	1.329	.0013

Para la corrida B se realizó un análisis estadístico para la depuración de los datos obtenidos, primeramente las lecturas obtenidas se eliminaron por criterio, posteriormente se aplicó a la técnica estadística de t student para nivel de confianza 80, 90, 95 y 99 en función a los valores obtenidos se calcularon los valores de la ecuación lineal para los niveles de confianza escogidos anteriormente, escogiéndose el valor de r mas alto, y calculándose posteriormente las concentraciones para ambas corridas a continuación se describe el proceso seguido:

$$\bar{X} \pm \frac{t s}{n}$$

$\bar{X}$  = Media de la absorbancia  
 t = valor leído en tablas para la t de student  
 s = desviación estandar  
 n = número de datos.

$$\bar{X} \text{ max} + \frac{t s}{n}$$

$$\bar{X} \text{ min} - \frac{t s}{n}$$

Corrida B-1

Datos:

Muestra: Blanco

- 1.- 0.010
- 2.- 0.010
- 3.- 0.011
- 4.- 0.009
- 5.- 0.008

$$\bar{X} = 0.0096$$

$$s = 1.140175425 \cdot 10^{-3}$$

CONFIANZA	t	$\bar{X}$ MAX	$\bar{X}$ MIN.	DATOS	$\bar{X}$
80	1.533	0.01038	0.00822	1,2,4	0.0097
90	2.132	0.01069	0.00851	1,2,4	0.0097
95	2.776	0.01102	0.00818	1,2,3,4	0.0100
99	4.604	0.01195	0.00725	1,2,3,4,5	0.0096

DATOS

Muestra: Standar 1 25  $\mu\text{g}/\text{l}$

- 1.- 0.030
- 2.- 0.030
- 3.- 0.032

$$\bar{X} = 0.0307$$

$$s = 1.154700567 \cdot 10^{-3}$$

CONFIANZA	t	$\bar{X}$ MAX	$\bar{X}$ MIN	DATOS	$\bar{X}$
80	1.886	0.0319	0.0294	1,2	0.030
90	2.920	0.0326	0.0287	1,2,3	0.0307
95	4.303	--	--	1,2,3	0.0307
99	9.925	--	--	1,2,3	0.0307

DATOS

Muestra: Standar 2 50  $\mu\text{g}/\text{l}$

- 1.- 0.048
- 2.- 0.051
- 3.- 0.052
- 4.- 0.066
- 5.- 0.076
- 6.- 0.073

$$\bar{X} = 0.061$$

$$s = 0.01219836$$

CONFIANZA	t	$\bar{X}$ MAX	$\bar{X}$ MIN	DATOS	$\bar{X}$
80	1.476	0.0683	0.0536	4	0.066
90	2.015	0.0710	0.05096	2,3,4	0.0563
95	2.571	0.0738	0.048196	2,3,4,6	0.0605
99	4.032	0.0811	0.0409	1,2,3,4,5,6	0.061

	80%	90%	95%	99%
$\Sigma x$	0.1057	0.0967	0.1012	0.1013
$\Sigma y^2$	$5.35009 \cdot 10^{-3}$	$4.20627 \cdot 10^{-3}$	$4.70274 \cdot 10^{-3}$	$4.75565 \cdot 10^{-3}$
$\Sigma xy$	4.05	3.5825	3.7925	3.8175

Para 80%

$$b = \frac{(0.1057)(3125) - (75)(4.05)}{3(3125) - (75)^2} = 0.00708$$

$$m = \frac{3(4.05) - (75)(0.1057)}{3(3125) - (75)^2} = 0.001126$$

$$r = \frac{3(4.05) - (75)(0.1057)}{\left[ (3(3125) - (75)^2)(3(5.35009 \cdot 10^{-3}) - (0.1057)^2) \right]^{1/2}} = 0.987285866$$

Para 90%

$$b = 0.00893$$

$$m = 0.000932$$

$$r = 0.998379921$$

Para 95\

b= 0.008463

m= 0.00101

r= 0.994631652

Para 99\

b= 0.008067

m= 0.001028

r= 0.994702917

Corrida 8-1

Para un 90% de confiabilidad se calculan las concentraciones:

b= 0.00893

$X = \frac{y-b}{m}$

m= 0.000932

m

r= .998379921

No. Muestra	Absorbancia	$\mu\text{g/l}$	$\bar{X}$	mg/l
M-1	0.024	16.169	17.77	.0177
	0.027	19.388		
M-2	0.029	21.534	20.461	0.0204
	0.027	19.388		
M-3	0.021	12.950	13.593	0.0135
	0.022	14.236		
M-4	0.023	15.096	14.023	0.0140
	0.021	12.950		
M-5	0.019	10.804	9.015	0.009
	0.016	7.585		
	0.018	9.731		
M-6	0.021	12.950	12.413	0.012
	0.020	11.877		
M-7	0.008	-0.997	--	---
	.006	-3.14		
M-8	0.013	4.366	4,366	0.0043
	0.013	4.366		
M-9	0.008	-0.997	1.148	0.0011
	0.010	1.148		

No. Muestra	Absorbancia	$\mu\text{g/l}$	$\bar{x}$	mg/l
M-10	0.008	-0.999	1.148	0.0011
	0.010	1.148		
M-11	0.003	-6.362	--	--
	0.005			
M-12	0.016	7.585	7.585	0.0075
	0.016			

Corrida B-2

Datos: Muestra: Blanco

- 1.- 0.014
- 2.- 0.014
- 3.- 0.016
- 4.- 0.017
- 5.- 0.010

$$\bar{x} = 0.0142$$

$$s = 2.683281573 \cdot 10^{-3}$$

% CONFIANZA	t	$\bar{x}$ MAX	$\bar{x}$ MIN	DATOS	$\bar{x}$
80	1.533	0.016	0.0123	1,2,3	0.0147
90	2.132	0.0167	0.0116	1,2,3	0.0147
95	2.776	0.0175	0.0108	1,2,3,4	0.0152
99	4.604	0.0197	0.0087	1,2,3,4,5	0.0142

Datos: Muestra: Standar 1 25  $\mu\text{g/l}$

- 1.- 0.081
- 2.- 0.083
- 3.- 0.079
- 4.- 0.085
- 5.- 0.072
- 6.- 0.071
- 7.- 0.068
- 8.- 0.077
- 9.- 0.068

$$\bar{x} = 0.076$$

$$s = 6.461423992 \cdot 10^{-3}$$



CONFIANZA	t	$\bar{X}$ MAX	$\bar{X}$ MIN	DATOS	$\bar{X}$
80	1.397	0.079	0.073	3,8	0.0780
90	1.860	0.080	0.072	3,5,8	0.0760
95	2.306	0.081	0.071	1,3,5,6,8	0.0760
99	3.355	0.083	0.069	1,2,3,5,6,8	0.0772

Datos:

Muestra: Standar 2 50  $\mu\text{g}/\text{l}$

- 1.- 0.130
- 2.- 0.148
- 3.- 0.140
- 4.- 0.143
- 5.- 0.134
- 6.- 0.119
- 7.- 0.135
- 8.- 0.179
- 9.- 0.134
- 10.- 0.125

$$\bar{X} = 0.1387$$

$$s = 0.016465789$$

CONFIANZA	t	$\bar{X}$ MAX	$\bar{X}$ MIN	DATOS	$\bar{X}$
80	1.383	0.146	0.1315	3,4,5,7,9	0.1372
90	1.833	0.148	0.1292	1,2,3,4,5,7,9	0.1377
95	2.262	0.150	0.1269	1,2,3,4,5,7,9	0.1377
99	3.250	0.1556	0.1218	1,2,3,4,5,7,9,10	0.1361

Para 80% de Confiabilidad

$$b = 0.015383333$$

$$m = 2.45 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 0.999813352$$

Para 90%

$$b = 0.014633333$$

$$m = 2.46 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 0.999998237$$

Para 95%

$$b = 0.01505$$

$$m = 2.45 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 0.999991003$$

Para 99%

$$b = 0.014883333$$

$$m = 2.438 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 0.99981151$$

Coefficiente de correlación lineal

90% > 95% > 80% > 99%

0.999998237 > 0.999991003 > 0.999813352 > 0.99981151

Con 90% de confiabilidad, tenemos la formula:

$$y = mx + b$$

$$x = \frac{y-b}{m}$$

$$X = \frac{\text{Absorbancia} - 0.0146}{2.46 \cdot 10^{-3}}$$

Corrida B-2

Para un 90% de confiabilidad se calcularon la concentración con la siguiente recta.

$$b = 0.014633333$$

$$m = 2.46 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 0.999998237$$

y = absorbancia

$$x = \frac{y-b}{m} \quad [\mu\text{g/l}]$$

NO. Muestra	Absorbancia	mg/l	$\bar{x}$	mg/l
M-1	0.069	22.114	19.268	
	0.062	19.268		
	0.062	19.268		
M-2	0.075	24.553	24.756	
	0.076	24.959		
M-3	0.096	33.089	32.682	
	0.094	32.276		
M-4	0.077	25.366	27.264	
	0.085	28.618		
	0.083	27.807		
M-5	0.082	27.398	28.414	
	0.087	29.431		
M-6	0.072	23.333	24.0	
	0.078	25.772		
	0.066	20.894		

No. Muestra	Absorbancia	mg/l	$\bar{X}$	mg/l
M-7	0.045	12.358	14.390	
	0.055	16.423		
	0.050	14.390		
M-8	0.041	10.732	10.935	
	0.042	11.138		
M-9	0.045	12.358	12.358	
	0.045	12.358		
M-10	0.046	12.764	12.561	
	0.045	12.358		
M-11	0.033	7.480	7.480	
	0.033	7.480		
M-12	0.047	13.171	13.848	
	0.050	14.390		
	0.049	13.984		